FACULTAD
TECNOLÓGICA

Obra completa:

Tecnología y Sociedad "Tecnologías emergentes y trabajo del futuro"

FACULTAD
TECNOLÓGICA

ISBN Obra Completa N° 978-956-303-351-9
ISBN Volumen 6 N° 978-956-430-030-6
https://doi.org/10.26448/ae9789564300306.213

Universidad de Santiago de Chile
Facultad Tecnológica
Decanato
Vicedecanato de Investigación y Postgrado

Editores Generales: Alvaro Sebastián Aguirre Boza - Begoña Giménez Castillo

Gestión Editorial ISBN: Ariadna Ediciones
www.ariadnaediciones.cl

Diseño y Diagramación: César González Galaz
Departamento de Publicidad e Imagen

Asistencia editorial: Lisbeth Simón Ortiz

Santiago, 2026

ÍNDICE

Prólogo 5

Agradecimientos 8

Comité editorial 9

Hiperconvergencia: automatización, ciberseguridad y Supply Chain Management en la Industria 4.0 11
Gustavo Alexander Alcántara-Aravena, Juan Pedro Sepúlveda-Rojas

Ética en la inteligencia artificial: implicaciones en la educación, privacidad de datos, sesgos y transparencia para fomentar el pensamiento crítico y disposiciones legislativas 41
Gloria Garrido Garrido, Gerardo Bobadilla Ramírez

Tecnologías emergentes y trabajo académico: impactos económicos y pedagógicos en la educación superior chilena 61
Roxana Desireé Acevedo Peña, Manuel Enrique Cortés Cortés

Gobierno digital y barreras a la inclusión: una visión de profesores de una institución federal de educación superior en Brasil 90
Jefferson Miranda da Silva, Johnathan Jhonson Gomes de Almeida, Lucidéia Diaz Cardoso, Bruno Rafael Dias de Lucena

Entre la innovación y la inseguridad: cómo los funcionarios públicos entienden los cambios tecnológicos en su trabajo 106
Nicolly de Almeida Maciel, Lívia Elce Magalhães Gouveia, Lucas de Oliveira Melo, Bruno Rafael Días de Lucena Último

Envejecimiento de la población y futuro del trabajo: algunos de sus principales desafíos 129
Julio González Candia, Fabián Jeno Hernández, María Regina Mardones Espinosa, Natalia Romero Hernández, Sergio Figueroa Bustamante

Tecnologías emergentes y la reconfiguración del trabajo publicitario en Chile: análisis de la transición hacia modelos de corto plazo 155
José Ariel Rementeria Piñones, Armando Muñoz Moreno, Ramón Orellana Muñoz, David Núñez Núñez

Percepción del mensaje publicitario en entornos de realidad aumentada: un estudio mixto sobre experiencia del usuario 186
Rodrigo Fredes Maldonado, David Núñez Núñez

Biología del habitar: neuroarquitectura y tecnologías emergentes para el bienestar humano 207
Verónica Aravena Ortega

Pequeñas tecnologías, grandes apoyos: tecnología wearable con inteligencia artificial para niños y niñas autistas 223
Cristóbal Moreno Muñoz, Daniela Avello Sáez

Salud personalizada en la formulación de productos sin gluten utilizando tecnologías emergentes enfocados en las propiedades nutracéuticas 243
Cavieres Rebolledo, E., Arreguin Coronado, A.

Inteligencia artificial de borde: desarrollo de un sistema de aprendizaje automático 259
Eusebio Moreno Velasquez, Luis Moreno Velásquez

El uso de tecnologías emergentes en la transformación del trabajo en el sector público: percepciones y desafíos de los gerentes en instituciones de educación superior 274
Camila do Nascimento Brito, Elisangela Maria de Brito Pereira, Marcelo Moraes Silva, Marcileuda dos Santos Pena

Conectividad avanzada y trabajo del futuro: nuevos modelos laborales en Chile y América Latina 296
Felipe Gallardo Dominguez

Sostenibilidad ambiental en el diseño de servicios culturales: una aproximación metodológica desde el ecodiseño 323
Marcelo Venegas-Marcel

Alcance y limitaciones de la IA generativa en la creación de modelos 3D mediante prompts en lenguaje natural: estudio exploratorio en diseño industrial con impresión 3D 346
Juan-Pablo Olguin, Emanuel Gustavo Contreras Alarcón, Rafael-Leonardo Ochoa-Urrego

Tecnologías emergentes para la prevención de trastornos musculoesqueléticos en trabajadores de baja calificación 367
Margarita Zamora Saá

Teletrabajo y productividad en el sector público brasileño: percepciones gerenciales en una institución federal en la Amazonía 388
Luiz Correa de Souza Neto, Valda Helena da Cunha Andrade

Promoción estatal de la narración oral: oportunidades laborales para adultos mayores 412
Lucio Cañete Arratía

Tecnologías emergentes, trabajos futuros y el rol de la normativa jurídica 433
David Orellana, Lisbeth Simón Ortiz

Tecnologías emergentes y ordenamiento territorial inteligente: aplicación del marco UN-IGIF en el Plan de Ordenamiento Territorial del Departamento Pomán (Argentina) 448
Marcela Elizabeth Montivero, Erlinda del Valle Ortiz, María de los Ángeles Luna, Marcelo Ernesto Savio

Transformación digital en el sector público de la región amazónica 465
Natany Soares Leite

El aceleracionismo efectivo: una nueva ideología para la inteligencia artificial 482
Jorge Brower Beltramin, Aracelli Muñoz Baldi

PRÓLOGO

Hay preguntas que cada generación cree enfrentar por primera vez, y la relación entre tecnología y trabajo es una de ellas. Ocurrió con el telar mecánico, con la línea de montaje y con la computación personal, y hoy ocurre con la inteligencia artificial, la conectividad avanzada y la automatización inteligente. Lo que distingue a nuestro tiempo no es la novedad del dilema, sino la velocidad con que se presenta y la cantidad de ámbitos que toca: ya no se trata solo de la fábrica o la oficina, sino también de la escuela, el hospital, el servicio público, el territorio y la vida cotidiana. Este libro, impulsado desde la Facultad Tecnológica de la Universidad de Santiago de Chile, aborda esa pregunta con seriedad, con diversidad de miradas y, sobre todo, con evidencia.

He tenido el privilegio de observar estos procesos desde el diálogo social, la política pública y, hoy, la docencia y la investigación. Esa trayectoria me ha enseñado algo que este volumen confirma capítulo tras capítulo: la tecnología no tiene un destino escrito. Por eso celebro una obra que no se limita a describir herramientas, sino que se pregunta para quién, en qué condiciones y con qué consecuencias se incorporan. Sus veintitrés capítulos, escritos por académicas y académicos de Chile, Brasil y Argentina, muestran además que la reflexión latinoamericana sobre tecnologías emergentes puede hacerse desde nuestras propias realidades y no solo como eco de debates producidos en otras latitudes.

Un primer conjunto de trabajos aborda la transformación del empleo. El análisis de la industria publicitaria chilena muestra cómo la inteligencia artificial, la publicidad programática y la automatización empujan hacia el trabajo freelance y por proyectos, con todo lo que ello implica en términos de estabilidad y protección. El estudio sobre conectividad avanzada explica cómo la fibra óptica, el 5G y las redes satelitales redefinen el teletrabajo y la economía de plataformas en la región, y otro capítulo examina el trabajo académico en la educación superior chilena. Las investigaciones realizadas desde la Universidad Federal de Pará escuchan a funcionarios, gerentes y gestores públicos, y revelan percepciones ambivalentes: la eficiencia convive con la inseguridad, la falta de capacitación y la transferencia de costos tecnológicos hacia los propios trabajadores. La transformación digital del Estado es, ante todo, una transformación organizacional y humana.

Un segundo eje, que quisiera destacar especialmente, es el envejecimiento. El capítulo sobre envejecimiento y futuro del trabajo sistematiza desafíos como la informalidad, la formación permanente, la sostenibilidad de las pensiones y los cuidados. La investigación con profesores de mayor edad en una universidad federal brasileña advierte que el gobierno digital, sin políticas de inclusión, puede profundizar desigualdades y alimentar el temor a la obsolescencia. Y la propuesta de promover desde el Estado la narración oral como actividad remunerada para personas mayores invita a valorar la experiencia acumulada, en un contexto de pensiones insuficientes que conozco de cerca.

Un tercer grupo de capítulos muestra la tecnología al servicio de la salud y el bienestar: dispositivos wearables con inteligencia artificial para niñas y niños autistas, pensados desde el diseño participativo y la protección de datos; la neuroarquitectura y su propuesta de una "biología del habitar"; sensores portátiles para prevenir trastornos musculoesqueléticos en trabajadores de baja calificación, que afectan de

manera desproporcionada a las mujeres, y productos panaderos sin gluten fortificados, que recuerdan que la innovación alimentaria también es una forma de cuidado.

Un cuarto eje reúne aportes desde la ingeniería, el diseño y la gestión: la hiperconvergencia entre automatización, ciberseguridad y cadena de suministro en la Industria 4.0; un sistema de inteligencia artificial de borde de bajo costo para detectar anomalías en motores; una evaluación honesta de los límites de la IA generativa para producir modelos 3D funcionales; la experiencia de usuario en la publicidad con realidad aumentada; el ecodiseño de servicios culturales, y el ordenamiento territorial de Pomán, en Catamarca, como laboratorio de gobernanza participativa. Estos trabajos demuestran que la innovación puede desarrollarse con recursos acotados, desde universidades públicas y con vocación de transferencia.

Finalmente, el libro no elude la discusión ética y normativa. Examina el aceleracionismo efectivo como ideología que acompaña a la inteligencia artificial, compara marcos regulatorios —del Reglamento europeo de IA a la Ley chilena N°21.719 sobre protección de datos personales—, propone el pensamiento crítico como competencia esencial para interrogar a los algoritmos y analiza el papel del derecho ante los trabajos futuros. Comparto plenamente las ideas expresadas, en cuanto a que el derecho del trabajo no es un obstáculo para la innovación, sino una condición para que esta sea socialmente sostenible.

Sería ingenuo, sin embargo, detenerse en las oportunidades sin nombrar las nuevas formas de explotación que estas transformaciones también traen consigo. Kate Crawford (2023, p. 29) lo resume con una fórmula provocadora: «la IA no es artificial ni inteligente». Detrás de cada sistema hay minerales, energía, infraestructura y, sobre todo, trabajo humano: miles de personas, muchas de ellas en el Sur Global, que etiquetan datos, moderan contenidos y corrigen algoritmos a destajo, en lo que Mary Gray y Siddharth Suri (2019) han llamado el trabajo fantasma. A ello se suman la gestión algorítmica, que asigna tareas, mide tiempos y sanciona sin un rostro humano con quien dialogar, y la figura del falso trabajador autónomo, que carga con riesgos y costos mientras el control queda en manos de la plataforma. La vieja pregunta del derecho del trabajo —quién se apropia del valor que produce el trabajo humano— sigue plenamente vigente en la era digital.

Este debate es inseparable de otro: la concentración. Según el Informe sobre Tecnología e Innovación 2025 de la UNCTAD, solo 100 empresas, principalmente de Estados Unidos y China, concentran el 40 % del gasto mundial en investigación y desarrollo empresarial, y compañías como Apple, Nvidia o Microsoft alcanzan, cada una, un valor de mercado cercano a los 3 billones de dólares, comparable al PIB de todo el continente africano. El mismo informe proyecta que el mercado de la IA llegará a 4,8 billones de dólares en 2033 y que hasta el 40 % de los empleos del mundo podría verse afectado. Cuando tan pocos actores definen qué se automatiza, qué datos se recogen y bajo qué condiciones se trabaja, la concentración económica se convierte en poder político.

Esa concentración tiene una geografía precisa, y en ella el Sur Global ocupa un lugar subordinado. La UNCTAD constata que 118 países, en su mayoría de África, Asia y América Latina, están ausentes de los principales debates sobre la gobernanza de la inteligencia artificial. Nuestra región participa de esta economía de un modo que recuerda viejos patrones: aporta el litio y el cobre que hacen posibles chips,

baterías y centros de datos —un ámbito en que Chile tiene un peso evidente—, agua y energía para las infraestructuras de cómputo, los datos de su población y trabajo de bajo costo, mientras el valor, la propiedad intelectual y la capacidad de decisión se concentran en otras latitudes. Nick Couldry y Ulises Mejias (2019) han llamado a este fenómeno colonialismo de datos. A ello se suman sistemas entrenados con datos y realidades del Norte, que se adaptan mal a mercados laborales marcados por la informalidad. Nada de esto es inevitable. La propia UNCTAD llama a desplazar el foco de la tecnología hacia las personas, y América Latina puede coordinar posiciones en la gobernanza global, negociar el uso de sus recursos, invertir en capacidades propias y apostar por la soberanía tecnológica, con las universidades como productoras de conocimiento situado.

La lección transversal de esta obra es que la tecnología amplía posibilidades, pero no distribuye por sí sola sus beneficios. Las plataformas pueden flexibilizar el empleo o precarizarlo; la digitalización del Estado puede acercar los servicios o excluir a quienes no fueron preparados para ella; la inteligencia artificial puede apoyar el aprendizaje o erosionar la autonomía intelectual. La diferencia la hacen la capacitación, el diálogo social, la regulación oportuna y una ética que priorice el bienestar colectivo por sobre el lucro de corto plazo.

Quiero felicitar a la Facultad Tecnológica de la Universidad de Santiago por esta iniciativa, que reafirma el compromiso de una universidad pública con los problemas de su tiempo, y a cada una de las autoras y autores por su rigor y generosidad. Invito a estudiantes, docentes, profesionales, empleadores, dirigentes sindicales y responsables de políticas públicas a recorrer estas páginas no como un catálogo de novedades, sino como una conversación abierta sobre el futuro del trabajo que queremos construir. Ese futuro no llegará por sí solo: lo decidiremos juntos.

Jeannette Jara Román
Docente Departamento Gestión y Políticas Publica, FAE, USACH
Ex Ministra del Trabajo y Previsión Social

Referencias

1. Couldry, N. y Mejias, U. A. (2019). The Costs of Connection: *How Data Is Colonizing Human Life and Appropriating It for Capitalism*. Stanford: Stanford University Press.

2. Crawford, K. (2023). *Atlas de IA. Poder, política y costes planetarios de la inteligencia artificial*. Barcelona: NED Ediciones.

3. Gray, M. L. y Suri, S. (2019). *Ghost Work: How to Stop Silicon Valley from Building a New Global Underclass*. Boston: Houghton Mifflin Harcourt.

4. UNCTAD (2025). *Informe sobre tecnología e innovación 2025: inteligencia artificial inclusiva para el desarrollo*. Ginebra: Naciones Unidas.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro especial agradecimiento al **Dr. Julio González Candía**, académico del **Departamento de Tecnología de Gestión** de la **Facultad Tecnológica** de la **Universidad de Santiago de Chile**, por su valiosa colaboración y compromiso en la elaboración del **VI Libro de Investigación**, **Tecnologías emergentes y trabajo del futuro**.

COMITE EDITORIAL

Dr. Pablo Schamber (Argentina)
Doctor en Antropología (UBA), Magíster en Ciencia Política (Fund. Bco. Patricios), Investigador independiente CONICET-UNQ, Docente Investigador Universidad Nacional de Lanús (UNLa) y Universidad Nacional Arturo Jauretche (UNAJ).

Dr. Oliver Campero Rivero (Bolivia)
Doctor en Ingeniería Ambiental y manejo de aguas de la Universidad Internacional de Andalucía, Master en Economía ecológica de la Universidad Mayor de San Simon e Ingeniero Agrónomo, con más de 20 años de experiencia profesional como investigador y docente, de distintas universidades, y manejo de proyectos de desarrollo rural y energías renovables.

Dra. Cristina Moyano Barahona (Chile)
Doctora en Historia, profesora titular del departamento de Historia de la Universidad de Santiago de Chile y Decana de la Facultad de Humanidades. Especialista en historia política e intelectual de América y Chile reciente.

Dr. José Carlos Vázquez Parra (México)
Doctor en Estudios Humanísticos con especialización en Ética por el Tecnológico de Monterrey, Maestro en Educación y Licenciado en Derecho y Psicología. Es profesor de la Escuela de Humanidades y Educación e investigador del Instituto para el Futuro de la Educación del Tecnológico de Monterrey, Campus Guadalajara. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores de México, sus principales líneas de investigación incluyen innovación educativa, ética económica, estudios de género y emprendimiento social. Cuenta con más de 200 publicaciones académicas y de divulgación y es autor o coordinador de 22 libros. Ha sido distinguido con cuatro Doctorados Honoris Causa por instituciones de México, Perú y Cuba, además de diversos premios nacionales e internacionales por su trayectoria académica y sus contribuciones a la innovación educativa.

Dra. María Eugenia Romero Peñaloza (Colombia)
Economista, Magister en Administración, Doctora en Gestión, investigadora del Grupo GIDEP de la Universida del Comité Editorial DYNA (Medellín), docente de posgrados en la Universidad Libre Barranquilla, Universidad Universidad de La Salle, Universidad Santo Tomás, invitada a conferencias en innovación y tecnología en la Bolivia y Fundación Universitaria Internacional de la Rioja (UNIR).

Dr. Jhon Wilder Zartha Sossa (Colombia)
Ingeniero Agroindustrial de la Universidad La Gran Colombia de Armenia, Magíster en Gestión Tecnológica de la Universidad Pontificia Bolivariana y Doctor en Administración de la Universidad de Medellín.
Profesor Titular de la UPB e investigador Senior en Colciencias, ha participado en congresos internacionales, ponencias, misiones tecnológicas en países como Alemania, Bolivia, Costa Rica, Chile, Egipto, Estados Unidos, Jamaica, Honduras, México, Panamá, Perú. Ha publicado más de 60 artículos en revistas internacionales indexadas, 20 libros y capítulos de libro y ha realizado más de 50 ponencias con los temas de gestión de innovación, gestión tecnológica, prospectiva y agroindustria.

Dra. Mariana Saidón (Argentina)
Doctora y Licenciada en Economía por la Universidad de Buenos Aires (UBA) y Magíster en Economía por la Universidad de San Andrés. Realizó un posdoctorado en geografía. Es docente en la Universidad de Buenos Aires e Investigadora Independiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), con sede en el Instituto de Investigaciones Políticas (IIP), de la Escuela de Política y Gobierno (EPyG), de la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM). En la EPyG, UNSAM, también es miembro del Área de Ambiente y Política (AAP). Se especializó en temas ambientales, con foco en residuos sólidos y educación ambiental y ha trabajado otros temas como cambio climático, economía ambiental y economía ecológica.

Mag. Irina Francioni Jiménez (Italia – Venezuela)
Actualmente trabaja en gestión del conocimiento y transformación digital del programa insignia de cooperación de la Unión Europea EL PACCTO 2.0 para América Latina y El Caribe, con sede en España. Ha sido responsable en Málaga del programa de formación profesional para la transformación digital. Es docente invitada en la Institución Universitaria de Medellín, Colombia y en la Escuela Europea de Gerencia sede República Dominicana. Ha integrado los Comités Editoriales de varios Libros Digitales de la Facultad Tecnológica de la Universidad de Santiago de Chile y es autora del Blog: Caminos hacia la transformación digital sostenible

HYPERCONVERGENCE: AUTOMATION, CYBERSECURITY, AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT IN INDUSTRY 4.0

HIPERCONVERGENCIA: AUTOMATIZACIÓN, CIBERSEGURIDAD Y SUPPLY CHAIN MANAGEMENT EN LA INDUSTRIA 4.0

Gustavo Alexander Alcántara-Aravena[1], Juan Pedro Sepúlveda-Rojas[2]

[1] *Departamento de Tecnologías Industriales, Facultad Tecnológica, Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile, (gustavo.alcantara@usach.cl)*

[2] *Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile (juanpedro.sepulveda@usach.cl)*

https://doi.org/10.17613/b9s8e-cpv75

Resumen

Examina la Industria 4.0 (I4.0) a través del paradigma de la hiperconvergencia, un modelo de infraestructura unificada y definida por software que cataliza la integración de los tres pilares fundamentales del ecosistema industrial moderno, la producción (Automatización Industrial), la protección (Ciberseguridad) y el flujo (Supply Chain Management). Se argumenta que la I4.0 no consiste en la mera adición de tecnologías discretas, sino en la fusión de estos dominios, anteriormente aislados, en un único ecosistema operacional y de riesgo. La convergencia de la Tecnología de la Información (IT) y la Tecnología Operacional (OT) ha disuelto las barreras físicas y lógicas tradicionales, creando un nexo donde la resiliencia de la cadena de suministro, la ciberseguridad industrial y la automatización inteligente son interdependientes. Una vulnerabilidad en la cadena de suministro es ahora un vector de ataque directo a la Tecnología Operacional, y la eficiencia de la automatización depende de la integridad de los datos de una cadena de suministro asegurada. El capítulo analiza los fundamentos teóricos de cada pilar, desde los Sistemas Ciberfísicos (CPS) y los Gemelos Digitales (DT) hasta los marcos de ciberseguridad como IEC 62443 y las arquitecturas emergentes de Confianza Cero (ZTA). Se evalúan los marcos de integración holísticos, como el meta-marco del NIST para la trazabilidad segura (IR 8536), y se presentan casos de estudio. Se explora la interoperabilidad junto con la brecha de talento y se proyectan futuras tendencias, incluyendo la transición centrada en seres humanos hacia la Industria 5.0 y el impacto disruptivo de la IA Generativa, el 6G y la computación cuántica.

Palabras Clave: Convergencia IT/OT; Ciberseguridad Industrial; SCM 4.0; IEC 62443.

Abstract:

This chapter examines Industry 4.0 (I4.0) through the paradigm of hyperconvergence, a unified, software-defined infrastructure model that facilitates the integration of the three fundamental pillars of the modern industrial ecosystem: production (Industrial Automation), protection (Cybersecurity), and flow (Supply Chain Management). It argues that I4.0 is not merely about the adoption of individual technologies, but rather the convergence of these previously isolated domains into a single operational and risk ecosystem. The convergence of Information Technology (IT) and Operational Technology (OT) has dissolved traditional physical and logical boundaries, creating an interconnected environment in which supply chain resilience, industrial cybersecurity, and intelligent automation are interdependent. A supply chain vulnerability can now serve as a direct attack vector against Operational Technology, while automation efficiency depends on the integrity of data from a secure supply chain. The chapter examines the theoretical foundations of each pillar, ranging from Cyber-Physical Systems (CPS) and Digital Twins (DT) to cybersecurity frameworks such as IEC 62443 and emerging Zero Trust Architectures (ZTA). Holistic integration frameworks, including the NIST meta-framework for secure traceability (IR 8536), are evaluated, and case studies are presented. The chapter also explores interoperability and the skills gap, while examining future trends, including the human-centric transition toward Industry 5.0 and the disruptive impact of Generative Artificial Intelligence, 6G, and quantum computing.

Keywords: IT/OT Convergence; Industrial Cybersecurity; SCM 4.0; IEC 62443

1. De la convergencia IT/OT a la hiperconvergencia

La Cuarta Revolución Industrial, o Industria 4.0 (I4.0), representa un cambio de paradigma fundamental en la producción y la logística, definido por la integración profunda de las tecnologías digitales en los procesos industriales (Schwab, 2017). La I4.0 se caracteriza por la implementación de Sistemas Ciberfísicos (CPS), que permiten la creación de fábricas inteligentes capaces de gestionar información y comunicación en tiempo real a lo largo de toda la cadena de valor (Lu et al., 2017). Este paradigma se habilita mediante una constelación de tecnologías habilitadoras que incluyen el Internet de las Cosas (IoT), el análisis de Big Data, la computación en la nube (cloud computing) y la inteligencia artificial (Lu et al., 2017).

Históricamente, el panorama industrial ha estado bifurcado en dos dominios distintos, la Information Technology (Tecnología de la Información, IT), responsable de la gestión de datos, la analítica y las aplicaciones empresariales; y la Operational Technology (Tecnología Operacional, OT), que comprende el hardware y software destinados a monitorear y controlar directamente los activos físicos y los procesos industriales, tales como los sistemas SCADA y los controladores lógicos programables (PLC) (Koppichetti, 2023). El fenómeno que define a la Industria 4.0 es la convergencia entre IT y OT, un proceso que conecta el carpet space (entorno corporativo) con el shop floor (planta de producción), permitiendo una integración fluida entre la gestión empresarial y el control en tiempo real de los procesos industriales (Koppichetti, 2023).

1.1. Integración de la producción (Automatización), la protección (Ciberseguridad) y el flujo (SCM)

La consecuencia más profunda de esta arquitectura hiperconvergente es que no solo fusiona los sistemas de Tecnologías de la Información (IT) y Tecnologías Operacionales (OT), sino que también integra de manera inseparable los dominios funcionales que dependen de ellos. En este sentido, la Industria 4.0 debe entenderse como un nexo hiperconvergente de tres pilares que históricamente han sido tratados de forma separada.

El primero es la Producción (Automatización Industrial), que se refiere a la transformación de la manufactura mediante el uso de sistemas ciberfísicos, inteligencia artificial y robótica avanzada, con el objetivo de habilitar fábricas inteligentes, altamente automatizadas y progresivamente autónomas (SAP, 2025).

El segundo pilar es la Protección (Ciberseguridad Industrial), asociada a la necesidad de asegurar esta infraestructura hiperconectada, cuya creciente interconexión digital incrementa de manera significativa la superficie de exposición a amenazas cibernéticas, afectando tanto a los sistemas productivos como a los flujos de información y decisión (Isaiah et al., 2025).

El tercer pilar corresponde al Flujo (Supply Chain Management (Gestión de la Cadena de Suministro, SCM), que implica una redefinición de la logística y la gestión de proveedores, ahora estrecha-

mente integradas con las operaciones de fabricación y los sistemas de información corporativos. En este contexto, la ciberseguridad emerge no sólo como un mecanismo de protección técnica, sino como un habilitador estratégico de resiliencia, continuidad operativa y competitividad en cadenas de suministro digitalmente interconectadas (Isaiah et al., 2025).

En el paradigma de la Industria 4.0, estos dominios ya no pueden gestionarse de forma aislada, debido a su creciente interdependencia funcional y tecnológica. La literatura académica respalda esta afirmación. El concepto de Supply Chain 4.0 se define explícitamente como la integración de las operaciones de fabricación con procesos de telecomunicación y tecnologías de la información, permitiendo flujos de datos continuos y una coordinación en tiempo real a lo largo de la cadena de valor. En este contexto, la ciberseguridad se consolida como un pilar fundamental en el diseño de cadenas de suministro resilientes, ya que la digitalización y la interconectividad propias de la Industria 4.0 amplían significativamente la superficie de ataque y los riesgos operacionales asociados (Isaiah et al., 2025). Asimismo, la automatización industrial aplicada a infraestructuras críticas, como los sectores de energía y agua, se ha convertido en un objetivo prioritario de los ciberataques, estableciendo un vínculo directo entre los dominios de la producción industrial y la seguridad (Kumar & Singh, 2023).

Este nexo da lugar a un ecosistema operacional y de riesgo unificado, donde las fronteras tradicionales entre dominios funcionales se diluyen. En la era previa a la Industria 4.0, una vulnerabilidad asociada a un proveedor de Nivel 3 (Tier 3 *supplier*: proveedor indirecto de materias primas o componentes básicos que abastece a los proveedores directos del fabricante, usualmente sin relación contractual con la empresa principal) constituía principalmente un problema logístico o de calidad, gestionado de forma aislada por el área de compras. En contraste, dentro del ecosistema hiperconvergente de la Industria 4.0, la presencia de un componente de software malicioso o de un firmware comprometido en ese mismo proveedor representa un riesgo de cadena de suministro, capaz de propagarse más allá del ámbito logístico (Zimmermann et al., 2024). Dicho riesgo puede actuar como un vector de ataque directo, aprovechando la creciente digitalización y conectividad de las cadenas industriales para penetrar los entornos productivos (Industrial Cyber, 2025). A su vez, esta amenaza explota la convergencia entre los dominios de Tecnologías de la Información y Tecnologías Operacionales, afectando infraestructuras IT/OT integradas y posibilitando impactos físicos, como la interrupción del funcionamiento de controladores lógicos programables (PLC) en la planta de producción (Ravikumar & Reddy, 2022). En consecuencia, el riesgo fluye sin fricción a través de los distintos dominios funcionales, evidenciando la naturaleza sistémica de las amenazas en entornos industriales hiperconvergentes.

A continuación se analizará la I4.0 mediante este nexo. Se revisarán los fundamentos teóricos de cada uno de los tres pilares (Automatización, Ciberseguridad y SCM), se examinarán los marcos y casos de estudio que demuestran su integración práctica, y se explorarán los desafíos y oportunidades futuras que representan esta fusión para la academia e industria.

1.2. Pilar I: Automatización Industrial y Sistemas Ciberfísicos (CPS)

El pilar de la "producción" en la I4.0 ha experimentado una transformación que va desde el control electromecánico aislado hasta los ecosistemas inteligentes y conectados.

1.2.1. Evolución de los Sistemas de Control Industrial (ICS, SCADA, PLC) y la pirámide de automatización

Históricamente, la automatización industrial se ha sustentado en los Industrial *Control Systems* (Sistemas de Control Industrial, ICS), un término paraguas que engloba a los *Supervisory Control and Data Acquisition* (Sistemas de Control y Adquisición de Datos, SCADA), los Distributed Control Systems (Sistemas de Control Distribuido, DCS) y los Programmable Logic Controllers (Controladores Lógicos Programables, PLC). Estos sistemas fueron concebidos para un contexto tecnológico diferente, caracterizado por infraestructuras propietarias y cerradas, donde la seguridad se fundamentaba principalmente en el aislamiento físico de los sistemas, comúnmente conocido como air-gapping (KPMG, 2024; Industry 4.0 Introduction in Critical Infrastructure, 2023). Bajo este paradigma, los entornos de control industrial operaban de forma autónoma y desconectada de redes corporativas o externas, lo que limitaba significativamente la exposición a amenazas cibernéticas, pero también restringía la interoperabilidad y la capacidad de integración con tecnologías digitales avanzadas.

La filosofía de diseño de los Sistemas de Control Industrial (ICS) priorizaba fundamentalmente la disponibilidad (availability) y la seguridad física (safety) por sobre la confidencialidad y la integridad de los datos, dimensiones tradicionalmente asociadas a la ciberseguridad (KPMG, 2024). La arquitectura conceptual dominante de esta era fue la denominada pirámide de automatización o modelo Purdue, caracterizada por una estructura jerárquica, rígidamente estratificada, que abarca desde los sensores y actuadores de campo en los niveles inferiores hasta los Enterprise Resource Planning (Sistemas de Planificación de Recursos Empresariales, ERP) en los niveles superiores (Trentesaux et al., 2024).

La Industria 4.0 y los procesos de digitalización asociados disrumpen el modelo Purdue tradicional al interconectar los sistemas OT, históricamente aislados, mediante redes basadas en protocolos TCP/IP, facilitando su integración con infraestructuras de información corporativas y entornos digitales más amplios (KPMG, 2024; Torkura et al., 2019). Si bien esta conectividad resulta esencial para habilitar la supervisión avanzada y la toma de decisiones basada en datos, también expone vulnerabilidades estructurales inherentes a los sistemas heredados, que no fueron diseñados para operar en contextos altamente interconectados y expuestos a amenazas cibernéticas.

El paradigma de la Industria 4.0 reemplaza la arquitectura jerárquica tradicional de los Sistemas de Control Industrial por un enfoque basado en Cyber-Physical Systems (Sistemas Ciberfísicos, CPS) (Salkin & Oner, 2018). Los CPS son considerados la columna vertebral de la Industria 4.0, al constituir el núcleo tecnológico que habilita la integración estrecha entre los mundos físico y digital (Monostori, 2014). En términos conceptuales, los CPS se definen como la integración de aplicaciones computacionales con dispositivos físicos, capaces de interactuar de manera coordinada mediante

mecanismos de control, sensorización y comunicación en red (Lee, Bagheri, & Kao, 2015). Estas entidades ciberfísicas se interconectan a través de infraestructuras de comunicación que permiten el intercambio continuo de datos, dando lugar a sistemas donde los límites entre lo físico y lo digital, por extensión, entre los dominios de Tecnologías Operacionales (OT) y Tecnologías de la Información (IT) tienden a desdibujarse progresivamente (Xu, Xu, & Li, 2018).

Este tránsito desde arquitecturas basadas en ICS hacia enfoques fundamentados en CPS no constituye una mera actualización tecnológica, sino una metamorfosis de carácter filosófico y conceptual. Representa el paso desde una lógica centrada en el control de procesos físicos, propia del dominio de la OT, hacia la gestión de activos ciberfísicos basados en datos, donde las capacidades de procesamiento, análisis y almacenamiento asociadas al dominio de la IT adquieren un rol central. En este nuevo paradigma, el activo físico ya no puede disociarse de su representación digital ni de los flujos de datos que lo describen y contextualizan; el valor deja de residir exclusivamente en el control aislado del proceso y se desplaza hacia la información interconectada, compartida y explotable en red, característica fundamental de los entornos industriales inteligentes.

1.2.2. Tecnologías habilitadoras: IIoT, Gemelos Digitales (Digital Twins) impulsados por IA, y Robótica Colaborativa (Cobots)

Esta metamorfosis se materializa a través de un conjunto de tecnologías habilitadoras clave que operan en simbiosis dentro del ecosistema de la Industria 4.0. El Industrial Internet of Things (Internet Industrial de las Cosas, IIoT) actúa como el sistema nervioso sensorial de la fábrica, al conectar sensores y actuadores distribuidos a lo largo de la planta para la recolección de datos en tiempo real, habilitando capacidades de monitoreo continuo y automatización ubicua en los entornos productivos (Kamble et al., 2021; Rahman et al., 2023; Saeed et al., 2020).

De forma complementaria, el Digital Twin (Gemelo Digital, DT) puede entenderse como el "cerebro" digital del Sistema Ciberfísico. Se define como una réplica digital de una entidad física, capaz de reflejar su estado, comportamiento y evolución a partir de flujos de datos provenientes del dominio operacional (OT) (Tao et al., 2021). En los enfoques contemporáneos, el DT resulta inseparable de la Inteligencia Artificial, que provee los algoritmos y modelos necesarios para su funcionamiento avanzado, permitiendo procesos de simulación y optimización en tiempo real, así como estrategias de mantenimiento predictivo, validación virtual de sistemas y soporte a la toma de decisiones antes de la puesta en marcha de los sistemas físicos (SAP, 2025; Tao et al., 2021; ICL Group, 2024; Bevilacqua et al., 2021).

Además, la Robótica Colaborativa (Cobots) representa el "cuerpo" físico avanzado de la Industria 4.0. A diferencia de los robots industriales tradicionales, los cobots están diseñados específicamente para la interacción humano–robot (HRI/HRC), incorporando sensores avanzados, sistemas de percepción y mecanismos de control adaptativo que les permiten operar de forma segura junto a trabajadores humanos. Esta aproximación reduce significativamente e incluso elimina la necesidad de barreras físicas de seguridad convencionales, favoreciendo entornos productivos más flexibles y colaborativos (Saeed et al., 2020; Desai, 2025; Bevilacqua et al., 2021).

Estas tres tecnologías no constituyen componentes aislados, sino que conforman un sistema de control inteligente de bucle cerrado. En este esquema, el Industrial Internet of Things (IIoT) proporciona el flujo continuo de datos que actúa como entrada del sistema; el Digital Twin asistido por Inteligencia Artificial (DT-IA) procesa, simula y predice el comportamiento del sistema físico; y los Sistemas Ciberfísicos o la Robótica Colaborativa ejecutan la acción física correspondiente como salida.

La literatura especializada confirma esta interdependencia funcional, ya que los datos y la infraestructura de adquisición, habilitados principalmente por el IIoT, constituyen la base del Digital Twin; el núcleo lógico está representado por los modelos y algoritmos de inteligencia artificial; y la capa de aplicación se materializa en la robótica avanzada y los procesos de fabricación inteligentes (Tao et al., 2021). Asimismo, los Digital Twins están adquiriendo un rol central en el modelado, la simulación y la validación de la interacción humano–robot (HRC) en entornos colaborativos, permitiendo analizar de forma segura comportamientos complejos antes de su despliegue físico en planta (Bevilacqua et al., 2021). En conjunto, este bucle cerrado evidencia el carácter sistémico e integrado de la Industria 4.0, donde la percepción, el análisis y la acción física operan de forma coordinada y continua.

1.2.3 Automatización sostenible: Eficiencia de recursos, reducción de residuos y el nexo con la economía circular

Una de las implicaciones más significativas de la automatización basada en datos característica de la Industria 4.0 es su impacto directo en la sostenibilidad. Más allá de la eficiencia económica, la I4.0 ha sido identificada como un habilitador clave de la fabricación sostenible, al integrar tecnologías digitales avanzadas en los procesos productivos (López-Gómez et al., 2021). En particular, tecnologías como los Manufacturing Execution Systems (Sistemas de Ejecución de Manufactura, MES) y el Industrial Internet of Things (IIoT) contribuyen a mejorar la efectividad en la utilización de los recursos y a reducir el impacto ambiental de las operaciones industriales (Kamble et al., 2021; Luo et al., 2024).

Estos beneficios se materializan mediante múltiples mecanismos complementarios, entre los que destacan la producción energéticamente eficiente, la reducción de residuos a través de técnicas de control de calidad no destructivo y la optimización integral de los procesos de manufactura, habilitada por la monitorización continua y el análisis avanzado de datos en tiempo real (Kamble et al., 2021; Zhang et al., 2025). En conjunto, estos enfoques refuerzan el papel de la Industria 4.0 como un catalizador para la transición hacia modelos de producción más sostenibles y responsables desde el punto de vista ambiental.

Fundamentalmente, la Industria 4.0 puede entenderse como el habilitador tecnológico de la Circular Economy (Economía Circular, CE). Los modelos propios de la CE, tales como los sistemas de bucle cerrado y las redes de logística inversa, suelen resultar excesivamente complejos o costosos de gestionar mediante enfoques tradicionales, debido a la cantidad de actores, flujos y decisiones involucradas (Zhang et al., 2023). En este contexto, las tecnologías de la Industria 4.0, en particular la inteligencia artificial, el Internet de las Cosas aplicado a la trazabilidad y el análisis de big data, proporcionan los mecanismos necesarios para gestionar dicha complejidad, permitiendo a los fa-

bricantes transitar desde configuraciones productivas lineales hacia modelos circulares basados en información y retroalimentación continua (Zhang et al., 2023).

Desde esta perspectiva, la sostenibilidad y la economía circular no deben concebirse como objetivos secundarios de la Industria 4.0, sino como una consecuencia emergente de la optimización basada en datos. En los sistemas heredados, la eficiencia de costos y la minimización del impacto ambiental solían presentarse como objetivos en tensión. En contraste, dentro de un sistema industrial hiperconectado, el Gemelo Digital impulsado por Inteligencia Artificial que optimiza el rendimiento operativo, por ejemplo, a través de indicadores como la Overall Equipment Effectiveness (Eficiencia Global de los Equipos, OEE), puede simultáneamente optimizar el uso de energía y materiales, al integrar múltiples criterios de desempeño en un único proceso de decisión (Kamble et al., 2021; Luo et al., 2024; Tao et al., 2021). De este modo, la Industria 4.0 contribuye a resolver esta tensión histórica al fusionar la sostenibilidad ambiental y la eficiencia económica dentro de un mismo problema de optimización de datos.

1.3. Pilar II: Ciberseguridad Industrial y Resiliencia de la Tecnología Operacional (OT)

El pilar de la "protección" es la consecuencia inevitable de la conectividad que define al pilar de la "producción". La ciberseguridad industrial se ha convertido en el factor limitante para la adopción segura de la I4.0.

1.3.1 Vulnerabilidades en la convergencia IT/OT y la disolución del "air-gap"

El desafío de seguridad central de la Industria 4.0 es la convergencia entre las Tecnologías de la Información (IT) y las Tecnologías Operacionales (OT) (Koppichetti, 2023). Esta convergencia difumina los límites tradicionales entre los sistemas empresariales y los sistemas de control industrial, integrando dominios que históricamente operaban de forma separada (Ravikumar & Reddy, 2022). De manera crítica, dicha integración elimina el aislamiento físico (air-gap) que durante décadas constituyó el principal mecanismo de protección de los Sistemas de Control Industrial (KPMG, 2024).

Como consecuencia directa, se produce una expansión significativa de la superficie de ataque, incrementando la exposición de los entornos industriales a amenazas cibernéticas (Isaiah et al., 2025). Los sistemas OT, que no fueron diseñados originalmente con requisitos de ciberseguridad en mente y que, en muchos casos, carecen de la capacidad computacional necesaria para implementar mecanismos de protección modernos, se encuentran ahora conectados a infraestructuras de red basadas en protocolos TCP/IP (KPMG, 2024; Torkura et al., 2019). Esta conectividad los expone a amenazas típicas del dominio IT, tales como malware, ransomware y ataques de Distributed Denial of Service (denegación de servicio distribuido, DDoS), con impactos que trascienden el ámbito digital (Kumar & Singh, 2023).

El riesgo se ve aún más amplificado debido a la asimetría de prioridades entre ambos dominios, mientras que en los sistemas IT la confidencialidad de la información suele ocupar un rol central, en los entornos OT la disponibilidad operativa continúa siendo el objetivo primario. En este contexto, un ataque exitoso no solo compromete datos, sino que puede detener procesos físicos, provocar interrupciones prolongadas de la producción o incluso poner en riesgo la seguridad humana, evidenciando las debilidades estructurales de la infraestructura ICS/OT frente a amenazas cibernéticas modernas (Srivastava, 2022).

Un ataque directo a un Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable, PLC) constituye, por sí mismo, una vulnerabilidad de extrema gravedad, como lo demuestra el caso Stuxnet que se analiza más adelante, donde la manipulación directa de los PLC derivó en daño físico a infraestructura crítica. A esta criticidad intrínseca se suma un riesgo adicional propio del entorno convergente, los ataques que pivotan desde la red de IT, altamente conectada, hacia la red de OT, intrínsecamente más vulnerable. En este contexto, la convergencia IT/OT se transforma en un puente operativo para los atacantes, permitiendo la propagación lateral de amenazas entre dominios tradicionalmente separados y amplificando el impacto potencial sobre los PLC y demás activos de control industrial.

Los informes técnicos describen con detalle esta táctica de compromiso progresivo, destacando el uso de spear-phishing como mecanismo para obtener acceso inicial a la red IT de la organización y, posteriormente, desplazarse hacia la red OT, donde residen los sistemas de control industrial (Ravikumar & Reddy, 2022). En particular, las Human-Machine Interface (Interfaces Humano-Máquina, HMI), componentes esenciales de los entornos OT, son identificadas como un riesgo significativo, debido a que con frecuencia se encuentran accesibles desde redes empresariales expuestas a Internet, ampliando la superficie de ataque sobre los sistemas industriales (Palo Alto Networks, 2025).

La eliminación del aislamiento físico (air-gap) implica que una vulnerabilidad originada en el dominio IT, por ejemplo, un usuario que interactúa con un correo electrónico malicioso, puede ahora recorrer un camino digital continuo hasta materializarse como una consecuencia operacional en OT, como la detención de una planta industrial, evidenciando el carácter ciberfísico del riesgo en la Industria 4.0. Este tipo de abordaje desde IT hacia OT no es meramente teórico, un caso emblemático es el ataque del malware Stuxnet contra una instalación nuclear de enriquecimiento de uranio situada en Natanz, Irán , en la que los atacantes lograron reprogramar controladores lógicos programables (PLC) para modificar de forma encubierta los parámetros operacionales del proceso físico. En este sentido, la acción final y crítica fue la alteración del código y la lógica dentro de los dispositivos OT (PLC). Stuxnet manipuló la lógica de control mientras presentaba datos falsos a las Interfaces Humano-Máquina (HMI), impidiendo que los operadores detectaran el comportamiento anómalo del sistema. Este ataque provocó condiciones operacionales inseguras, incluyendo variaciones extremas en el proceso que derivaron en daños físicos a los equipos industriales , demostrando que una intrusión cibernética puede traducirse directamente en consecuencias físicas en infraestructuras críticas cuando existe convergencia entre IT y OT (Falliere et al., 2011; Langner, 2011).

1.3.2 El estándar IEC 62443 (zonas y conductos) y el NIST SP 800-82

Para gestionar este panorama de riesgo unificado, la adhesión a estándares industriales se ha vuelto un elemento crucial en la ciberseguridad de entornos industriales modernos (Pinto et al., 2023). En este contexto, dos marcos normativos dominan el discurso de la seguridad en Tecnologías Operacionales (OT): el estándar IEC 62443 y la guía NIST SP 800-82 (DNV, 2024).

El estándar IEC 62443 constituye el marco internacional de referencia para la ciberseguridad de los Industrial Automation and Control Systems (Sistemas de Automatización y Control Industrial, IACS). Proporciona un enfoque integral y un marco estructurado aplicable a fabricantes de componentes, integradores de sistemas y propietarios de activos industriales (Fortinet, 2024). Su filosofía se fundamenta en la gestión de riesgos y en el principio de defensa en profundidad, promoviendo la implementación progresiva y contextualizada de controles de seguridad a lo largo del ciclo de vida de los sistemas industriales (Dragos, 2024). Desde el punto de vista arquitectónico, IEC 62443 introduce el concepto de segmentación lógica mediante zonas y conductos, con el objetivo de agrupar activos con requisitos de seguridad homogéneos y controlar de forma estricta los flujos de comunicación entre ellos. Este enfoque permite recrear, a nivel lógico, el aislamiento que históricamente proporcionaba el air-gap físico. Asimismo, el estándar define cuatro Security Levels (Niveles de Seguridad, SL) que permiten evaluar y comparar las capacidades de seguridad de componentes, subsistemas y sistemas completos.

Por su parte, la NIST Special Publication 800-82, desarrollada por el National Institute of Standards and Technology (NIST) de los Estados Unidos, constituye la guía de referencia para la seguridad de sistemas ICS y OT. Este documento proporciona orientación detallada para la protección de infraestructuras industriales, mediante la identificación sistemática de amenazas y vulnerabilidades, así como la recomendación de contramedidas de seguridad técnicas y organizacionales (NIST, 2015). La reciente Revisión 3 de la SP 800-82 amplía significativamente su alcance, extendiendo el foco desde los ICS tradicionales hacia todo el espectro de sistemas OT, incluidos los sistemas de automatización de edificios, e incorporando de forma explícita consideraciones sobre tecnologías emergentes como inteligencia artificial, Internet de las Cosas, gemelos digitales y el modelo de seguridad Zero Trust (NIST, 2024).

Estos marcos normativos no deben entenderse como enfoques competidores, sino como instrumentos complementarios dentro de una estrategia integral de ciberseguridad OT. La NIST Special Publication 800-82 (Revisión 3) aporta principalmente el qué y el por qué, al constituirse como una guía conceptual de buenas prácticas que identifica riesgos, controles de seguridad y consideraciones asociadas a tecnologías emergentes en entornos ICS/OT (NIST, 2024). En contraste, el estándar IEC 62443 proporciona el cómo, al ofrecer un plano de ingeniería detallado para el diseño e implementación de arquitecturas de red OT seguras, fundamentadas en la gestión de riesgos y en la segmentación mediante zonas y conductos (Fortinet, 2024).

1.3.3 Defensa en Profundidad (DiD) hasta Arquitectura de "Confianza Cero" (Zero Trust)

La seguridad industrial tradicional, incluida la arquitectura de zonas y conductos promovida por el estándar IEC 62443, se fundamenta en el principio de Defense in Depth (Defensa en Profundidad, DiD) (Fortinet, 2024). Este enfoque concibe la seguridad como un conjunto de capas sucesivas de protección, por ejemplo, firewalls perimetrales, firewalls de zona y controles intermedios, comúnmente comparado con el modelo de castillo y foso. No obstante, el problema estructural de la DiD en el contexto de la Industria 4.0 es que, aun cuando incrementa el número de capas defensivas, suele asumir implícitamente que la red interna constituye un espacio confiable una vez superado el perímetro (Smith, 2019). En escenarios de convergencia IT/OT, una vez que un atacante logra pivotar desde el dominio IT hacia el dominio OT, puede adquirir una libertad de movimiento significativa dentro de una zona industrial comprometida (Ravikumar & Reddy, 2022).

Como respuesta a la progresiva disolución del perímetro de red, ha emergido un nuevo paradigma de seguridad, la Zero Trust Architecture (Arquitectura de Confianza Cero, ZTA) (SEI, 2023). El principio fundamental de la ZTA se resume en la máxima "never trust, always verify", eliminando por completo el concepto de confianza implícita dentro de la infraestructura (Kindervag, 2010). Bajo este enfoque, la seguridad no se basa en la ubicación del activo dentro de la red, sino en una evaluación continua del contexto de acceso. En términos operativos, una ZTA se articula sobre tres pilares fundamentales, la verificación continua de la identidad y de la postura de seguridad del dispositivo, la aplicación estricta del principio de mínimo privilegio para el acceso a recursos específicos y la microsegmentación, que reduce el perímetro de seguridad desde la red o la zona hasta el recurso individual (Veridify, 2023).

La Zero Trust Architecture (Arquitectura de Confianza Cero, ZTA) se vuelve necesaria en el contexto de la Industria 4.0 debido a la desaparición del perímetro tradicional de red. Este enfoque se adapta de forma natural a infraestructuras nativas de la nube y centradas en el borde (edge-centric), características de los entornos industriales modernos, donde las cargas de trabajo son dinámicas y definidas por software (Khan et al., 2023; Telefónica Tech, 2025). En este sentido, la ZTA actúa como una contramedida directa frente a los ataques que pivotan desde el dominio IT hacia el dominio OT, al eliminar la confianza implícita basada en la ubicación dentro de la red.

No obstante, la implementación de ZTA en entornos OT constituye un desafío significativo, principalmente debido a la presencia de dispositivos heredados que carecen de mecanismos modernos de autenticación y gestión de identidades, así como a la prioridad histórica de la disponibilidad operativa sobre otros atributos de seguridad (SEI, 2023; Srivastava, 2022). A pesar de estas limitaciones, la adopción de Zero Trust es considerada una estrategia esencial para sostener la seguridad de los ecosistemas industriales digitalizados y altamente interconectados que promueve la Industria 4.0 (SAP, 2025).

En la práctica, los primeros pasos hacia una ZTA en entornos OT incluyen la implementación de accesos mediado mediante jump hosts seguros, el monitoreo robusto y continuo del tráfico de red, y la aplicación de autenticación multifactor para cualquier forma de acceso remoto a sistemas industriales críticos (SEI, 2023). De este modo, la ZTA no debe entenderse como una alternativa excluyente a la Defensa en Profundidad, sino como su evolución lógica, alineada con un ecosistema

industrial sin perímetro fijo, donde la seguridad debe ser inherente a cada interacción, identidad y recurso desde su concepción. A continuación, se aprecia la Tabla 1 que expone una comparación de estrategias DiD vs. ZTA.

Tabla 1: Comparativa de Estrategias de Ciberseguridad Industrial (DiD vs. ZTA)

Parámetro	Defensa en Profundidad (DiD)	Arquitectura de Confianza Cero (ZTA)
Principio Clave	Seguridad por capas; enfoque de "castillo y foso" (Smith, 2019).	Nunca confíes, siempre verifica; asumir la brecha (Veridify, 2023).
Supuesto de Confianza	Confianza implícita dentro de la red interna o zona una vez superado el perímetro (Smith, 2019).	No existe confianza implícita; la confianza es explícita y se verifica de forma continua (Veridify, 2023).
Enfoque de Protección	Protección del perímetro de red o de zona (Smith, 2019).	Protección del recurso, la identidad o los datos, independientemente de su ubicación en la red (SEI, 2023).
Mecanismos Clave	Firewalls, DMZ, listas de control de acceso (ACLs) y segmentación mediante zonas y conductos conforme a IEC 62443 (Fortinet, 2024).	Enfoque emergente; desafiante debido a sistemas heredados (legacy), pero considerado necesario en entornos de Industria 4.0 (SEI, 2023; SAP, 2025).
Aplicación en OT	Enfoque tradicional de la industria; ampliamente adoptado y bien comprendido en entornos OT (Fortinet, 2024).	Enfoque emergente; desafiante debido a sistemas heredados (legacy), pero considerado necesario en entornos de Industria 4.0 (SEI, 2023; SAP, 2025).

1.4. Pilar III: Gestión de la Cadena de Suministro 4.0 (SCM 4.0)

El pilar del "flujo", asociado a la gestión de la cadena de suministro (SCM), se ha transformado progresivamente, pasando de ser una función logística centrada principalmente en el control de costos a constituirse como un activo estratégico basado en datos. Esta evolución ha dado lugar al concepto de Supply Chain 4.0 o Logistics 4.0, caracterizado por la digitalización, la conectividad y la integración de tecnologías de la Industria 4.0 a lo largo de toda la cadena de valor.

1.4.1. La transformación digital a "Logistics 4.0": Visibilidad en tiempo real y trazabilidad como imperativos estratégicos

La transformación digital de la gestión de la cadena de suministro (SCM) ha redefinido de manera sustantiva sus objetivos primarios basados en las necesidades globales emergentes. Si bien la eficiencia de costos continúa siendo un factor relevante, el enfoque estratégico se ha desplazado hacia la visibilidad de la cadena de suministro en tiempo real (Supply Chain Visibility (Visibilidad de la Cadena de Suministro, SCV), la transparencia y la trazabilidad de extremo a extremo (Ivanov & Dolgui, 2023). Esta visibilidad se habilita mediante la adopción de tecnologías propias de la Industria 4.0, tales como sensores IoT y sistemas de Radio-Frequency Identification (Identificación por Radiofrecuencia, RFID), que proporcionan datos granulares sobre la ubicación, condición y estado de los activos a lo largo de la cadena, así como mediante el análisis de Big Data para interpretar y explotar dicha información de forma sistemática (Kamble et al., 2023).

El impacto de esta transformación se manifiesta en un cambio fundamental desde una gestión reactiva hacia una gestión proactiva de la cadena de suministro. La SCV permite una toma de decisiones en tiempo real, contribuye a la optimización de la eficiencia operativa, facilita la reducción de riesgos y posibilita una disminución significativa de los plazos de entrega, fortaleciendo la capacidad de respuesta ante eventos disruptivos (Ivanov et al., 2024; Rahman et al., 2024).

En el paradigma de la SCM 4.0, la noción de visibilidad evoluciona desde un estado meramente operativo, por ejemplo, conocer la localización de un contenedor, hacia una capacidad estratégica y predictiva. La literatura especializada señala que, en el contexto de la Industria 4.0, la visibilidad adquiere una connotación más amplia, al abarcar no solo los flujos logísticos, sino también el progreso de la fabricación y los niveles de inventario en tiempo real a lo largo de toda la red de suministro (Zhang et al., 2024a). Cuando estas capacidades de visibilidad se combinan con técnicas de inteligencia artificial, se habilita la posibilidad de predecir y anticipar interrupciones antes de que estas se materialicen, fortaleciendo la resiliencia del sistema (Almeida et al., 2024). En este sentido, la SCV se consolida como una capacidad dinámica, en los términos propuestos por Teece (2007), capaz de generar una ventaja competitiva sostenible. En última instancia, la SCM 4.0 persigue la creación de un Gemelo Digital de la cadena de suministro, que integre datos, procesos y decisiones en un modelo continuo y sincronizado.

1.4.2. Tecnologías disruptivas en SCM: IA y Blockchain para la integridad, automatización y toma de decisiones

Dos tecnologías resultan particularmente disruptivas para habilitar la SCM 4.0, la Inteligencia Artificial (IA) y la Blockchain Technology (Tecnología Blockchain, BCT). La IA es un componente esencial para analizar la gran cantidad de datos generados por el Industrial Internet of Things (IIoT) a lo largo de la cadena de suministro, permitiendo transformar datos heterogéneos y masivos en conocimiento accionable (Kamble et al., 2023). En este contexto, la IA se aplica de manera intensiva para mejorar la previsión de la demanda, la optimización de inventarios, la calidad de la toma de decisiones, así como la optimización de rutas logísticas, contribuyendo a una mayor eficiencia y resiliencia de la cadena de suministro (Kamble et al., 2023; Zhang et al., 2024; Li et al., 2025; Ahmed et al., 2024).

Por su parte, la Blockchain aborda uno de los desafíos estructurales de las cadenas de suministro multi-actor, como la confianza, la seguridad y la integridad de la información compartida. Al proporcionar un registro distribuido e inmutable, la BCT permite la ejecución de transacciones auditables, incrementa la transparencia, garantiza la irreversibilidad de los registros y refuerza la seguridad de los datos a lo largo de toda la cadena de valor (Lu et al., 2017; Al-Talib et al., 2025). Como consecuencia, la blockchain puede reducir los costos de transacción al disminuir la dependencia de intermediarios para la autenticación y verificación de información entre las partes involucradas (Lu et al., 2017).

La verdadera disrupción, sin embargo, emerge de la relación simbiótica entre la IA y la Blockchain, ya que ambas tecnologías compensan sus limitaciones intrínsecas. La IA, para operar de forma efectiva, requiere datos confiables, oportunos y de alta integridad, siendo especialmente vulnerable a datos manipulados o fragmentados en silos organizacionales. En este sentido, la Blockchain proporciona el sustrato de datos confiable, al ofrecer registros inmutables, auditables y compartidos entre múltiples actores (Al-Talib et al., 2025).

De manera complementaria, la Blockchain por sí sola constituye un registro pasivo; es la IA la que introduce la capacidad analítica e inteligencia necesarias para explotar dichos registros y habilitar acciones automatizadas, por ejemplo, mediante la ejecución de contratos inteligentes basados en eventos confiables de la cadena de suministro (Zhang et al., 2024b). En este sentido, los marcos de adopción estratégica de la Industria 4.0 enfatizan que el verdadero valor emerge de la integración de tecnologías inteligentes, donde la integridad y trazabilidad de la información se combinan con capacidades avanzadas de análisis y decisión, dando lugar a arquitecturas de SCM inteligentes, resilientes y orientadas a la toma de decisiones (Serey et al., 2023).

1.4.3 El imperativo de la resiliencia y agilidad de la cadena de suministro (SCR) en entornos volátiles

Las disrupciones de la última década, incluyendo la pandemia de COVID-19, las tensiones geopolíticas y el aumento de eventos climáticos extremos, han provocado un cambio estructural en la estrategia de la gestión de la cadena de suministro (SCM). El enfoque dominante ha transitado

desde la eficiencia de costos, característica de las estrategias Lean, hacia la resiliencia de la cadena de suministro (Supply Chain Resilience (Resiliencia de la Cadena de Suministro, SCR) y la agilidad organizacional (Isaiah et al., 2025). En este contexto, se reconoce que los enfoques tradicionales de optimización ya no resultan suficientes para enfrentar entornos altamente volátiles e inciertos (Isaiah et al., 2025). La resiliencia se define como la capacidad de anticipar, absorber y recuperarse de disrupciones, mientras que la agilidad se refiere a la capacidad de responder rápida y eficazmente a cambios inesperados del mercado (Ali et al., 2021; Rahman, 2024).

Bajo este nuevo paradigma, las tecnologías de la Industria 4.0 dejan de ser un factor incremental de eficiencia para convertirse en habilitadores fundamentales de la resiliencia y la agilidad modernas (Isaiah et al., 2025). En particular, la Inteligencia Artificial (IA) contribuye a la resiliencia mediante el reconocimiento avanzado de patrones y la toma de decisiones en tiempo real, permitiendo a las organizaciones adaptarse dinámicamente a las disrupciones a medida que estas ocurren (Li et al., 2025). De forma complementaria, la Blockchain refuerza la resiliencia al proporcionar visibilidad y transparencia confiables a lo largo de la cadena de suministro, facilitando la preparación y respuesta ante eventos inesperados (Lu et al., 2017).

El mecanismo subyacente a esta transformación es claro. Las tecnologías de la Industria 4.0, como el IoT y el análisis de Big Data, habilitan funciones centradas en los datos, tales como la visibilidad, el monitoreo continuo y la trazabilidad de extremo a extremo. Estas capacidades informacionales, a su vez, permiten el desarrollo de funciones de resiliencia consecuentes, incluyendo la capacidad de respuesta, la adaptabilidad y la reconfiguración dinámica de la cadena de suministro (Ivanov & Dolgui, 2023). En consecuencia, la Industria 4.0 transforma la resiliencia desde un enfoque pasivo, basado en amortiguadores físicos como elevados niveles de inventario de seguridad, hacia una capacidad activa, predictiva y basada en datos. En el paradigma de la SCM 4.0, la resiliencia no se sustenta en disponer de más inventario, sino en contar con información más rápida, confiable y accesible.

2. Nexo Hiperconvergente: Marcos de Integración y Casos de Estudio

Luego de establecidos los tres ejes, esta sección ahondará en la integración de los pilares I, II y III, donde la hiperconvergencia los fusiona en un dominio operativo mancomunado.

2.1. Sinergias y conflictos: Integridad de la cadena de suministro como un componente crítico de la seguridad OT

El nexo hiperconvergente se manifiesta con especial claridad en la intersección entre la ciberseguridad y la gestión de la cadena de suministro (SCM). En la Industria 4.0, la cadena de suministro ya no constituye únicamente un flujo de bienes físicos, sino también un flujo continuo de datos, software y firmware que se introduce directamente en el entorno de Tecnologías Operacionales (OT). En este contexto, la denominada Supply Chain 4.0, al ser inherentemente digital e interconectada, genera nuevos desafíos, particularmente en el ámbito de la ciberseguridad.

Como consecuencia, la cadena de suministro se ha consolidado como uno de los principales vectores de amenaza para la automatización industrial. Las amenazas ya no se limitan al perímetro de la red, sino que se materializan en las capas de software, hardware y servicios que componen la cadena de suministro digital. Un componente de hardware comprometido, una actualización de software maliciosa o un servicio en la nube provisto por un tercero vulnerable pueden eludir las defensas perimetrales tradicionales y comprometer directamente el núcleo de los sistemas productivos (Industrial Cyber, 2025).

En este escenario, la seguridad de los entornos OT depende de un enfoque holístico que incorpore explícitamente la protección de la cadena de suministro como un componente esencial de la ciberseguridad industrial (Pinto et al., 2023). Esto exige mecanismos de verificación continua de los componentes de software y firmware a lo largo de todo su ciclo de vida, así como una coordinación permanente entre los distintos actores involucrados (Industrial Cyber, 2025). En consecuencia, la gestión del riesgo en la cadena de suministro OT deja de ser una responsabilidad aislada y pasa a constituir una responsabilidad compartida entre los propietarios de los activos industriales, los proveedores tecnológicos y los organismos reguladores, requiriendo nuevas formas de colaboración interorganizacional (Collaboration Practices for the Cybersecurity of Supply Chains, 2024).

Este nexo da lugar a un ecosistema de destino compartido (*shared fate*), donde la integridad de la cadena de suministro, tradicionalmente un objetivo de la SCM, se convierte en un requisito fundamental de la ciberseguridad, que a su vez sustenta la disponibilidad y seguridad de la automatización industrial. En el paradigma hiperconvergente de la Industria 4.0, la gestión de estos dominios como silos independientes no solo resulta ineficiente, sino que constituye una vulnerabilidad estructural de diseño.

2.2. Análisis comparativo de marcos de integración (Frameworks)

En respuesta a este problema de destino compartido, han surgido varios marcos de gobernanza y técnicos diseñados para gestionar el nexo de seguridad SCM-OT.

2.2.1. El meta-marco del NIST (IR 8536) de trazabilidad segura y gestión de riesgos en cadenas de suministro manufactureras

El marco más ambicioso para abordar el nexo entre ciberseguridad y cadena de suministro en entornos industriales es el meta-marco del NIST para la trazabilidad de la cadena de suministro de fabricación (NIST IR 8536). Desarrollado por el National Cybersecurity Center of Excellence (NCCoE), este marco tiene como objetivo mejorar la trazabilidad de extremo a extremo, permitir la verificación de la procedencia de los productos y reforzar la resiliencia de las cadenas de suministro manufactureras (Industrial Cyber, 2024).

Desde el punto de vista arquitectónico, el marco adopta un enfoque de datos descentralizado y tecnológicamente neutral, evitando la dependencia de una plataforma centralizada única. En su lugar,

propone el uso de registros basados en eventos, como eventos de fabricación, ensamblaje o envío, que se enlazan mediante conexiones criptográficamente verificables, dando lugar a una cadena de trazabilidad resistente a manipulaciones. Este enfoque permite a las distintas partes interesadas verificar de manera independiente la procedencia, el linaje y la integridad de los componentes a lo largo de todo su ciclo de vida (TraxTech, 2024).

En términos conceptuales, el meta-marco del NIST puede interpretarse como un plano para la implementación de una cadena de suministro de Confianza Cero. De este modo, traduce los principios fundamentales de la Zero Trust Architecture (Arquitectura de Confianza Cero, ZTA), particularmente la máxima "never trust, always verify", desde el dominio del control de acceso a redes hacia el dominio de la procedencia y autenticidad de los productos (SEI, 2023). El marco aborda explícitamente vulnerabilidades asociadas a adversarios que explotan prácticas de trazabilidad fragmentadas, reemplazando la confianza implícita en las declaraciones de los proveedores por mecanismos de verificación criptográfica de artefactos y acciones a lo largo de la cadena de suministro (TraxTech, 2024). En este sentido, constituye una aplicación directa de la filosofía Zero Trust al pilar de la gestión de la cadena de suministro (Veridify, 2023).

2.2.2. Modelos de madurez para la integración de ciberseguridad en SCM

Este cambio de paradigma, que sitúa a la gestión de la cadena de suministro (SCM) en el centro de la ciberseguridad organizacional, se está codificando formalmente en los principales marcos de gobernanza de riesgos. El NIST Cybersecurity Framework (Marco de Ciberseguridad, CSF) 2.0, publicado en 2024, incorpora explícitamente una categoría dedicada a la Supply Chain Risk Management (Gestión de Riesgos de la Cadena de Suministro, SCRM) como parte de la nueva Función de Gobernanza, reflejando la creciente relevancia estratégica de la SCM en la seguridad digital (Gómez et al., 2024).

De forma complementaria, la guía de implementación del NIST CSF para el sector de manufactura crítica, publicada por la Cybersecurity and Infrastructure Security Agency (CISA), identifica la gestión de riesgos de la cadena de suministro como una categoría central dentro de la Función de Identificar, situándose al mismo nivel que la gestión de activos y la evaluación de riesgos, y destacando su papel fundamental en la protección de los entornos industriales (CISA, 2023). Asimismo, la norma ISO/IEC 27036 se orienta específicamente a la seguridad de la información en las relaciones con proveedores, abordando de manera directa los riesgos asociados a la cadena de suministro en contextos de ICT/OT y reforzando la necesidad de controles sistemáticos sobre terceros (ENISA, 2023).

La incorporación formal de la SCRM como función central en los principales marcos de ciberseguridad constituye la codificación oficial del nexo entre ciberseguridad, IT, OT y SCM. En conjunto, las organizaciones de estandarización y los organismos reguladores reconocen explícitamente que no es posible asegurar la empresa digital (IT) ni la fábrica inteligente (OT) sin asegurar, de forma simultánea, la cadena de suministro que las sustenta (Gómez et al., 2024). A continuación, se aprecia la Tabla 2 que presenta los marcos, enfoques y alcances para la cadena de suministro segura en la I4.0.

Tabla 2: Marcos de Integración para la Cadena de Suministro Segura en I4.0

Marco/Estándar	Enfoque Principal	Alcance (IT/OT/SCM)	Mecanismo Clave de Integración
NIST IR 8536	Trazabilidad y Procedencia	SCM de Manufactura	Cadenas de trazabilidad criptográficamente verificables basadas en registros de eventos distribuidos (Industrial Cyber, 2024).
NIST CSF 2.0	Gestión de Riesgos de Ciberseguridad	Empresa (IT/OT/SCM)	Función de Gobernanza con categoría explícita de *Supply Chain Risk Management* (SCRM) (Gómez et al., 2024).
IEC 62443	Arquitectura de Seguridad OT	OT (IACS)	Segmentación mediante zonas y conductos; SCRM implícito a través de requisitos de seguridad para componentes (Security Levels – Component, SL-C) (Fortinet, 2024).
CISA Mfg. Guidance	Implementación de CSF	OT/Manufactura	Gestión de riesgos de la cadena de suministro como categoría central dentro de la Función Identify del CSF (CISA, 2023).
ISO/IEC 27036	Seguridad de la Relación con Proveedores	SCM de ICT/OT	Procesos formales de gestión del ciclo de vida de la relación con proveedores y control de riesgos de terceros (ENISA, 2023).

Fuente: Elaboración Propia (2025)

2.3. Casos de estudio

La implementación del nexo hiperconvergente se observa en los casos de uso de los líderes de la industria que operan en la vanguardia de la I4.0.

2.3.1. Caso A: Convergencia IT/OT y adopción de IA para ciberseguridad en manufactura inteligente

El State of Smart Manufacturing Report anual de Rockwell Automation proporciona una validación empírica, a gran escala, de la tesis central de este capítulo. Los resultados del informe, basados en encuestas a líderes de manufactura a nivel global, evidencian de manera clara el nexo entre convergencia IT/OT, ciberseguridad y gestión de la cadena de suministro. En particular, la ciberseguridad se identifica como el segundo riesgo externo más relevante para las organizaciones manufactureras, solo por detrás de las condiciones económicas globales (PR Newswire, 2025). De forma coherente, el fortalecimiento de la seguridad de las arquitecturas IT/OT emerge como una de las principales prioridades estratégicas del sector (Industrial Cyber, 2025).

Un hallazgo especialmente revelador es la adopción proyectada de Inteligencia Artificial y Machine Learning (IA/ML) como tecnología transversal para abordar estos desafíos. El informe señala que un 61 % de los profesionales de ciberseguridad en manufactura planea utilizar IA para fortalecer las capacidades de detección y respuesta ante amenazas, mientras que aproximadamente un tercio de las organizaciones contempla su aplicación en la gestión de la cadena de suministro, particularmente para análisis predictivo y toma de decisiones basada en datos (Industrial Cyber, 2025; PR Newswire, 2025).

Este caso de estudio demuestra que la industria manufacturera no solo reconoce explícitamente los riesgos derivados de la convergencia IT/OT (Pilares 1 y 2), sino que también integra la SCM (Pilar 3) dentro de la misma ecuación estratégica de riesgo y oportunidad. La adopción de una única tecnología habilitadora, la IA, para abordar simultáneamente la ciberseguridad, la operación industrial y la cadena de suministro refuerza la noción de un ecosistema hiperconvergente, donde los tres dominios dejan de gestionarse como silos independientes.

2.3.2. Caso B: Blockchain para la trazabilidad y la automatización segura en Logística 4.0

El sector logístico ha experimentado históricamente una transformación digital lenta y fragmentada. Estudios recientes indican que solo alrededor del 3 % de las terminales de contenedores a nivel mundial se encuentran parcial o totalmente automatizadas, lo que evidencia un bajo grado de digitalización estructural (García et al., 2021). Esta fragmentación tecnológica ha generado problemas persistentes de confianza, ineficiencia operativa y silos de información, especialmente en cadenas de suministro caracterizadas por múltiples actores independientes.

En respuesta a estos desafíos, han emergido marcos de SCM basados en Blockchain, orientados a la trazabilidad, la automatización y la seguridad de la información compartida. Estos enfoques utilizan la Blockchain para construir redes descentralizadas, capaces de garantizar seguridad, transparencia y fiabilidad de los datos a lo largo de toda la cadena logística (Al-Talib et al., 2025). En este contexto, los Contratos Inteligentes desempeñan un rol clave al permitir la automatización de procesos, la ejecución condicionada de acuerdos y el registro inmutable de eventos, abordando directamente los problemas de confianza y fragmentación de datos que han limitado históricamente la eficiencia del sector logístico (Al-Talib et al., 2025; García et al., 2021).

Este caso ilustra cómo la Blockchain actúa como un habilitador estructural de la Logística 4.0, al proporcionar una infraestructura de confianza computacional que integra trazabilidad, automatización y seguridad, sentando las bases para cadenas de suministro más resilientes, transparentes y coordinadas.

3. Oportunidades, Desafíos y Tendencias Futuras en la Hiperconvergencia

La implementación de este ecosistema hiperconvergente no está exenta de obstáculos significativos, pero también abre la puerta a la próxima evolución de la industria.

3.1 Desafíos en Interoperabilidad, integración de sistemas heredados (legacy), costos y la brecha de talento (skills gap)

A pesar del significativo potencial de la Industria 4.0, su implementación práctica se enfrenta a barreras técnicas, económicas y organizacionales considerables. Uno de los desafíos más relevantes es la interoperabilidad, ya que la falta de estándares comunes y la proliferación de protocolos propietarios dificultan la integración fluida de sistemas heterogéneos y la consolidación de una SCM 4.0 verdaderamente unificada (UNIDO, 2018; Rossi et al., 2024). Esta fragmentación tecnológica limita la capacidad de compartir datos de forma consistente y de explotar plenamente las ventajas de la digitalización industrial.

Los sistemas heredados (legacy) constituyen otra barrera estructural significativa. La base instalada de equipos de Tecnología Operacional (OT) presenta ciclos de vida que se extienden por décadas, lo que complica su integración con tecnologías emergentes de la Industria 4.0 y encarece los procesos de modernización (Koppichetti, 2023; Telefónica Tech, 2025). En muchos casos, la sustitución completa de estos sistemas resulta inviable desde el punto de vista económico, obligando a las organizaciones a adoptar soluciones híbridas que incrementan la complejidad arquitectónica.

A estas limitaciones se suman los altos costos de implementación, que representan un obstáculo especialmente crítico para las pequeñas y medianas empresas (PYMES). La adopción de tecnologías avanzadas, como infraestructuras hiperconvergentes, inteligencia artificial o arquitecturas de confianza cero, requiere inversiones significativas en hardware, software, integración y capacitación, lo que restringe su adopción a gran escala (Mourtzis et al., 2024).

No obstante, el desafío más persistente y profundo es la brecha de talento (skills gap). La Industria 4.0 demanda habilidades digitales avanzadas y una fuerza laboral híbrida, capaz de comprender simultáneamente los dominios de IT, OT y análisis de datos. Sin embargo, existe una brecha de competencias ampliamente documentada, estimándose que una proporción significativa de la fuerza laboral industrial requerirá procesos de recualificación y actualización de habilidades para adaptarse a este nuevo paradigma (Automation Alley, 2020; Chakareski & Vuković, 2022). Esta realidad exige

no solo programas de desarrollo de talento organizacional, sino también una reforma estructural de los sistemas educativos y de formación técnica, alineada con las necesidades de la manufactura digital avanzada (Ambhore, 2023).

En consecuencia, aunque las tecnologías habilitadoras de la hiperconvergencia, como la infraestructura hiperconvergente, la inteligencia artificial y la arquitectura de confianza cero, ya existen y han demostrado su madurez, el principal cuello de botella para su adopción efectiva es de naturaleza humana y organizacional. La hiperconvergencia tecnológica requiere una hiperconvergencia organizacional, capaz de romper los silos departamentales, presupuestarios y formativos que aún persisten en muchas organizaciones industriales. Mientras estos silos humanos y estructurales no se aborden de manera sistemática, la promesa transformadora de la Industria 4.0 seguirá encontrando límites en su materialización práctica.

3.2. Transición a la Industria 5.0 (colaboración humano-IA, sostenibilidad y enfoque centrado en el ser humano)

La respuesta a los desafíos emergentes y a la deshumanización percibida asociada a la Industria 4.0 ya comienza a materializarse en el concepto de Industry 5.0 (Industria 5.0, I5.0). Este nuevo paradigma no se concibe como un reemplazo de la I4.0, sino como su complemento y evolución natural, orientada a equilibrar el avance tecnológico con consideraciones humanas, sociales y ambientales (DotMagazine, 2024).

Mientras que la Industria 4.0 se caracterizó por un énfasis predominante en la automatización, la digitalización y la eficiencia operativa, la Industria 5.0 reorienta el foco hacia un enfoque explícitamente centrado en el ser humano (Mourtzis et al., 2024). De acuerdo con la visión de la Comisión Europea, la I5.0 se articula en torno a tres pilares fundamentales: (i) un enfoque centrado en el ser humano, que sitúa el bienestar del trabajador en el núcleo del sistema productivo y promueve la colaboración humano–IA, utilizando tecnologías como la inteligencia artificial y los robots colaborativos para aumentar y no sustituir las capacidades humanas; (ii) la sostenibilidad, elevada a pilar estratégico central mediante un énfasis explícito en la economía circular y el uso eficiente de recursos; y (iii) la resiliencia, entendida como la necesidad de robustez y capacidad de adaptación frente a disrupciones en la producción y en las cadenas de suministro (Mourtzis et al., 2024; Zhang et al., 2025).

Desde una perspectiva estratégica, la Industria 5.0 puede interpretarse como la respuesta cultural y organizacional a la disrupción tecnológica introducida por la Industria 4.0. Mientras que la I4.0 proporcionó principalmente las herramientas tecnológicas (el cómo), tales como, la IA, los sistemas ciberfísicos y los gemelos digitales, la I5.0 introduce un propósito ético y social, el por qué, fundamentado en el humanismo, la sostenibilidad y la responsabilidad social. En este sentido, la I5.0 aborda directamente la brecha de talento identificada en los entornos industriales digitalizados, promoviendo modelos de colaboración humano–IA como alternativa a la sustitución laboral (Rossi et al., 2024; Mourtzis et al., 2024). De igual forma, responde a los desafíos asociados al uso intensivo de recursos al integrar la sostenibilidad como objetivo intrínseco del diseño de los sistemas productivos, y no como una externalidad posterior (Luo et al., 2024).

En conjunto, la Industria 5.0 no niega los avances de la Industria 4.0, sino que los recontextualiza, integrándose en un marco más amplio donde la tecnología se concibe como un medio para fortalecer el bienestar humano, la sostenibilidad ambiental y la resiliencia sistémica de la industria moderna. A continuación, se aprecia la Tabla 3 que presenta la comparación de la transición de la I4.0 a la I5.0.

Tabla 3: Comparativa de la Transición de la Industria 4.0 a la 5.0

Parámetro	Industria 4.0 (I4.0)	Industria 5.0 (I5.0)
Objetivo Principal	Eficiencia, automatización y productividad (Kamble et al., 2021; Mourtzis et al., 2024).	Resiliencia, sostenibilidad y bienestar humano (Zhang et al., 2025; Mourtzis et al., 2024).
Rol de la Tecnología	Habilitador de la automatización inteligente y la optimización basada en datos (Frank et al., 2019).	Habilitador de la colaboración humano–IA y del aumento de las capacidades humanas (Mourtzis et al., 2024).
Rol Humano	Supervisor de sistemas automatizados, con riesgo de desplazamiento laboral debido a la automatización (Chakareski & Vuković, 2022).	Colaborador activo, aumentado por la IA y los robots colaborativos, con énfasis en la complementariedad humano–máquina (Mourtzis et al., 2024).
Sostenibilidad	Considerada principalmente como una oportunidad para mejorar la eficiencia en el uso de recursos y reducir costos (Kamble et al., 2021).	Pilar central del sistema productivo, con énfasis explícito en la economía circular y el impacto ambiental positivo (Zhang et al., 2025; Mourtzis et al., 2024).
Desafíos Clave	Brecha de talento digital, altos costos de implementación e interoperabilidad limitada entre sistemas (Rossi et al., 2024).	Gobernanza de la IA, ética tecnológica y procesos masivos de recualificación y adaptación de la fuerza laboral (Mourtzis et al., 2024).

Fuente: Elaboración Propia (2025)

3.3. La próxima frontera tecnológica: Impacto de la IA Generativa (en ciberseguridad y automatización), 6G y la computación cuántica

Mientras la Industria 5.0 (I5.0) define el marco estratégico y humanocéntrico de la evolución industrial, un nuevo conjunto de tecnologías disruptivas está emergiendo para redefinir la infraestructura tecnológica subyacente del ecosistema hiperconvergente. Entre ellas, la Generative Artificial Intelligence (Inteligencia Artificial Generativa, GenAI) presenta un impacto de doble uso particularmente significativo en el ámbito de la ciberseguridad industrial. Desde una perspectiva ofensiva, los actores maliciosos ya están utilizando GenAI para desarrollar campañas de phishing más sofisticadas, acelerar el descubrimiento de vulnerabilidades y generar malware polimórfico, incrementando sustancialmente la escala y complejidad de los ataques (Palo Alto Networks, 2024).

Desde la perspectiva defensiva, sin embargo, la GenAI emerge como una herramienta transformadora para los equipos de ciberseguridad. Su aplicación permite automatizar la detección de amenazas, simular escenarios de ataque complejos y orquestar respuestas automatizadas a incidentes, superando las limitaciones de los enfoques tradicionales basados en reglas (SAP, 2025; Palo Alto Networks, 2024). Esta transformación ya es tangible en la práctica: estudios recientes indican que una amplia mayoría de los profesionales de la ciberseguridad reportan un impacto directo de la IA en sus funciones y responsabilidades, evidenciando un cambio estructural en los modelos operativos de defensa digital (ISC2, 2024).

De forma complementaria, las redes 6G y la Quantum Computing (Computación Cuántica, QC) se perfilan como los pilares de la próxima generación de infraestructura digital. Las arquitecturas 6G serán esenciales para habilitar la conectividad masiva de dispositivos y la latencia ultrabaja requeridas por aplicaciones avanzadas como los Gemelos Digitales en tiempo real, la automatización distribuida y los sistemas ciberfísicos de gran escala (Yılmaz et al., 2024). En paralelo, la Computación Cuántica, que se prevé se integre estrechamente con las futuras redes 6G, introduce una doble disrupción de carácter estratégico. Por un lado, ofrece capacidades sin precedentes de optimización y resolución de problemas complejos, con aplicaciones directas en ámbitos como la gestión global de la cadena de suministro. Por otro lado, habilita nuevos paradigmas de comunicación segura, particularmente a través de la Quantum Key Distribution (Distribución de Claves Cuánticas, QKD), que promete esquemas de seguridad teóricamente irrompibles (Yılmaz et al., 2024; Khan et al., 2024).

En este contexto, la próxima fase de la hiperconvergencia puede conceptualizarse como la fusión de GenAI, 6G y Computación Cuántica. Las redes 6G proporcionarán el sistema nervioso de velocidad casi instantánea; la Computación Cuántica aportará simultáneamente la base de seguridad futura, mediante QKD, y una amenaza existencial al posibilitar la ruptura de los esquemas criptográficos actuales; y la GenAI se consolidará como el único "cerebro" viable para gestionar, optimizar y defender un ecosistema caracterizado por una complejidad, velocidad y escala que exceden ampliamente la capacidad de supervisión humana directa (Palo Alto Networks, 2024; Khan et al., 2024). Esta convergencia anticipa un escenario donde la autonomía inteligente deja de ser una opción y se convierte en un requisito estructural para la seguridad y la resiliencia de los sistemas industriales del futuro.

4. Proyección del Ecosistema Hiperconvergente

Este capítulo ha argumentado que la Industria 4.0 se comprende de forma más precisa no como una mera colección de tecnologías emergentes, sino como un paradigma de hiperconvergencia. La fusión, definida por software, de las infraestructuras de Tecnología de la Información (IT) y Tecnología Operacional (OT) ha dado lugar a un nexo inseparable entre la automatización industrial (producción), la ciberseguridad industrial (protección) y la gestión de la cadena de suministro (flujo) (Isaiah et al., 2025). La tesis central sostiene que estos tres dominios, tradicionalmente gestionados en silos organizacionales y tecnológicos, operan ahora como un único ecosistema operacional y de riesgo. En este contexto, la integridad de la cadena de suministro se ha convertido en un requisito fundamental de la ciberseguridad, que, a su vez, constituye la base para la disponibilidad y continuidad de la automatización industrial.

La gestión efectiva de este nexo hiperconvergente exige una evolución simultánea de la estrategia y de la arquitectura de seguridad. El modelo tradicional de Defense in Depth (Defensa en Profundidad, DiD) resulta insuficiente en entornos caracterizados por la disolución del perímetro, dando paso a la Zero Trust Architecture (Arquitectura de Confianza Cero, ZTA) como enfoque de seguridad nativo para ecosistemas altamente conectados y dinámicos (SEI, 2023). De manera coherente, los marcos de gobernanza contemporáneos, como el NIST Cybersecurity Framework 2.0 y el meta-marco de trazabilidad NIST IR 8536, están formalizando esta nueva realidad al situar la gestión del riesgo de la cadena de suministro en el núcleo de la ciberseguridad organizacional (Gómez et al., 2024; Industrial Cyber, 2024). Paralelamente, la transición emergente hacia la Industria 5.0 reorienta este poderoso nexo tecnológico hacia objetivos centrados en el ser humano, la sostenibilidad y la resiliencia sistémica, ampliando el alcance estratégico del paradigma industrial (Mourtzis et al., 2024).

Desde una perspectiva académica, el análisis desarrollado permite identificar tres lagunas de investigación críticas que requieren atención prioritaria. En primer lugar, la gobernanza de la hiperconvergencia humana. Si bien la literatura existente se ha concentrado en los desafíos de integración tecnológica, resulta necesario avanzar hacia el diseño de marcos organizacionales y humanos que permitan gestionar de manera efectiva el ecosistema hiperconvergente, abordando explícitamente la brecha de talento y la necesidad de una fuerza laboral híbrida, capaz de operar en la intersección de IT, OT y analítica avanzada (Rossi et al., 2024; Automation Alley, 2020).

En segundo lugar, se identifican oportunidades significativas en el desarrollo de arquitecturas nativas de Confianza Cero para entornos OT y SCM. Más allá de la adaptación incremental de ZTA a sistemas heredados, la investigación futura debería centrarse en el diseño de protocolos, modelos y arquitecturas concebidos desde su origen bajo principios de Confianza Cero, alineados con las particularidades de los sistemas industriales y las cadenas de suministro digitales (SEI, 2023).

Finalmente, la gobernanza y la ética de la inteligencia artificial en el contexto de la Industria 5.0 emergen como un desafío transversal de alta relevancia. La convergencia entre la colaboración

humano–IA y el uso creciente de inteligencia artificial generativa introduce un vacío normativo y conceptual en torno al doble uso de la IA, así como a los marcos éticos necesarios para garantizar una colaboración segura, transparente y alineada con valores humanos (Mourtzis et al., 2024; Palo Alto Networks, 2024).

En síntesis, la hiperconvergencia ha establecido las bases de un sistema industrial más inteligente, rápido e integrado que en cualquier etapa previa de la historia industrial. El desafío fundamental de la próxima década, tanto para la academia como para la industria, no será únicamente tecnológico, sino estratégico, organizacional y ético: gestionar la complejidad resultante, asegurar la integridad del ecosistema y orientar su poder transformador hacia objetivos sostenibles, resilientes y centrados en el ser humano.

5. Referenicas bibliográficas

1. Ahmed, S., Rahman, M., & Hossain, M. (2024). Resilient chain: AI-enhanced supply chain security and efficiency integration. *International Journal of Supply Management Research*. https://doi.org/10.37502/IJSMR.2024.7306

2. Ali, I., Arslan, A., Khan, Z., & Tarba, S. Y. (2021). The role of Industry 4.0 technologies in mitigating supply chain disruption: Empirical evidence from the Australian food processing industry. *IEEE Transactions on Engineering Managemen*t. https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3088518

3. Almeida, F., Santos, J., & Costa, C. (2024). A critical review of machine learning applications in supply chain risk management. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 23(3). https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.23.3.2760

4. Al-Talib, M. S., Melhem, H., & Nassereddine, A. (2025). A reliable framework for supply chain management using clustering, blockchain, and artificial intelligence. *Scientific Reports*. https://doi.org/10.1038/s41598-025-03401-0

5. Ambhore, D. (2023). *Navigating Industry 4.0 to Industry 5.0: Challenges and strategies for workforce transition and its relation to SDGs* [Degree project, University of Gävle]. DiVA. https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1837930/FULLTEXT01.pdf

6. Automation Alley. (2020). *Opportunities & challenges of IT & OT convergence*. https://www.automationalley.com/wp-content/uploads/620c0d2e51cac3c83a588632_AutoAlley_TechReport2020_ITandOTConvergence.pdf

7. Bevilacqua, M., Bottani, E., Ciarapica, F. E., & Ferraro, S. (2021). Digital twins for collaborative robots: A case study in human–robot interaction. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 68*, 102092. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.102092

8. Chakareski, J., & Vuković, M. (2022). Reskilling and upskilling the future-ready workforce for Industry 4.0 and beyond. *Information Systems Frontiers*. https://doi.org/10.1007/s10796-022-10308-y

9. Cybersecurity and Infrastructure Security Agency. (2023). *Critical manufacturing sector: Cybersecurity framework implementation guidance*. https://www.cisa.gov/sites/default/files/publications/Critical_Manufacturing_Sector_Cybersecurity_Framework_Implementation_Guidance_FINAL_508.pdf

10. Desai, A. (2025). A review of collaborative robotics (cobots) in industrial automation. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology, 11*(1). https://www.ijariit.com/manuscripts/v11i1/V11I1-1562.pdf

11. DNV. (2024). *Cybersecurity for industrial automation and control systems (IACS)*. https://www.dnv.com/cyber/insights/articles/cyber-security-for-industrial-automation-and-control-systems/

12. DotMagazine. (2024). *Industry 4.0: Rising to the cybersecurity challenge in smart manufacturing*. https://www.dotmagazine.online/issues/digital-infrastructure/ai-in-practice-eco-association-initiative/industry-4-0-cybersecurity-smart-manufacturing

13. Dragos. (2024). *Understanding ISA/IEC 62443: A guide for OT security teams*. https://www.dragos.com/blog/isa-iec-62443-concepts

14. European Union Agency for Cybersecurity. (2023). *Good practices for supply chain cybersecurity*. https://www.enisa.europa.eu/sites/default/files/publications/Good%20Practices%20for%20Supply%20Chain%20Cybersecurity.pdf

15. Falliere, N., Murchu, L. O., & Chien, E. (2011). *W32.Stuxnet dossier* (Version 1.4). Symantec Security Response. https://www.symantec.com/content/en/us/enterprise/media/security_response/whitepapers/w32_stuxnet_dossier.pdf

16. Fortinet. (2024). IEC 62443 *standard: Enhancing cybersecurity for industrial automation and control systems*. https://www.fortinet.com/resources/cyberglossary/iec-62443

17. Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15–26. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004

18. García, L., Sánchez, M., & Ortega, J. (2021). The digital transformation of logistics: A review about technologies and their implementation status. In *Digital transformation in supply chain management*. https://doi.org/10.1002/9781119646495.ch25

19. Gómez, J., Martínez, P., & López, R. (2024). Industry 4.0 data security: A cybersecurity frameworks review. *Journal of Industrial Information Integration, 35*, 100604. https://doi.org/10.1016/j.jii.2024.100604

20. ICL Group. (2024). *Top 10 trends shaping the future of Industry 4.0.* https://www.icl-group.com/blog/top-industry4-0-trends-shaping-the-future-of-industry/

21. Industrial Cyber. (2023). *The essential guide to the NIST SP 800-82 document*. https://industrialcyber.co/nist/the-essential-guide-to-the-nist-sp-800-82-document/

22. Industrial Cyber. (2024). *NIST rolls out meta-framework, reference model to boost traceability and cybersecurity across manufacturing supply chains*. https://industrialcyber.co/nist/nist-rolls-out-meta-framework-reference-model-to-boost-traceability-and-cybersecurity-across-manufacturing-supply-chains/

23. Industrial Cyber. (2025a). R*ising threats push industrial supply chains to adopt real-time monitoring, proactive cybersecurity practices.* https://industrialcyber.co/features/rising-threats-push-industrial-supply-chains-to-adopt-real-time-monitoring-proactive-cybersecurity-practices/

24. Industrial Cyber. (2025b). *Smart manufacturing at turning point as cybersecurity, IT/OT convergence reshape industrial strategy*. https://industrialcyber.co/manufacturing/smart-manufacturing-at-turning-point-as-cybersecurity-it-ot-convergence-reshape-industrial-strategy/

25. Isaiah, P., Andrewson, S., & Noel, D. (2025). *Strengthening supply chain resilience through cybersecurity and Industry 4.0 technologies: Transforming the future of manufacturing*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/397058963

26. ISC2. (2024). *The real-world impact of AI on cybersecurity professionals.* https://www.isc2.org/Insights/2024/02/The-Real-World-Impact-of-AI-on-Cybersecurity-Professionals

27. Ivanov, D., & Dolgui, A. (2023). Industry 4.0 digital transformation and opportunities for supply chain management. *International Journal of Logistics Management*. https://doi.org/10.1080/09537287.2023.2252376

28. Ivanov, D., Dolgui, A., & Sokolov, B. (2024). Unveiling the impact of Industry 4.0 on supply chain performance: The mediating role of integration and visibility. *International Journal of Logistics Managemen*t. https://doi.org/10.1080/09537287.2024.2440454

29. Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Sharma, R. (2021). Industry 4.0 technologies for manufacturing sustainability: A systematic review and future research directions. *Applied Sciences, 11*(12), 5725. https://doi.org/10.3390/app11125725

30. Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Sharma, R. (2023). A review of digital transformation and Industry 4.0 in supply chain management for small and medium-sized enterprises. *Socio-Economic Planning Science*s. https://doi.org/10.31181/sems1120237j

31. Khan, R., Abbas, G., & Hassan, S. (2024). Role of quantum computing in shaping the future of 6G technology. *Information and Software Technology, 166*, 107454. https://doi.org/10.1016/j.infsof.2024.107454

32. Khan, R., Zhang, Y., & Kim, J. (2023). Strategy for implementing zero trust architecture. *IEEE Transactions on Reliability, 72*(4). https://doi.org/10.1109/TR.2023.3345665

33. Kindervag, J. (2010). N*o more chewy centers: Introducing the Zero Trust Model of information security*. Forrester Research. https://www.virtualstarmedia.com/downloads/Forrester_zero_trust_DNA.pdf

34. Koppichetti, R. K. (2023). *Convergence of information technology (IT) and operations technology (OT) in bio-pharmaceutical manufacturing industry*. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.14866213

35. KPMG. (2024). *Industrial control system (ICS) or operational technology (OT) threat landscape*. https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmgsites/in/pdf/2024/04/ics-threat-landscape-2024.pdf.coredownload.inline.pdf

36. Kumar, A., & Singh, R. (2023). Integrating industrial automation with cybersecurity for critical infrastructure protection. *ESP Journal of Engineering and Technology Advancement, 4*(1), 118–126. https://espjeta.org/Volume4-Issue1/JETA-V4I1P118.pdf

37. Langner, R. (2011). Stuxnet: Dissecting a cyberwarfare weapon. *IEEE Security & Privacy, 9*(3), 49–51. https://doi.org/10.1109/MSP.2011.67

38. Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Computers in Industry, 81*, 18–25. https://doi.org/10.1016/j.compind.2015.08.004

39. Li, H., Wang, Y., & Zhao, X. (2025). Research on the impact of enterprise artificial intelligence on supply chain resilience:
Empirical evidence from Chinese listed companies. *Sustainability, 17*(19), 8576. https://doi.org/10.3390/su17198576

40. López-Gómez, J., Molina-Moreno, V., & Leyva-Díaz, J. C. (2021). The Industry 4.0 technologies and their impact in the continuous improvement and the organizational results: An empirical approach. *Sustainability, 13*(17), 9965. https://doi.org/10.3390/su13179965

41. Lu, Q., Xu, X., Weber, I., Zhu, L., & Zhang, Y. (2025). Impact of artificial intelligence and blockchain on supply chain resilience under the influence of change management. *Soft Computing*. https://doi.org/10.1007/s00500-025-10564-5

42. Luo, Y., Zhang, Y., Li, X., & Chen, J. (2024). Leveraging Industry 4.0 for sustainable manufacturing: A quantitative analysis using FI-RST. *Applied Sciences, 14*(20), 9545. https://doi.org/10.3390/app14209545

43. Monostori, L. (2014). Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. *Procedia CIRP, 17*, 9–13. https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.115

44. Mourtzis, D., Angelopoulos, J., & Panopoulos, N. (2024). A review of the Industry 4.0 to 5.0 transition: Exploring the technological, organizational, and human-centric challenges. *Machines, 13*(4), 267. https://doi.org/10.3390/machines13040267

45. National Institute of Standards and Technology. (2015). *Guide to industrial control systems (ICS) security* (NIST Special Publication 800-82 Rev. 2). https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/82/r2/final

46. National Institute of Standards and Technology. (2024). *Guide to industrial control systems (ICS) security* (NIST Special Publication 800-82 Rev. 3, Draft). https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-82/rev-3/draft

47. Palo Alto Networks. (2024). *What is generative AI in cybersecurity?* https://www.paloaltonetworks.com/cyberpedia/generative-ai-in-cybersecurity

48. Pinto, A., Costa, P., & Ferreira, J. (2023). Cybersecurity of industrial systems—A 2023 report. *Electronics, 13*(7), 1191. https://doi.org/10.3390/electronics13071191

49. PR Newswire. (2025). *61% of cybersecurity professionals plan AI adoption as manufacturing faces growing cyber risks*. https://www.prnewswire.com/news-releases/61-of-cybersecurity-professionals-plan-ai-adoption-as-manufacturing-faces-growing-cyber-risks-302528554.html

50. Rahman, M. (2024). Supply chain agility and resilience in dynamic environments. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences, 15*(3). https://doi.org/10.6007/IJARBSS/v15-i3/24870

51. Rahman, M. H., Rahman, M. S., & Ali, M. S. (2023). IoT and Industry 4.0: Revolutionizing manufacturing processes and supply chains. *Journal of Innovation and Engineering Research, 4*(3), 1–15. https://doi.org/10.52783/jier.v4i3.1425

52. Rahman, M., Hossain, M., & Ahmed, S. (2024). Impacts of Industry 4.0 on supply chain management of logistics providers: A methodical review. *Global Journal of Engineering and Technology Advances, 2*0(3). https://doi.org/10.30574/gjeta.2024.20.3.0159

53. Ravikumar, P., & Reddy, K. R. (2022). The convergence of IT and OT—Cybersecurity related challenges and best practices. *International Journal of Computer Trends and Technology, 69*(2), 113–120. https://www.ijcttjournal.org/Volume-69%20Issue-2/IJCTT-V69I2P113.pdf

54. Rossi, M., Bianchi, G., & Ferraris, A. (2024). Artificial intelligence in Industry 4.0: *A review of integration challenges for industrial systems* [Preprint]. arXiv. https://arxiv.org/html/2405.18580v2

55. Saeed, M. A., et al. (2020). Industry 4.0: A review on industrial automation and robotics. *Jurnal Teknologi, 78*(9), 15–26. https://doi.org/10.11113/jt.v78.9285

56. Salkin, C., Oner, M., Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). A conceptual framework for Industry 4.0. In A. Ustundag & E. Cevikcan (Eds.), *Industry 4.0: Managing the digital transformation* (pp. 3–23). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5_1

57. SAP. (2025). *Industry 4.0: The future of manufacturing*. https://www.sap.com/products/scm/industry-4-0/what-is-industry-4-0.html

58. Schwab, K. (2017). *The fourth industrial revolution*. Crown Business.

59. Serey, J., Alfaro, M., Fuertes, G., Vargas, M., Ternero, R., Durán, C., Sabattin, J., & Gutiérrez, S. (2023). Framework for the strategic adoption of Industry 4.0: A focus on intelligent systems. *Processes, 11*(10), 2973. https://doi.org/10.3390/pr11102973

60. Smith, J. (2019). *Addressing issues with defense-in-depth, APTs, and IoT with active cyber defense cycle*. ProQuest. https://www.proquest.com/openview/153f85310c8181e6608910013a759bd5

61. Software Engineering Institute. (2023). *IT, OT, and zero trust: Implementing zero trust in industrial control systems*. Carnegie Mellon University. https://www.sei.cmu.edu/blog/it-ot-and-zt-implementing-zero-trust-in-industrial-control-systems/

62. Srivastava, R. (2022). *Why ICS/OT infrastructure is insecure*. ISA Global Cybersecurity Alliance. https://gca.isa.org/blog/why-ics/ot-infrastructure-is-insecure

63. Tao, F., Zhang, M., Nee, A. Y. C., & Wang, L. (2021). A survey on AI-driven digital twins in Industry 4.0. *Sensors, 21*(19), 6340. https://doi.org/10.3390/s21196340
Teece, D. J. (2007). Explicating dynamic capabilities: The nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. *Strategic Management Journal, 28*(13), 1319–1350. https://doi.org/10.1002/smj.640

64. Telefónica Tech. (2025). Industry 4.0 in 2025: *Trends, challenges, and technological solutions*. https://telefonica-tech.com/en/blog/industry-4-0-trends-challenges

65. Torkura, K. A., Sukmana, M. I. H., Cheng, F., Meinel, C., & Graupner, H. (2019). A review of Industry 4.0 manufacturing process security risks. *Applied Sciences, 9*(23), 5105. https://doi.org/10.3390/app9235105

66. TraxTech. (2024). *NIST releases supply chain traceability meta-framework to secure U.S. manufacturing*. https://www.traxtech.com/ai-in-supply-chain/nist-releases-supply-chain-traceability-meta-framework-to-secure-us-manufacturing

67. Trentesaux, D., Borangiu, T., Thomas, A., & Leitão, P. (2024). Review of Industry 4.0 from the perspective of automation and supervision systems: Definitions, architectures and recent trends. *Electronics, 13*(4), 782. https://doi.org/10.3390/electronics13040782

68. United Nations Industrial Development Organization. (2018). I*ndustry 4.0—The opportunities behind the challenge*. https://www.unido.org/sites/default/files/files/2018-11/UNIDO_GC17_Industry40.pdf

Veridify. (2023). *Zero trust: Reinforcing security in industrial control systems*. https://www.veridify.com/zero-trust-reinforcing-security-in-industrial-control-systems/

69. Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2024). Industry 4.0: State of the art and future trends. I*nternational Journal of Production Research, 56*(8), 2941–2962. https://doi.org/10.1007/s11301-022-00314-4

70. Yılmaz, S., Kaya, A., & Demir, M. (2024). Quantum computing in 6G networks: Opportunities and challenges. *Gazi University Journal of Science*. https://doi.org/10.30855/gmbd.070525A10

71. Zhang, H., Wang, J., & Li, S. (2025). The future of manufacturing and Industry 4.0. *Applied Sciences, 15*(9), 4655. https://doi.org/10.3390/app15094655

72. Zhang, X., Liu, Y., & Wang, J. (2023). Emerging advances in sustainable manufacturing. *Processes, 13*(5), 1549. https://doi.org/10.3390/pr13051549

73. Zhang, Y., Li, X., & Chen, J. (2024a). *Enhancing supply chain visibility and performance: A review of Industry 4.0 enablers* [Preprint]. Research Square. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5090384/v1

74. Zhang, Y., Li, X., & Chen, J. (2024b). Examining the integration of artificial intelligence in supply chain management from Industry 4.0 to 6.0: A systematic literature review. *Frontiers in Artificial Intelligence*. https://doi.org/10.3389/frai.2024.1477044

75. Zimmermann, J., Sadeghi, A.-R., & Schulz, S. (2024). *SoK: Analysis of software supply chain security by establishing secure design properties* [Preprint]. arXiv. https://arxiv.org/abs/2406.10109

ÉTICA EN LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL: IMPLICACIONES EN LA EDUCACIÓN, PRIVACIDAD DE DATOS, SESGOS Y TRANSPARENCIA PARA FOMENTAR EL PENSAMIENTO CRÍTICO Y DISPOSICIONES LEGISLATIVAS

ETHICS IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE: IMPLICATIONS FOR EDUCATION, DATA PRIVACY, BIAS, AND TRANSPARENCY TO PROMOTE CRITICAL THINKING AND LEGISLATIVE PROVISIONS

Gloria Garrido Garrido[1], **Gerardo Bobadilla Ramírez**[2]

[1]*Facultad Tecnológica, Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile (gloria.garrido@usach.cl)*

[2]*Departamento de Políticas Institucionales. Subsecretaría de Fuerzas Armadas. Ministerio de Defensa Nacional, Santiago, Chile (gerardo.bobadilla@usach.cl)*

https://doi.org/10.17613/dqgrk-bbb46

Resumen

Este capítulo analiza implicaciones éticas de la IA en educación y auditoría mediante revisión bibliográfica sistemática. Define sistemas IA según la Comisión Europea y destaca beneficios como optimización administrativa, acceso democratizado y comunicación fluida. Examina riesgos como sesgos algorítmicos, opacidad decisoria, pérdida de privacidad y dependencia tecnológica que amenaza habilidades humanas críticas. Se analiza el Reglamento (UE) 2024/1689, que clasifica IA por niveles de riesgo (inaceptable, alto, limitado, mínimo), prohibe prácticas manipuladoras y exige transparencia en educación. Además, se comparan regulaciones de UE, EE.UU., China, Reino Unido, Singapur, Japón, Corea del Sur, junto con la Ley chilena 21.719 sobre datos personales. Propone principios éticos UNESCO/OCDE, destacando la importancia de la transparencia, equidad, supervisión humana, y privacidad. El pensamiento crítico se identifica como competencia esencial para interrogar algoritmos y preservar autonomía intelectual. Finalmente, se recomienda implementar auditorías independientes, diversidad algorítmica, alfabetización ética en currículos y formación docente continua para IA centrada en el ser humano, equilibrando innovación con responsabilidad social en pedagogía y compliance.

Palabras claves: ética de IA, pensamiento crítico, sesgos

Abstract:

This chapter examines the ethical implications of artificial intelligence (AI) in education and auditing through a systematic literature review. It defines AI systems according to the European Commission and highlights benefits such as administrative optimization, democratized access, and improved communication. It also examines risks such as algorithmic bias, lack of transparency in decision-making, loss of privacy, and technological dependence that threatens critical human skills. Regulation (EU) 2024/1689 is analyzed, which classifies AI systems according to risk levels (unacceptable, high, limited, and minimal), prohibits manipulative practices, and requires transparency in education. In addition, regulatory frameworks from the EU, USA, China, United Kingdom, Singapore, Japan, and South Korea are compared, along with Chilean Law No. 21,719 on personal data protection. UNESCO/OECD ethical principles are proposed, emphasizing the importance of transparency, fairness, human oversight, and privacy. Critical thinking is identified as an essential skill for questioning algorithms and preserving intellectual autonomy. Finally, the chapter recommends implementing independent audits, promoting algorithmic diversity, incorporating ethical literacy into curricula, and providing continuous teacher training to foster human-centered AI, balancing innovation with social responsibility in pedagogy and compliance.

Keywords: AI ethics, critical thinking, biases

1. INTRODUCCIÓN

La indagatoria documental del presente artículo, presta una especial atención a las repercusiones de la ética en el uso de los sistemas de inteligencia artificial (IA), el avance acelerado del uso en la educación, ha tomado una función nueva y determinante en las prácticas de la sociedad humana, en particular, porque vivir en sociedades en la era de la digitalización, exige nuevas prácticas que requieren una reflexión desde el punto de vista ético, pensamiento crítico y lo que la legislación vigente otorga todos los aspectos de la academia, las ciencias y las tecnologías de la IA que aportan nuevas capacidades.

La cultura, dadas las cuestiones éticas que rodean a la IA exigen la cooperación de múltiples sectores a nivel global, la comunicación y la información. Desde esa perspectiva la importancia de esta recopilación bibliográfica es proporcionar un marco que engloba los principios y directrices que han de seguir, las cuestiones éticas en los sistemas de IA, toda vez que estamos viviendo un impacto ético para determinar y analizar los riesgos en las bases de datos y sesgos. Conforme estos sistemas evolucionan y aumentan el uso de los datos, resulta muy importante comprender mejor su impacto en el mundo que nos rodea, especialmente en el campo de la educación y la formación.

El texto se basa en la búsqueda bibliográfica en Organismos Internacionales y Nacionales, enfocados a normativas que regulan el manejo de la IA y a partir de lo que la sociedad de hoy implementa o requiere, las consideraciones éticas en la educación impulsada por la Inteligencia Artificial y las directrices emanadas desde diferentes organismos internacionales, se orienta a temas relacionados al uso de y aplicación de la inteligencia artificial en la educación que ofrece grandes oportunidades, pero también presenta desafíos éticos que no deben pasar por alto, surge la necesidad desde lo ético y social establecer una ética en el uso de ella.

La presente investigación documental pretende ofrecer una comprensión de los desafíos y oportunidades que presenta la IA en educación, contribuyendo a la implementación de marcos éticos y normativos adecuados para su uso eficiente y seguro.

2. Desarrollo del capítulo

2.1. Normativa internacional y las implicancias éticas de la inteligencia artificial

Cuando hablamos de sistemas de IA, nos referimos a los programas informáticos de ordenadores o máquinas que están programados para llevar a cabo tareas que normalmente requieren inteligencia humana. Mediante el uso de datos, se puede "entrenar" a determinados sistemas de IA para realizar predicciones, formular recomendaciones o tomar decisiones, a veces sin intervención humana.

La definición de sistema de inteligencia artificial de la Comisión Europea nos indica lo siguiente: *"el software que se desarrolla empleando una o varias de las técnicas y estrategias y que puede, para un conjunto determinado de objetivos definidos por seres humanos, generar información de salida de contenidos, predicciones, recomendaciones o decisiones que influya en los entornos con los que interactúa"*.

Las técnicas y estrategias de inteligencia artificial destacadas por la Comisión Europea son:

a. Estrategias de aprendizaje automático, incluidos el aprendizaje supervisado, el no supervisado y el realizado por refuerzo, que emplean una amplia variedad de métodos, entre ellos el aprendizaje profundo.

b. Estrategias basadas en la lógica y el conocimiento especialmente la representación del conocimiento, la programación (lógica) inductiva, las bases del conocimiento, los motores de inferencia y deducción, los sistemas de expertos y de razonamiento y optimización.

c. Estrategias estadísticas, estimación bayesiana, métodos de búsqueda y optimización.

Martínez y López (2021) señalan que, estos sistemas pueden gestionar, el manejo automático de documentos académicos, el análisis y la gestión de informes, así como, asegurar el cumplimiento de normativas de protección de datos. Anderson y Lee (2023), identifican varios procesos que la IA optimiza eficientemente: la gestión, el control y procesamiento de ingresos y egresos, el seguimiento académico, y las evaluaciones y las calificaciones. Estos sistemas de IA promueven y fomentan significativamente la comunicación entre todos los actores del proceso educativo. Wright y Johnson (2022).

Esta tecnología facilita el acceso a la educación desde cualquier parte del mundo, así como también a estudiantes con limitación que les impida para trasladarse a los centros educativos, es decir, se democratiza la educación eliminando barreras temporales y espaciales. García-Peñalvo y Corell (2022).

Cheruvalath (2023) enfatiza la importancia de preparar adecuadamente a los profesionales para usar herramientas de IA de manera ética y efectiva. La formación y el desarrollo de competencias en el uso de la IA son fundamentales para minimizar los riesgos éticos, como la dependencia excesiva en algoritmos o la pérdida de habilidades humanas críticas, como podría ser el caso de las auditorías. Estas herramientas permiten manejar grandes volúmenes de datos y realizar análisis complejos en menor tiempo. Sin embargo, su implementación presenta desafíos éticos relacionados con la transparencia, la responsabilidad y la privacidad de los datos procesados (Vilcherrez, 2020).

El conocimiento ya no es algo que se transfiere linealmente; se construye, se valida, y se co-crea en ecosistemas de información mediados por algoritmos.

Las diversas teorías éticas —como el utilitarismo, la deontología y la ética de la virtud— brindan un marco conceptual robusto y aplicable2 para examinar las implicaciones éticas de la inteligencia artificial. Estas herramientas permiten desentrañar dilemas como la privacidad, los sesgos y la transparencia, revelando por qué el pensamiento crítico resulta indispensable. Este último se posiciona como condición sine qua non para integrar la IA en la educación de manera ética, consciente y transformadora, fomentando no solo el aprendizaje responsable, sino también la equidad y la innovación sostenible en entornos pedagógicos. (Benavides, 2020; Terrones y Bernardi, 2004).

La IA ha revolucionado el manejo de información académica mediante el uso de sistemas inteligentes de gestión documental.

La integración de la IA en la educación plantea desafíos ineludibles y riesgos, como posible superficialidad en los aprendizajes profundos. Para contrarrestarlos, resulta primordial formar competencias en el uso ético, minimizando así riesgos y **preservando habilidades humanas esenciales**. El estudiante no puede limitarse a consumir contenidos; debe transformarse en un agente activo, capaz de interactuar con estas tecnologías sin soslayar su complejidad ética, social y cultural. De este modo, se fomenta una educación transformadora, crítica y responsable.

Las diferentes corrientes éticas ofrecen un marco conceptual sólido y práctico para analizar las implicaciones de la IA, subrayando la necesidad imperiosa de incorporar el pensamiento crítico. Este se erige como condición esencial para integrar la IA en la educación de forma ética, consciente y transformadora, promoviendo una adopción responsable.

La presencia de la IA en procesos educativos exige reconsiderar profundamente los marcos éticos desde los que instituciones toman decisiones, hasta qué punto podemos delegar la personalización del aprendizaje a sistemas que no conocen la dimensión emocional o cultural del estudiante, impidiendo una evaluación integral.

Los interesados deben poder entender cómo se han tomado las decisiones y sobre qué base se fundamentan, un principio que se ve reforzado por estudios como el de Kazim y Koshiyama (2020) quienes subrayan la importancia de la transparencia y la explicabilidad en los sistemas de IA, sobre todo los aplicados en auditoría.

Los desafíos éticos asociados con el uso de la IA, como sucede en los procesos de auditoría, desde la falta de transparencia hasta los sesgos algorítmicos y la dilución de la responsabilidad, requieren una reflexión cuidadosa y un marco ético sólido. Los principios de la teoría deontológica, fundamentan la transparencia ética de la IA en auditoría (Araos, 2003; Rawls, 2012).

El riesgo de sesgo algorítmico, una preocupación destacada en la literatura sobre ética de la IA, es otro desafío central. Los estudios de Munoko et al. (2020) advierten que, si bien puede mejorar la eficiencia en las auditorías, los algoritmos opacos o mal diseñados pueden perpetuar sesgos involuntarios, comprometiendo la objetividad y la equidad del proceso. En este sentido: los auditores tienen la responsabilidad de no sólo identificar los sesgos, sino también de mitigarlos solo activamente, alineando así su práctica con los principios éticos fundamentales (Mittelstadt et al, 2016) destacando:

Privacidad de Datos

Las instituciones, escuelas, organizaciones suelen procesar cantidades considerables de datos, caso particular las educativas, en particular información personal sobre los estudiantes, los progenitores, el personal, la dirección, los proveedores.

Sesgo algorítmico y la transparencia Análisis de sesgos.

Los algoritmos de IA, si no se supervisan adecuadamente, pueden introducir sesgos y errores sistemáticos que comprometen la integridad de los resultados. Esto genera una dificultad para auditores, quienes deben garantizar la independencia a pesar de la opacidad inherente de algunos sistemas de IA que pueden influir en las decisiones sin ofrecer la transparencia necesaria.

Sesgos más habituales: La formación y el desarrollo de competencias en el uso de la IA son fundamentales para minimizar los riesgos éticos, como dependencia excesiva en algoritmos o la pérdida de habilidades humanas críticas en auditoría.

Los sesgos son una marcada desventaja y sobre todo un preocupante aspecto para regular la educación. La IA se nutre de información de la red, pero esa información no es visible porque responde a grupos o personas que por sus características o capacidades son más visibles en la red, y por lo general, esa información se sobrepone y eclipsa a la información que podría encontrarse en la red por parte de grupos minoritarios.

La Ley de Inteligencia Artificial de la Unión Europea, formalizada en el Reglamento (UE) 2024/1689, marca un hito como el primer marco jurídico integral y global en esta materia. Aborda proactivamente riesgos como sesgos algorítmicos, privacidad y transparencia, clasificando sistemas por niveles de riesgo para garantizar su uso ético. Así, posiciona a Europa como líder mundial en regulación responsable, promoviendo una IA fiable, segura e innovadora que fomenta el desarrollo tecnológico sostenible y la confianza ciudadana.

2.2. Requisitos clave para una norma fiable

La Ley de inteligencia artificial de la Comisión Europea establece requisitos jurídicamente vinculantes para los sistemas IA considerados de "alto riesgo" habida cuenta de su finalidad prevista.

Los requisitos propuestos están relacionados con la gestión de riesgos, los datos de entrenamiento y de prueba del sistema de IA y la gobernanza de datos, el suministro de documentación técnica, el registro, la transparencia y la comunicación de la información a los usuarios y la vigilancia humana, así como la solidez, la precisión y la ciberseguridad.

Esto incluirá determinados sistemas de IA que se utilizan en el ámbito de la educación y la formación profesional. Los centros de enseñanza, en su calidad de usuarios de sistemas de IA, podrán confiar en la fiabilidad de estos sistemas "alto riesgo", sobre la base de la correspondiente certificación garantizada por el proveedor, al tiempo que tendrán que cumplir determinadas obligaciones.

Los requisitos siguientes, basados en las Directrices Éticas para una IA confiable elaboradas por el Grupo de Expertos de Alto Nivel de la Comisión Europea (ECORYS 2022), resultan altamente recomendables para cualquier sistema de IA desplegado y utilizado en el ámbito educativo, abordan preocupaciones importantes, como el riesgo de sesgo o de error que afecte a los resultados educativos.

- La capacidad de acción y vigilancia humanas incluidos los derechos fundamentales, los derechos de los niños, la capacidad de acción y la vigilancia humanas.
- La transparencia, incluidas la trazabilidad, la explicabilidad y la comunicación.
- La diversidad, no discriminación y equidad, en particular la accesibilidad, el diseño universal, la prevención de sesgos injustos y la participación de las partes interesadas, lo que permite el uso independientemente de la edad, el género, las capacidades o las características, con especial atención a los estudiantes con necesidades especiales.

- El bienestar social y medioambiental, en particular la sostenibilidad y el respeto por el medio ambiente, el impacto social, la sociedad y la democracia.
- La privacidad y gobernanza de datos, en particular el respeto de la privacidad, la calidad y la integración de los datos, así como el acceso a ellos.
- La solidez técnica y la seguridad, en particular la resiliencia frente a los ataques, la protección y la seguridad general, la precisión, la fiabilidad y la reproducibilidad.
- La rendición de cuentas, incluidas la auditabilidad, la minimización de los efectos negativos y su notificación, los compromisos y las compensaciones. Las consideraciones y los requisitos pueden ayudar a los agentes educativos, los directores de centros de enseñanza y los proveedores de tecnologías a evaluar adecuadamente las repercusiones, abordar los posibles riesgos y aprovechar los beneficios de un sistema de IA desplegado y utilizado en educación.

La Ley de Inteligencia Artificial establece normas basadas en el riesgo para desarrolladores e implementadores, según usos específicos. Forma parte de un paquete integral de medidas políticas que apoyan su desarrollo fiable, incluyendo el Plan de Acción para la IA en el Continente Europeo y la creación de fábricas de IA. En conjunto, estas iniciativas garantizan seguridad, derechos fundamentales y un enfoque humano-centrado, impulsando la adopción, inversión e innovación en IA en toda la Unión Europea.

Para facilitar la transición al nuevo marco regulatorio, la Comisión Europea ha lanzado el Pacto sobre IA, una iniciativa voluntaria que apoya su implementación futura. Esta medida fomenta la colaboración con partes interesadas, invita a proveedores e implementadores de IA —europeos y externos— a adoptar anticipadamente las obligaciones clave de la Ley y se complementa con un servicio de asistencia paneuropeo para garantizar una aplicación efectiva y coordinada.

2.3. *¿Por qué necesitamos normas sobre IA?*

La Ley de IA asegura que europeos y usuarios confíen plenamente en sus beneficios. Aunque la mayoría de los sistemas presentan riesgos bajos o nulos y ayudan a resolver desafíos sociales, ciertos usos generan amenazas que exigen medidas preventivas para evitar resultados perjudiciales.

Por ejemplo, a menudo no es posible averiguar por qué un sistema de IA presenta una decisión o predicción y ha tomado una acción en particular. Por lo tanto, puede ser difícil evaluar si alguien ha sido injustamente desfavorecido, como en una decisión de contratación de trabajo o en una solicitud de un plan de beneficios públicos y/o sociales.

Aunque la legislación vigente en Europa ofrece cierta protección, es insuficiente para abordar los retos específicos que pueden plantear los sistemas de IA, por ejemplo, los enfoques basados en riesgo, cumplimiento y ejecución y propuestas de simplificación.

Enfoque basado en riesgo, la Ley de IA define cuatro niveles de riesgo para sistemas de IA:

Riesgo inaceptable: puntuación social, reconocimiento facial, patrones oscuros. Todos los sistemas de IA considerados una amenaza clara para la seguridad, los medios de subsistencia y los derechos de las personas están prohibidos.

La Ley de IA prohíbe ocho prácticas, a saber: manipulación y engaño perjudiciales basados en IA; explotación nociva de vulnerabilidades; puntuación social; evaluación o predicción del riesgo de infracción penal individual; raspado no selectivo de Internet o material de circuito cerrado de TV para crear o ampliar bases de datos de reconocimiento facial; reconocimiento de emociones en lugares de trabajo e instituciones educativas; categorización biométrica para deducir determinadas características protegidas; Identificación biométrica remota en tiempo real con fines policiales es espacios de acceso público.

Las prohibiciones entraron en vigor en febrero de 2025. La Comisión publicó dos documentos clave para apoyar la aplicación práctica de las prácticas prohibidas:

- Las directrices sobre prácticas de la IA prohibidas en virtud de la Ley de IA, que ofrecen explicaciones jurídicas y ejemplos prácticos para ayudar a las partes interesadas a comprender y cumplir las prohibiciones.
- Directrices sobre la definición de sistemas de IA de la Ley, para ayudar a las partes interesadas a determinar el ámbito de aplicación de esta Ley.

Alto riesgo: componentes de seguridad en infraestructuras críticas, en el trabajo, acceso a la educación, acceso a servicios públicos, salud, seguridad, evaluación crediticia, control de fronteras. Las normas para la IA de alto riesgo entraran en vigor en agosto de 2026 y agosto 2027.

Riesgo limitado: IA de propósito general y sistemas de IA con requisitos de transparencia como "chatbots" y otros. Esto se refiere a los riesgos asociados a la necesidad de transparencia en torno al uso de la IA.

La Ley introduce obligaciones específicas de divulgación para garantizar que los seres humanos estén informados cuando sea necesario para preservar la confianza. Además, los proveedores de la IA generativa deben garantizar que los contenidos generados sean identificables. Las normas de transparencia de la Ley de IA entrarán en vigor en agosto de 2026.

Riesgo mínimo: videojuegos habilitados para IA, Spam. La Ley de IA no introduce normas que se consideren de riesgo mínimo o nulo. La gran mayoría de los sistemas de IA utilizados actualmente en la UE entran en esta categoría, esto incluye aplicaciones como videojuegos habilitados para IA o filtros de spam.

Cumplimiento y ejecución

Una vez que un sistema de IA está en el mercado, las autoridades se encargan de la vigilancia del mercado, los responsables del despliegue garantizan la supervisión y el seguimiento humanos, y los proveedores y los responsables del despliegue también notificarán incidentes graves y fallos de funcionamiento.

Propuesta de simplificación

El 9 de abril de 2025, la Comisión Europea presentó el nuevo Plan de Acción Continental de IA, que traza una agenda estratégica para acelerar su adopción y desarrollo en toda la UE. Al alinear regula-

ciones con inversiones, y equilibrando control normativo con innovación, la UE aspira a fomentar un entorno donde la IA prospere de manera responsable.

Este plan se alinea con el mensaje de la presidenta de la CE, Ursula von der Leyen, en la Cumbre de Acción de IA de febrero en París: el liderazgo mundial en IA «está a nuestro alcance», y la Comisión hará todo lo posible para posicionar a Europa como competidor serio.

Algunas organizaciones se han preocupado por emitir lineamientos sobre la Ética y la IA en la educación, mencionando las siguientes:

UNESCO Ethics AI (2020), UNESCO Education & AI (2021), Beijing Consensus, OCDE (2021), Comisión Europea (2019), European Parliament Report AI Education (2021), UNICEF (2021) y Foro Económico Mundial (2019).

Cabe señalar que los reportes en materia de ética en IA abarcan principios, dentro de los cuales se encuentran códigos más específicos.

2.4. Regulaciones Internacionales sobre Inteligencia Artificial: Enfoques Éticos - Privacidad de datos – Transparencia

Se ilustran las regulaciones internacionales sobre: inteligencia artificial, enfoques éticos, privacidad y transparencia de la UE, Estados Unidos, China, Reino Unido, Singapur, Japón y Corea del Sur. Según Veale y Zuiderveen (2021) esta legislación establece un marco integral que categoriza los sistemas de IA según su nivel de riesgo y establece requisitos específicos para cada categoría.

Tabla 1: Regulaciones Internacionales sobre Inteligencia Artificial.

Región / País	*Enfoque Ético*	*Privacidad de Datos*	*Transparencia*
Unión Europea (UE)	*Prioriza la protección de derechos fundamentales. Establece una clasificación de riesgos para la IA y prohibir ciertos usos de alto impacto social.*	*Se basa en el Reglamento General de Protección de Datos (DGPR), exigiendo consentimiento informado y control ciudadano sobre sus datos.*	*Impone altos estándares de transparencia, exigiendo explicaciones claras sobre decisiones automatizadas y auditorias en el uso de la IA*
Estados Unidos (EE.UU.)	*Adopta un enfoque fragmentado, con regulaciones sectoriales y variabilidad estatal. Prioriza la seguridad nacional y los derechos civiles.*	*Protección de datos manejada a nivel estatal (ejemplo: Ley CCPA en California), sin un marco nacional unificado.*	*Se requiere transparencia en sectores estratégicos como salud y finanzas, pero sin regulación general.*

China	*Enfoque de control estatal, con énfasis en seguridad nacional y regulación de contenidos.*	*Regula los datos personales con fuertes restricciones de recopilación y almacenamiento, alineadas con intereses gubernamentales.*	*Transparencia supervisada por el gobierno, con obligación de revelar algoritmos y procesos de toma de decisiones.*
Reino Unido	*Se enfoca en el desarrollo responsable de la IA. Ha creado organismos de supervisión como el AI Safety Institute.*	*Utiliza el marco GDPR con mayor flexibilidad tras el Flexit, buscando equilibrio entre innovación y protección.*	*Promueve la rendición de cuentas en IA, con incentivos para auditorías externas y supervisión independiente.*
Singapur	*Implementa una estrategia de gobernanza colaborativa, equilibrando innovación y regulación ética.*	*Protección de datos alineada con GDPR, pro con reglas menos estrictas para facilitar el desarrollo tecnológico.*	*Exige la divulgación de procesos de IA, sin imponer auditorías demasiado restrictivas.*
Japón	*Centra su regulación en la iniciativa "Sociedad 5.0", integrando IA con el desarrollo económico y social.*	*Aplicación de normas similares a GDPR, pero adaptadas a la transformación digital y la economía basada en datos.*	*Se exige a las empresas garantizar la transparencia en el uso de IA en sectores clave como salud y servicios públicos.*
Corea del Sur	*Modelo de regulación enfocado en la ética y la seguridad, con una visión de innovación controlada.*	*Implementa protección de datos combinada con incentivos para el crecimiento tecnológico.*	*Algunas aplicaciones de IA requieren auditorías obligatorias, pero se permite experimentación regulada.*

Unión Europea: Permite segmentar los sistemas de IA según su impacto y definir qué aplicaciones son viables y cuáles deben ser restringidas. En cuanto a la protección de datos, marcos como el de la UE han demostrado la importancia de establecer normas que garanticen el consentimiento informado y otorguen a los ciudadanos control sobre su información personal.

Estados Unidos: La Ley de Privacidad del Consumidor de California (CCPA) es una ley del Estado de California promulgada el año 2020 que protege y hace cumplir los derechos de los californianos en relación con la privacidad de la información personal (IP) de los consumidores. https://oag.ca.gov/privacy/ccpa

China: ha desarrollado su marco regulatorio para los sistemas de IA. Zhang y Liu (2023), muestran que han implementado regulaciones específicas tales como gestión de recomendaciones del servicio de información de internet, centrándose en la seguridad nacional y el control de contenidos, la protección de datos personales, el desarrollo ético de la IA y la supervisión gubernamental centralizada. Posterior al Brexit, el Reino Unido ha establecido su marco regulatorio enfocado en la creación de AI Safety Institute, y el desarrollo de directrices específicas. (Davidson & Lopez 2023). En este sentido, se promueve la innovación y la colaboración a nivel internacional para el establecimiento de estándares regulatorios.

Singapur: Ha puesto un modelo único en el que se destacan directrices éticas, fomentar controladamente la innovación y promoción de la colaboración de los sectores públicos y privados. (Lee, y Park 2023).

Japón: ha puesto en práctica un enfoque regulador concentrado en la sociedad, centrándose en la ética y Seguridad, la protección de los derechos de cada individuo y las estrategias IA Society 5.0 (Yamamoto y Chen 2024).

Corea del Sur: Los modelos de desarrollo tecnológicos reguladores que han implementado es la protección de datos y referentes éticos. (Kim y Lee 2023).

La entrada en vigor de la Ley N° 21.719 Regula la Protección y el Tratamiento de los Datos Personales y Crea la Agencia de Protección de Datos Personales, en Chile, promulgada el 25.NOV.2024. marca un antes y un después en la privacidad de datos en el país. Esta nueva normativa no solo reemplaza a la antigua Ley N° 19.628, sino moderniza por completo el marco legal, alineándose con estándares como el Reglamento General de Protección de Datos. (RGPD).

Estos enfoques combinados ofrecen a los países en desarrollo herramientas estratégicas para diseñar regulaciones que fomenten la innovación tecnológica mientras protegen los derechos fundamentales de la población.

2.5. Principios Éticos de la IA en Educación

En el Plan de Acción de educación digital para el Continente de IA y en la Estrategia de Aplicación de la IA. la Comisión Europea, establecieron los siguientes principios éticos:

- Transparencia y Responsabilidad.
- Seguridad y Protección.
- Sostenibilidad y Proporcionalidad.
- Gobernanza.
- Enfoque Humano.
- Privacidad.
- Inclusividad.

El ingreso de la tecnología en el aula implica una transformación cultural, epistemológica y didáctica que interpela los fundamentos mismos de la educación. La IA no sustituye al docente, pero sí redefine su rol; no reemplaza el estudiante, pero sí exige nuevas competencias cognitivas y éticas para interactuar con sistemas inteligentes. Es aquí donde deben ser aplicados estos principios en educación y para ello el discente debe tener un pensamiento crítico para un actuar ético, ser analítico de mente abierta capaz de cuestionar la información, caracterizándose por razonar estructuradamente para llegar a la mejor solución posible de acuerdo con el contexto.

2.6. ¿Qué normas éticas deben seguir los educadores?

Los educadores también deben adherirse a normas éticas clave en el uso de IA, priorizando transparencia, equidad y protección de datos. Según directrices de UNESCO, la Comisión Europea y manifiestos educativos, las normas principales son:

- Transparencia y supervisión humana: Revelar el uso de IA a estudiantes y mantener control humano sobre decisiones.
- Privacidad y datos: Proteger información personal de alumnos, evitando exposición innecesaria.
- Evitar sesgos y discriminación: Seleccionar herramientas inclusivas y educar sobre sesgos algorítmicos.
- Integridad académica: Rechazar plagio o fraude con IA, fomentando pensamiento crítico.
- Formación continua: Capacitarse en ética de IA y promover su uso responsable.

Además, otro aspecto para tener en cuenta es la ética y los derechos fundamentales, puesto que es central en la regulación de los sistemas de IA, enfatizando en la equidad, uso de los algoritmos, dignidad humana, acceso a la discriminación y la autonomía individual (Wilson y García (2024).

2.7. La postura de Chile frente a la IA

Con la entrada en vigor de la Ley N° 21.719 "Regula la Protección y el Tratamiento de los Datos Personales y Crea la Agencia de Protección de Datos Personales", que reglamenta los Sistemas de Inteligencia Artificial, fue una iniciativa pionera en Latinoamérica y que busca equilibrar innovación tecnológica y protección de derechos fundamentales.

La Ley en cuestión, establece un marco basado en riesgos para la gobernanza de ella, una iniciativa que busca promover la creación, el desarrollo, junto con la innovación e implementación de estas tecnologías inspirada en la Ley de IA de la Unión Europea y en los principios éticos de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

El Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación resalta el avance del proyecto que establece "un marco normativo que garantice un desarrollo sostenible y ético de esta tecnología al servicio de las personas, en coherencia con los principios democráticos y el Estado de derecho".

2.8. ¿Por qué debemos desarrollar el pensamiento crítico en educación en tiempos de inteligencia artificial?

El estudiante ya no puede ser solo un consumidor de contenidos: debe ser agente crítico, capaz de interactuar con tecnologías como la IA sin perder de vista la complejidad ética, social y cultural que implican. El uso de tecnología sin pensamiento crítico puede reforzar desigualdades, desincentivar la reflexión y consolidar una pedagogía de consumo, en lugar de una producción significativa del conocimiento. Nos encontramos ante escenarios marcados por la incertidumbre, la volatilidad de los saberes y la constante redefinición de los roles tradicionales entre estudiantes, docentes y tecnologías. En este contexto, educar, sin fomentar el pensamiento crítico significa preparar sujetos para un mundo que ya no existe.

El pensamiento crítico es una de las pocas competencias que, cuando está presente, eleva el estándar general del proceso educativo. Permite profundizar los contenidos, conectar saberes, confrontar ideas y construir marcos interpretativos que habilitan aprendizajes duraderos y transferibles.

No podemos atribuir a la IA capacidades que no posee. La IA no comprende, no interpreta, no razona, en términos éticos ni posee intencionalidad: procesa datos y genera respuestas en función de patrones estadísticos, instrucciones algorítmicas y grandes volúmenes de entrenamiento.

Necesitamos formar personas que comprendan qué puede y qué no puede hacer la IA, que identifiquen sus límites, que evalúen sus resultados con criterio y que pueda intervenir reflexivamente ante propuestas automatizadas. Sin esta capacidad, el riesgo no es solo pedagógico: es político, económico, social y cultural.

Un estudiante crítico puede preguntarse: *¿por qué IA me recomienda esto y no aquello? ¿Qué criterios está utilizando para evaluarme? ¿Qué consecuencias tiene automatizar esta decisión en lugar de mediar humanamente?*

Educar en pensamiento crítico, es formar sujetos capaces de negociar con la tecnología en lugar de subordinarse a ella.

La IA tiene la capacidad de realizar tareas cognitivas que antes eran exclusivas del ser humano, redactar, resolver, contrastar. Sin embargo, estas posibilidades pueden ser grandes aliadas pedagógicas. Frente a este escenario debemos preguntarnos ¿qué sucede con las habilidades humanas cuando las delegamos sistemáticamente en sistemas automatizados. Se corre el riesgo de sustituir la reflexión genuina por la respuesta instantánea, que debilita el desarrollo de estructuras cognitivas complejas y reduce la profundidad del aprendizaje.

El pensamiento crítico, no se opone al uso de la IA; lo habilita. Porque sólo quién ha ejercido la crítica puede usar estas herramientas como aliadas sin renunciar a su autonomía intelectual. Sin embargo, la IA puede convertirse en una aliada para el pensamiento crítico, siempre que sea usada como propósito pedagógico y no como para evadir el esfuerzo intelectual.

El pensamiento crítico se posiciona como el núcleo de una nueva alfabetización crítica en IA, trascendiendo el mero uso eficiente de herramientas para cultivar la capacidad de comprender sus fundamentos, interrogar decisiones algorítmicas y evaluar impactos profundos en contextos educativos y sociales.

En este marco, la web de la Universidad de Santiago de Chile, Revistas Culturas Científicas (https://revistas.usach.cl/ojs/index.php/culturas/ia), destaca políticas claves alineadas con esta visión, promoviendo una integración responsable de la IA:

Inteligencia Artificial (IA)

1. ***Declaración de Uso**:*
   - *Los autores deben declarar explícitamente si han utilizado herramientas de IA durante la elaboración del manuscrito (e.g., generación de texto/imagen, traducción, análisis de datos).*
   - *Esta declaración debe incluir información sobre qué herramientas fueron utilizadas y cómo contribuyeron al proceso.*
2. ***Autonomía Intelectual del Autor**:*
   - *El contenido generado con IA debe ser revisado y complementado por los autores para garantizar la integridad académica.*
   - *La autoría del manuscrito corresponde exclusivamente a las personas físicas responsables de su creación intelectual. El uso de IA no otorga derechos de autoría a dichas herramientas.*
3. ***Responsabilidad sobre el Contenido**:*
   - *Los autores son responsables de la precisión, validez y originalidad de todo el contenido presentado, incluso si fue parcialmente generado, traducido o asistido por IA.*
   - *El uso de IA no exime a los autores de cumplir con las normas éticas y científicas de la revista, incluyendo la obligación de evitar el plagio o autoplagio.*
4. ***Prohibiciones**:*
   - *No se aceptarán manuscritos donde se detecte que el uso de IA compromete la calidad científica, la coherencia argumentativa o la originalidad del contenido.*
   - *Queda estrictamente prohibido el uso de herramientas de IA sin su declaración. Estas herramientas no reemplazan el razonamiento crítico de cada autor o autora, ni pueden ser utilizadas para escribir de forma directa los trabajos, es decir, no se permite la publicación de artículos, secciones o párrafos sin participación humana.*
5. ***Detección de Uso Inadecuado**:*
   - *La revista se reserva el derecho de utilizar herramientas especializadas para detectar contenido generado por IA.*
   - *En caso de identificar un uso inadecuado, se procederá al rechazo del manuscrito y se notificará a los autores sobre los hallazgos.*

*Estas políticas se encuentran sujetas a actualización y buscan asegurar un uso responsable y ético de la IA, promoviendo su integración como una herramienta complementaria sin comprometer los estándares académicos de la **Revista Culturas Científicas**.*

2.9. Normas Éticas

De igual forma en la misma web de la Universidad de Santiago de Chile, Revistas Culturas Científicas (https://revistas.usach.cl/ojs/index.php/culturas/normas_etica), contiene las siguientes Normas Éticas, asegurándose que los manuscritos publicados cumplan con los estándares más altos de integridad en la investigación. Esto incluye, pero no se limita a:

- Autenticidad y Fiabilidad de los Datos: Los autores deben garantizar que los datos y resultados presentados son originales, precisos y han sido obtenidos de manera ética. En caso de ser solicitado, se deben proporcionar los datos primarios para verificación.

- Cumplimiento de Normativas Éticas: En los casos en que la investigación involucre sujetos humanos, animales o información sensible, los autores deben adjuntar la aprobación de los respectivos comités de ética.

- Plagio y Originalidad: Se prohíben prácticas de plagio y autoplagio. Todos los manuscritos serán sometidos a análisis mediante software especializado para asegurar su originalidad.

- Corrección de Errores: Si se detectan errores significativos en los trabajos publicados, los autores están obligados a colaborar con el equipo editorial para corregirlos o retractarse, según corresponda.

3. Metodología utilizada

Se realizó una revisión bibliográfica sobre el uso de la inteligencia artificial (IA) en organismos internacionales como UNESCO, la OCDE y la Comisión Europea, con énfasis en su aplicación educativa, incluyendo información de Revistas Científicas de la Universidad de Santiago de Chile. Este análisis sistemático, realizado mediante la revisión de artículos en repositorios institucionales, abarcando publicaciones entre 2020 y 2025, identificando patrones en directrices éticas y recomendaciones pedagógicas.

Los aspectos clave resaltados giran en torno a la ética en IA. La UNESCO, en su Recomendación sobre la Ética de la IA (2021), prioriza la protección de datos personales, exigiendo consentimiento informado y minimización de recolección en contextos educativos para salvaguardar la privacidad de estudiantes y docentes. La OCDE, a través de sus Principios sobre IA (actualizados en 2024), subraya la transparencia algorítmica, promoviendo "cajas negras explicables" que permitan auditar decisiones automatizadas y evitar opacidad en evaluaciones académicas.

El pensamiento crítico emerge como pilar fundamental. Documentos de la Comisión Europea, como las Directrices Éticas para Educadores (2025), lo posicionan como competencia transversal para interrogar outputs de IA, discernir entre información veraz y generada, y fomentar alfabetización digital crítica. Esto implica diseñar actividades pedagógicas donde los alumnos cuestionen sesgos en modelos de lenguaje, evaluando su impacto en equidad educativa.

Respecto a los sesgos, la revisión detecta preocupaciones recurrentes: sesgos de datos, de confirmación y amplificación algorítmica. La OCDE alerta sobre discriminaciones en calificaciones automatizadas, mientras UNESCO aboga por auditorías independientes y diversidad en equipos de desarrollo IA. Estos hallazgos subrayan la necesidad de marcos normativos globales que integren equidad, supervisión humana y formación docente continua, especialmente en América Latina, donde contextos como Chile demandan adaptación local para mitigar desigualdades.

En síntesis, esta revisión bibliográfica no solo mapea consensos internacionales, sino que propone una agenda de investigación futura: integrar ética IA en currículos universitarios, evaluando su efectividad mediante estudios longitudinales. Así, se fortalece una educación transformadora, responsable y humana-centrada, que prioriza a las personas en el diseño y desarrollo de sistemas inteligentes, colocando valores humanos, necesidades y experiencias en el núcleo del proceso.

4. Principales Resultados

Este trabajo identifica como resultados centrales los obtenidos de una revisión metódica de literatura, enfocada en las implicaciones éticas de la IA en contextos educativos, marcos regulatorios y retos críticos asociados.

La exploración identifica patrones en directrices éticas de UNESCO (2021), OCDE (2024) y Comisión Europea, prevaleciendo la protección de datos con consentimiento informado y minimización de recolección en contextos educativos.

El pensamiento crítico se posiciona como competencia transversal indispensable para cuestionar outputs de IA (analizar críticamente las respuestas o resultados generados por sistemas de inteligencia artificial), identificar sesgos algorítmicos y promover una alfabetización digital responsable en entornos educativos.

Revela preocupaciones recurrentes sobre sesgos algorítmicos (de datos, confirmación y amplificación), recomendando auditorías independientes y diversidad en desarrollo de IA para evitar discriminaciones en evaluaciones.

Subraya la necesidad de marcos globales que integren equidad, supervisión humana y formación docente continua, adaptados a contextos como Chile y América Latina.

5. Conclusiones

En síntesis, la integración de la inteligencia artificial en educación y auditoría exige marcos éticos robustos para mitigar riesgos críticos como sesgos algorítmicos, opacidad decisoria y vulneración de la privacidad de datos.

Estos marcos deben priorizar transparencia, supervisión humana y diversidad en algoritmos, alineándose con regulaciones como la Ley de IA de la UE (2024/1689) y la chilena Ley 21.719. Así se equilibra innovación con equidad, preservando habilidades humanas esenciales como el pensamiento crítico.

La Ley de IA de la UE (Reglamento 2024/1689) clasifica sistemas por riesgo (inaceptable, alto, limitado, mínimo), prohibiendo prácticas como manipulación emocional o reconocimiento facial no autorizado, y exige transparencia en entornos educativos.

El pensamiento crítico emerge como competencia esencial para estudiantes y docentes, permitiendo cuestionar outputs de IA, mitigar sesgos y preservar habilidades humanas frente a la dependencia tecnológica.

Se subraya la necesidad de formación continua en ética IA, alineada con normativas como la Ley 21.719 en Chile, que moderniza la protección de datos personales, Principios clave de UNESCO y OCDE —transparencia, equidad, supervisión humana— deben guiar su adopción responsable.

Incorporar la ética de la IA en los currículos universitarios, evaluando su efectividad mediante estudios longitudinales, resulta esencial para impulsar una educación transformadora y humana-centrada. Este enfoque fomenta competencias críticas, equidad y responsabilidad tecnológica, ajustándose con marcos regulatorios globales como la Ley de IA de la UE.

Promover auditorías independientes, diversidad algorítmica y alfabetización ética en currículos, equilibra innovación con equidad social, así como también, fomentar la alfabetización ética en currículos asegura una IA humana-centrada, responsable y sostenible en pedagogía y compliance, evitando dependencias tecnológicas perjudiciales.

6. Referencias bibliográficas

Nota: Los autores declaran haber utilizado herramientas de inteligencia artificial en la redacción de párrafos, con el fin de optimizar la comprensión del texto.

1. Anderson, K, & Lee, S. (2003). Administrative automation in education: Impact and implementation strategies. Educational Management Quarterly, 45(2), 178-195.

2. Benavides, I. E. (2020). Ética de la virtud frente a la insuficiencia normativa en la práctica contable. Revista Publicando, 7(23), 60- 71. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7510864.

3. Araos, San Martín, J.I. (2023). La ética de Aristóteles y su relación con la ciencia y la técnica. Revista Electrónica Diálogos Educativos, (3),13.
https:// dialnet.unirioja.es/servlet/artículo?código=2095558.

4. Anderson, K, & Lee, S. (2003). Administrative automation in education: Impact and implementation strategies. Educational Management Quarterly, 45(2), 178-195.

5. Benavides, I. E. (2020). Ética de la virtud frente a la insuficiencia normativa en la práctica contable. Revista Publicando, 7(23), 60- 71. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7510864.

6. Araos, San Martín, J.I. (2023). La ética de Aristóteles y su relación con la ciencia y la técnica. Revista Electrónica Diálogos Educativos, (3),13.
https:// dialnet.unirioja.es/servlet/artículo?código=2095558.

7. Aristóteles. (1978). *De Motu Animalium*. (M. Nussbaum trans.) Princeton: Princeton University Press.

8. Cheruvalath, R. (2023) Artificial Intelligent Systems and Ethical Agency. *Journal of Human Values, 29* (1), 33-47. https://doi.org/10.1177/09716858221119546.

9. Davidson, R., & López, M. (2023). Innovation in educational assessment: AI-driven approaches. *Assessment in Education; Principles, Policy & Practice*, 30(2),156-172.

10. Directrices éticas sobre el uso de la inteligencia artificial (IA) ISBN 978-92-76-57550-4 doi:10.2766/795588.

11. Ética y Sesgos en IA. Disponible en https://areaelearning.com/etica-y-sesgos-en-ia-educativa-retos-y-soluciones/.

12. García-Peñalvo.F.J., & Corell, A. (2020). La COVID-19: ¿enzima de la transformación digital de la docencia o reflejo de una crisis metodológica y competencial en la educación superior? Campus Virtuales, 9 (2), 83-98.

13. Kazim, E., & Koshiyama, A.. (2020). A Review of the ICO's Draft Guidance on the IA Auditing Framework (SSRN Scholarly Paper 3599226). Disponible en https:// doi.org/10.2139/ssrn.3599226.

14. Kim, J. y Lee, S. (2023). Panorama regulatorio de la IA en Corea del Sur. *Asian Journal of Technology Law*, 15 (3). 234-256.

15. Lee, M., y Park, J. (2023). Modelo de gobernanza de la IA de Singapur. *Revista internacional de política tecnológica*. *19*(4).345-367.

16. Ley de Privacidad del Consumidor de California (California Consumer Privacy Act of 2018)CPA), Cal. Civ. Code &1798.100-1798.199 (California, United States).
https://oag.ca.gov/privacy/ccpa.

17. Ley 21719.- *Regula la protección y el tratamiento de los datos personales*. Ley - Diario Oficial - República de Chile. Disponible en diariooficial.interior.gob.cl https://www.diariooficial.interior.gob.cl.

18. Martínez, C.,& López, R. (2021). The ethical implications of artificial intelligence in education: A critical analysis. *Journal of Educational Technology & Society*, 24(3), 45-60.

19. Memorias de la Décima Quinta Conferencia Iberoamericana de Complejidad Informática y Cibernética (CICIC IA 2025) https://iii.ii8.org.

20. Mittelstadt, B. Allo, P., Taddeo, M., Wachter, S., & Floridi, L. (2016). The ethics of algorithms: Mapping the debate. Big Data & Society,3 (2),1-21. https://doi.org/ 10.1177/2053951716679679.

21. Munoko, I., Brown- Liburd, H. L.,& Vasarhelyi, M.A. (2020). The Ethical implications of using artificial intelligence in auditing. *Journal of Business Ethics*, 167(2), 209-234. https://doi.org/10.1007/s10551-019-04407-1.

22. Rawls, J. (2012). *Teoría de la justicia*. México Fondo de Cultura Económica.

23. Reglamento (UE) 2024/1689 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de junio de 2024, por el que se establecen normas armonizadas sobre la inteligencia artificial y se modifican los Reglamentos (CE) N° 300/2008, (UE) N° 167/2013, (UE) N° 168/2013, (UE) 2018/858, (UE) 2018/1139 y (UE) 2019/2144 y las Directivas 2014/90/UE, (UE) 2016/797 y (UE) 2020/1828 (Ley de Inteligencia Artificial) (Texto pertinente a efectos del EEE).

24. Revista de Derecho de la Ciencia y Tecnología, 31 (1),125-147. doi.org/ 10.5354/0719-2584.2012.24027

25. Revista E Ciencia/Enfoque en Ciencias Sociales y Humanidades/Editorial CECDA. Disponible en https://cecda.org>revista>index.php>eciencia.

26. Veale, M., y Zuiderveen Borgesius, F. (2021) Desmystifying the Droft EU Artificial Intelligence. Act [Desmitificando el proyecto de ley de inteligencia artificial de la UE] Computer law Review International,22 (4), 97 -112.

27. Revista E Ciencia -Vol.1 Núm.3 - e-ISSN:3073-1143Vilcherrez, M. M. (2020). El enfoque de la auditoría en el entorno de la era digital y la inteligencia artificial. Revista la Junta, 3 (2), Article 2. https://doi.org/10.53641/junta.v3i2.54.

28. Wilson, M., & García, A. (2024). Protección de los derechos fundamentales en la regulación de la IA. *Revista Europea de Derecho y Tecnología, 15*(1), 34-56.

29. Wright, P., & Johnson, T. (2022). AI-enhanced communication systems in educational settings. Educational technology research and development, 70(3), 789-806.

30. Yamamoto, K. & Chen, X. (2024). La sociedad 5.0 de Japón y la regulación de la IA. *European journal of education Research, Development and Policy*, 59(2). 120 a 135. 31(1), 123-145.

31. Zhang, L., y Liu, Y. (2023). Regulación de la IA en China: Un análisis exhaustivo. Asian Technology Law.Review,45(4),126-141 http://doi.org/10.3969/j,issn.1001-2397.2023.04.09.

TECNOLOGÍAS EMERGENTES Y TRABAJO ACADÉMICO: IMPACTOS ECONÓMICOS Y PEDAGÓGICOS EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR CHILENA

EMERGING TECHNOLOGIES AND ACADEMIC WORK: ECONOMIC AND PEDAGOGICAL IMPACTS ON CHILEAN HIGHER EDUCATION

Roxana Desireé Acevedo Peña[1], **Manuel Enrique Cortés Cortés**[1]

[1]*Vicerrectoría Académica, Universidad Bernardo O'Higgins, Santiago, Chile. (Roxana Desireé Acevedo Peña, roxana.acevedo@ubo.cl, Manuel Enrique Cortés Cortés, manuel.cortes@ubo.cl)*

https://doi.org/10.17613/nzx57-jd713

Resumen

El capítulo analiza los impactos de las tecnologías emergentes en la educación superior chilena, centrándose en la inteligencia artificial, el big data y las plataformas digitales como ejes de transformación del trabajo académico. A partir de un enfoque analítico-documental y comparativo, se examinan evidencias internacionales y nacionales sobre los efectos económicos y pedagógicos de la digitalización universitaria. Desde la perspectiva económica, se identifican cambios en la sostenibilidad financiera de las instituciones, en la automatización de procesos administrativos y en la reorganización de las funciones docentes e investigativas. En el plano pedagógico, los resultados muestran que la incorporación de sistemas inteligentes potencia la personalización del aprendizaje, la expansión de los modelos híbridos y la diversificación de las estrategias de evaluación. No obstante, el capítulo también discute las brechas de equidad en el acceso a la tecnología, la insuficiente formación digital del profesorado y los dilemas éticos asociados al uso de datos y algoritmos en contextos educativos. En conclusión, se plantea la necesidad de fortalecer la innovación pedagógica, consolidar políticas públicas que aseguren la sostenibilidad y la equidad y promover investigaciones que profundicen en los efectos económicos y educativos de la transformación digital en la educación superior chilena.

Palabras clave: Educación Superior, Impacto Económico, Innovación Pedagógica, Inteligencia Artificial, Tecnologías Emergentes.

Abstract:

This chapter analyses the impacts of emerging technologies on Chilean higher education, focusing on artificial intelligence, big data, and digital platforms as axes of transformation in academic work. From an analytical-documentary and comparative approach, international and national evidence on the economic and pedagogical effects of university digitalisation is examined. From an economic perspective, changes are identified in the financial sustainability of institutions, the automation of administrative processes, and the reorganisation of teaching and research functions. On the pedagogical level, the results show that the incorporation of intelligent systems enhances the personalisation of learning, the expansion of hybrid models and the diversification of assessment strategies. However, this chapter also discusses some relevant equity gaps in access to technology, the problem of insufficient digital teacher training, and ethical dilemmas associated with the use of data and algorithms in educational contexts. As concluding remarks, the need to strengthen pedagogical innovation, consolidate public policies that ensure sustainability and equity, and promote research that focuses on the economic and educational effects of digital transformation in Chilean higher education is raised.

Keywords: Artificial Intelligence, Emerging Technologies, Economic Impact, Higher Education, Teaching Innovation.

1. Introducción

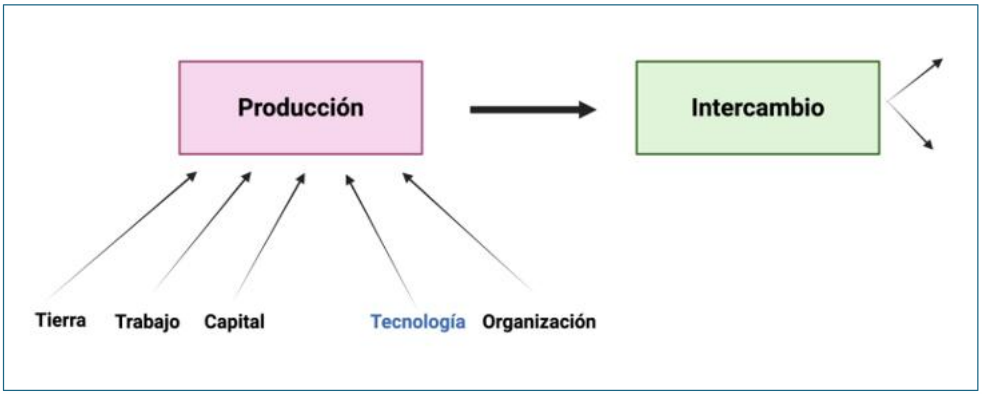
1.1. Desde los factores clásicos hasta la economía del conocimiento

El análisis de los factores de producción ha acompañado históricamente el desarrollo de la ciencia económica y el estudio de la evolución social del trabajo. La economía política reconocía, en sus fundamentos clásicos, tres componentes esenciales para la creación de valor, a saber: la tierra, el trabajo y el capital. Con el surgimiento de la empresa moderna y el progreso técnico, la sociología económica amplió esta noción al incorporar la tecnología y la organización como factores determinantes de la productividad (Swedberg & Nee, 2020). Así, el crecimiento económico comenzó a entenderse como un proceso material y como un sistema social de innovación, cooperación y aprendizaje.

Durante el siglo XXI, la revolución digital ha introducido transformaciones profundas y vertiginosas en la estructura productiva. La información y los datos han pasado a ocupar un papel central como nuevos recursos económicos estratégicos. En este contexto, los economistas contemporáneos han comprendido que los datos, estrechamente asociados a la tecnología, también se vislumbran como un nuevo factor de producción, equiparable a los factores tradicionales (Figura 1), capaces de potenciar la eficiencia y la innovación de las organizaciones (Ma, 2023). Así, la información, décadas atrás considerada un subproducto de la actividad económica, se ha convertido hoy en día en un insumo estratégico que genera ventajas acumulativas y escalables para las instituciones, lo que posibilita una expansión sin los límites físicos propios del trabajo o de la tierra. En esta nueva "economía del conocimiento", la capacidad de capturar, procesar y aplicar grandes volúmenes de datos define las condiciones de competitividad y sostenibilidad de las instituciones, entre ellas, las instituciones de educación superior.

El valor económico de la información, tradicionalmente ausente en los modelos clásicos, se ha incrementado a medida que los costos de recopilación y almacenamiento de datos han disminuido drásticamente (Mayer-Schönberger & Cukier, 2013). La información ha comenzado entonces a reconocerse como un componente esencial de la producción contemporánea, capaz de reconfigurar las interacciones entre la tecnología, el trabajo y el capital. El manejo del big data y de las tecnologías emergentes se ha consolidado como uno de los pilares de la economía actual, junto con la tierra, el trabajo y el capital. Se ha establecido entonces un vínculo directo entre la transformación digital, la ética y la sostenibilidad social (Amo Usanos, 2023).

Figura 1. Principales factores de la producción. La tecnología es un factor extremadamente relevante hoy en día. Fuente: Adaptado de Swedberg y Nee (2020)



La digitalización global ha redefinido los procesos productivos y las relaciones laborales mediante la inteligencia artificial (IA), internet y la conectividad móvil. La economía digital no solo aumenta la productividad y la eficiencia, sino que también genera un nuevo ciclo de disrupciones que transforma la dinámica laboral y la estructura del empleo, al tiempo que evidencia brechas en competencias y habilidades digitales (Kumar, 2023). Se estima que, hacia 2030, el impacto agregado de la IA podría elevar el producto interno bruto mundial en un 1,2 % anual, lo que puede generar hasta 13 billones de dólares adicionales en la producción global. Este crecimiento vendría acompañado de una profunda reorganización del trabajo, con hasta 375 millones de personas que deberán adaptarse a nuevas ocupaciones, hecho también asociado con un aumento de la desigualdad salarial entre los trabajadores con y sin competencias digitales avanzadas (Manyika et al., 2018). Las tecnologías de IA y el aprendizaje automático (machine learning) ya impulsan la creación de nuevos sectores económicos, facilitan el comercio mayorista y minorista en línea (Hadjitchoneva et al., 2021), la automatización de tareas cognitivas y la expansión de servicios personalizados, desde la educación hasta la medicina (Cortés & Cortés, 2022), lo cual transforma el empleo y la formación profesional.

En este escenario, la labor académica e investigativa se ve afectada por un proceso de mutación estructural, en el contexto de la denominada Quinta Revolución Industrial o Industria 5.0 (Cortés et al., 2023). A nivel mundial, las universidades, como generadoras de conocimiento, son desafiadas a incorporar las tecnologías emergentes tanto como herramientas instrumentales, así como medios que facilitan y potencian el proceso formativo y catalizan la producción intelectual y cultural. La economía digital convierte el saber, la información y los datos en activos estratégicos, lo que modifica la organización del trabajo académico e investigativo, los modos de aprendizaje y la lógica pedagógica de las instituciones de educación superior, en especial, de las universidades. En el caso chileno, estas transformaciones adquieren especial relevancia, ya que las universidades deben adaptarse a un entorno en el que la generación de conocimiento y la innovación tecnológica son condiciones indispensables para la sostenibilidad económica, la calidad educativa y la inserción internacional en un sistema universitario altamente dinámico.

1.2. Contextualización del impacto de las tecnologías emergentes en la educación superior global

La incorporación de tecnologías emergentes, en particular la IA, el big data y las plataformas digitales, ha transformado profundamente la educación superior a nivel global (Salamanca-Garay et al., 2025; Riquelme-Plaza & Marolla-Gajardo, 2026). Estos desarrollos no solo modifican las prácticas de enseñanza-aprendizaje, sino que también repercuten en la gobernanza institucional, la equidad en el acceso y la regulación internacional de la innovación digital (Bonam, 2020).

En el ámbito pedagógico, la IA se ha consolidado como un recurso para la personalización del aprendizaje, la retroalimentación automatizada y la analítica predictiva que permite anticipar riesgos académicos. Una revisión sistemática de investigaciones entre 2016 y 2022 identificó que los usos más frecuentes de la IA en educación superior incluyen la evaluación automatizada, las tutorías inteligentes y los sistemas de gestión del aprendizaje potenciados por algoritmos (Zawacki-Richter et al., 2024). Asimismo, el big data educativo permite analizar grandes volúmenes de información estudiantil para optimizar la toma de decisiones estratégicas, mejorar la eficiencia administrativa

y apoyar la gestión de recursos (OECD, 2024). Por su parte, las plataformas digitales y los cursos masivos abiertos en línea (del inglés Massive Open Online Courses, MOOCs) han democratizado el acceso al conocimiento y ampliado las oportunidades educativas para diversas comunidades, aunque persisten riesgos de concentración y exclusión en regiones con menor conectividad (Cortés et al., 2023; UNESCO, 2024). La adopción estudiantil de las tecnologías mencionadas es amplia. Según un sondeo internacional, 86% de los estudiantes utiliza herramientas de IA en sus estudios (Digital Education Council, 2024), mientras que otro informe reporta un 70% de adopción (Turnitin, 2025). Más allá de las cifras, una investigación reciente destaca que el impacto depende del tipo de uso: mientras que la utilización estratégica de la IA para enriquecer los procesos de análisis fomenta aprendizajes de orden superior, el uso meramente instrumental puede generar dependencia cognitiva y superficialidad en los aprendizajes (Pallant et al., 2025).

Junto con los mencionados beneficios, emergen desafíos críticos. El primero es la equidad en el acceso: las instituciones con mayores recursos concentran los beneficios de la innovación, lo que amplía la brecha entre universidades. El segundo es la privacidad y la gobernanza de datos, pues la analítica educativa se apoya en la recolección masiva de información sensible, lo que plantea dilemas éticos en torno al consentimiento, la anonimización y el uso de datos estudiantiles (OECD, 2024). El tercero es la integridad académica, ya que el uso de IA generativa tensiona los sistemas de evaluación y obliga a replantear metodologías que garanticen la originalidad y la autenticidad de los aprendizajes (Turnitin, 2025). Además, la IA también puede tensionar la integridad y la calidad académica (Roco-Videla et al., 2023); así como evidenciar brechas de su uso en los procesos de investigación universitaria (Salamanca-Garay et al., 2025; Riquelme-Plaza & Marolla-Gajardo, 2026). Finalmente, se observan retos vinculados a la capacitación docente y la gestión del cambio organizacional, dada la resistencia de algunos actores universitarios —y también en otros niveles educativos (Cortés et al., 2023)— y la necesidad de formación continua en competencias digitales. Todo esto ocurre en un contexto de alta incertidumbre socioeducativa en el que ha emergido la IA (Uzcátegui Pacheco & Ríos Colmenárez, 2024).

En este escenario, la dimensión regulatoria y de gobernanza ha cobrado creciente relevancia. El debate contemporáneo sobre la gobernanza de la inteligencia artificial muestra que no basta con disponer de normas o principios generales, sino que se requieren marcos de coordinación efectivos, inclusivos y capaces de responder a las asimetrías globales de poder. En esta línea, el informe Gobernanza de la IA en beneficio de la humanidad advierte que la gobernanza internacional de la IA presenta importantes brechas de representación, coordinación e implementación, mientras que Aguirre Sala (2025) sostiene que este desafío exige avanzar hacia modelos de gobernanza multiactor, abiertos a la participación social y guiados por un enfoque de derechos. En conjunto, ambas fuentes permiten sostener que este déficit plantea el riesgo de que los marcos regulatorios (Tabla 1) se diseñen principalmente desde la perspectiva del Norte Global, sin atender plenamente las realidades locales, lo que reproduce desigualdades estructurales en la gobernanza tecnológica (Naciones Unidas, 2024; Aguirre Sala, 2025).

En síntesis, el análisis comparativo de marcos regulatorios internacionales (Tabla 1) revela un escenario fragmentado en el que predominan los instrumentos de carácter no vinculante —como la Recomendación de la OCDE sobre IA, adoptada en 2019 y enmendada en 2024 (OECD, 2019, 2024)—, con excepción del AI Act de la Unión Europea (European Parliament and Council of the European Union, 2024), que constituye el primer referente normativo vinculante con impacto directo en las

instituciones de educación superior. Esta heterogeneidad normativa, sumada a la limitada participación de regiones como América Latina y África en los procesos de gobernanza global, plantea interrogantes sobre la pertinencia y la aplicabilidad de dichos marcos en diversos contextos educativos. Frente a este panorama, resulta pertinente indagar en qué medida las universidades, particularmente en el Sur Global, están incorporando estas orientaciones internacionales y qué vacíos persisten en políticas institucionales, capacidades organizacionales y prácticas pedagógicas vinculadas al uso de tecnologías emergentes.

Tabla 1. Comparación de marcos regulatorios internacionales de inteligencia artificial relevantes para la educación superior.

Organismo / Instrumento	Año	Enfoque principal	Principios / ejes clave	Implicancias para educación superior
OCDE – Recomendación sobre IA	2019 (enm. 2024)	Basado en valores y riesgos	Inclusión, transparencia, robustez, rendición de cuentas, respeto a DDHH	Promueve IA responsable en investigación y docencia; fomenta cooperación internacional y buenas prácticas en analítica educativa.
G20 – Principios sobre IA	2019, (reafirm. 2023)	Pro-innovación, gestión de riesgos	Inclusión digital, cooperación internacional, desarrollo sostenible	Impulsa capacitación digital y reducción de brechas; sin mención específica a libertad académica.
G7 – Proceso de Hiroshima	2023	Basado en riesgos y seguridad	Transparencia, trazabilidad, autenticación de contenidos, mitigación de riesgos sistémicos	Relevante para integridad académica: impulsa herramientas de autenticación en IA generativa aplicada a evaluaciones.
UNESCO – Recomendación sobre la ética de la IA	2021	Ético y humanista	Derechos humanos, diversidad cultural, género, sostenibilidad, transparencia	Enfatiza educación como sector prioritario; promueve alfabetización digital, evaluación ética de impacto y gobernanza inclusiva en universidades.
ONU – Resolución AGNU 78/265	2024	Basado en DDHH y cooperación internacional	Transparencia, privacidad, diversidad lingüística, solidaridad digital	Incluye referencias a preservación de diversidad cultural y multilingüismo en IA (clave para universidades globales).
ONU – Global Digital Compact	2024	Gobernanza digital inclusiva	Derechos humanos, equidad, mitigación de sesgos, múltiples partes interesadas	Propone interoperabilidad global y participación de países en desarrollo; impacto directo en gobernanza universitaria en el Sur Global.
Unión Europea – AI Act	2024	Basado en riesgos (alto, medio, bajo)	Prohibición de usos inaceptables, obligaciones diferenciadas por riesgo, transparencia	Establece obligaciones legales para universidades europeas que usen IA; referencia normativa para otros continentes.
Informe CELE – Gobernanza Global de la IA	2025	Crítico frente a desigualdades en gobernanza	Enfoque de riesgos, brechas Norte-Sur, escasa participación LATAM-África	Advierte riesgos de marcos regulatorios desalineados con contextos latinoamericanos y africanos.

Nota. La Tabla 1 sintetiza los principales marcos internacionales de gobernanza de la IA (OCDE, UNESCO, ONU, UE, G7 y G20). Destaca su naturaleza jurídica, sus enfoques de regulación y sus posibles implicancias para la educación superior.

Fuente: Elaboración propia a partir de OCDE (2019/2024); UNESCO (2021, 2024); ONU (2024); Unión Europea (2024); G7 (2023); G20 (2019/2023).

Si bien los marcos regulatorios y las tendencias globales permiten dimensionar la magnitud de los cambios asociados a la IA, el big data y las plataformas digitales en la educación superior (Tabla 1), la forma en que estos procesos se materializan en contextos específicos constituye aún un terreno poco explorado. En particular, el caso chileno resulta relevante por su doble condición: por un lado, la creciente digitalización de su sistema universitario en las últimas dos décadas; por otro, las profundas desigualdades estructurales que atraviesan tanto el acceso a la tecnología como la distribución de recursos entre instituciones escolares y de educación superior públicas y privadas (Cortés et al., 2023; González-Pizarro et al., 2024; Muñoz González & Cortés-Cortés, 2025). Este escenario convierte a Chile en un laboratorio privilegiado para analizar cómo las tecnologías emergentes reconfiguran el trabajo académico, no sólo en términos pedagógicos, sino también en relación con los impactos económicos que afectan la gestión institucional y las condiciones laborales del profesorado.

1.3. Relevancia del tema en el caso chileno

En América Latina y particularmente en Chile, los avances recientes dialogan con un marco de política pública que impulsa una adopción responsable y equitativa de la IA en la educación superior, a la vez que se explicitan sus oportunidades y riesgos (Cortés et al., 2024). En este ecosistema, las instituciones chilenas han integrado tecnologías emergentes que reconfiguran la docencia y la gestión: se reportan experiencias de personalización del aprendizaje, retroalimentación inmediata y analítica predictiva para mitigar la deserción junto con la automatización de procesos y una gestión basada en datos para mejorar la eficiencia y la planificación institucional (Sánchez Riofrio et al., 2025).

En el plano normativo y de orientaciones, Chile ha avanzado con la Ley de Transformación Digital y con guías para docentes sobre el uso de IA emitidas por el Ministerio de Educación (MINEDUC, 2025), lo que refleja un reconocimiento oficial de la necesidad de adaptar el sistema educativo. Un rasgo estratégico es la colaboración intersectorial: alianzas como la de la Pontificia Universidad Católica de Chile y Microsoft muestran a las universidades no solo como receptoras de tecnología, sino también como socias en su desarrollo y gobernanza. Desde abril de 2025, el país formalizó cinco perfiles ocupacionales vinculados con inteligencia artificial en el catálogo de ChileValora, propuestos por el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, lo que habilita procesos de certificación en programación en IA, interacción con IA generativa, gestión de datos para IA, consultoría de transformación con IA y auditoría ética en IA (Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, 2025a). La política se acompaña de trayectorias formativas y acciones de capacitación impulsadas por organismos públicos como SENCE, así como de centros evaluadores acreditados, situación que configura un andamiaje regulatorio-formativo que institucionaliza habilidades en IA y abre un marco para estudiar la adopción sectorial, los efectos en la empleabilidad y las brechas de capital humano.

En términos de adopción, las universidades muestran altas tasas de uso: una encuesta a estudiantes de primer año de la Universidad de Chile reportó un 81% de uso de herramientas de IA; entre docentes, el 70% valoró su potencial para la personalización y el 65% su utilidad en la automatización administrativa (Carrasco, 2025). Además, 65% de las instituciones de educación superior ofrecen programas en línea, por encima del promedio regional. Sin embargo, el principal desafío no es ya la conectividad (cercana al 90% de la población encuestada), sino una brecha de uso y de efectos:

una proporción relevante carece de habilidades o de equipamiento para aprovechar plenamente la tecnología en la educación y en la vida productiva.

Según el Índice Latinoamericano de Inteligencia Artificial 2025 (CEPAL-CENIA), Chile encabeza el desarrollo regional de la IA con un puntaje de 70,56, lo que lo posiciona como pionero en infraestructura digital, adopción tecnológica y gobernanza institucional (Tabla 2). No obstante, este informe advierte sobre la persistencia de brechas estructurales en el talento avanzado y en la participación internacional en los estándares de IA. Estas condiciones sitúan al país en una fase de madurez tecnológica, con desafíos en sostenibilidad y en formación especializada, aspectos clave para comprender la transformación del trabajo académico y las tensiones entre innovación y equidad en la educación superior. En este contexto, los resultados del Índice en comento permiten dimensionar la posición de Chile en el ecosistema regional de IA.

Tabla 2. Comparativo de desempeño de Chile en el Índice Latinoamericano de Inteligencia Artificial 2025 frente al promedio regional.

Dimensión	Chile	Promedio regional	Observaciones
Factores habilitantes	70,6	46,2	Alta conectividad; brecha en talento avanzado
Investigación y desarrollo	68,3	41,7	Alta productividad científica; baja participación femenina
Gobernanza	67,4	39,5	Estrategia consolidada; falta de indicadores de impacto

Nota. Elaboración propia a partir de CEPAL y CENIA (2025).

Las cifras anteriormente descritas (Tabla 2) confirman que Chile lidera en infraestructura y políticas digitales, aunque persisten vacíos en la formación avanzada, la equidad de género y la gobernanza efectiva. Dichos elementos son claves para comprender la sostenibilidad y las tensiones del trabajo académico en la era de la IA. La existencia de esta brecha en el uso y el acceso significa que los beneficios de la transformación digital corren el riesgo de no distribuirse de manera equitativa, lo que podría exacerbar las desigualdades sociales. Por lo tanto, el sistema de educación superior, como actor clave en el desarrollo de capital humano, debe asumir un papel central y explícito en la mitigación de esta brecha, a fin de promover la alfabetización digital y garantizar que las nuevas habilidades sean accesibles para todos los segmentos de la sociedad.

1.4. Objetivo del capítulo

A continuación, se describe el objetivo general y los objetivos específicos del presente capítulo.

1.4.1. Objetivo de investigación

Analizar las implicaciones de la integración de tecnologías emergentes en el trabajo académico de las instituciones de educación superior chilenas, cuantificar y comparar sus impactos económicos y pedagógicos, y formular recomendaciones éticas y de política orientadas al cierre de brechas de acceso, uso y efectos.

1.4.2. Objetivos específicos

[1].Analizar la evolución de la IA en la educación superior chilena mediante la revisión de la literatura, las políticas públicas y las experiencias universidad-industria e identificar hitos clave de política y práctica.
[2].Evaluar el contenido de políticas públicas y de documentos institucionales (planes estratégicos, guías ministeriales, criterios de la Comisión Nacional de Acreditación (CNA), marcos éticos de IA) para medir la madurez de la gobernanza de datos, la ética y los usos pedagógicos de tecnologías emergentes.
[3].Sistematizar la evidencia empírica disponible sobre los efectos de las tecnologías emergentes en la educación superior chilena mediante la consideración simultánea de las dimensiones económica y pedagógica, con el fin de comparar la magnitud y la dirección de los impactos reportados en la literatura y en documentos institucionales.

2. Antecedentes teóricos y empíricos

2.1. Sobre la tecnología

La palabra tecnología posee una etimología que refleja un extenso recorrido histórico desde sus raíces indoeuropeas hasta su significado interdisciplinario actual. Desde un enfoque filológico, Ayto (2009) rastrea el origen del término hasta la raíz indoeuropea teks- (con significado de "formar"," dar forma" y "tejer"), de la cual derivan el griego téchne (τέχνη), el latín texere y el inglés technical. Esta raíz evoca la acción de construir o dar estructura, lo que destaca la dimensión artesanal y cognitiva del concepto. Schatzberg (2018) concuerda en que el término combina los elementos griegos téchne, que significa "arte", "destreza" u "oficio" y lógos (λόγος), que remite a "discurso razonado" o "conocimiento sistemático". En esta misma línea, Scharff y Dusek (2013) sostienen que en la Grecia antigua téchne designaba tanto la habilidad manual del artesano (tékton) como a una forma de conocimiento racional orientada a la producción. Posteriormente, el término evolucionó hacia el español técnica, el francés technique y el alemán Technik, donde se conserva la idea de destreza

práctica y método de acción eficaz. Así, la tecnología puede comprenderse como la convergencia entre el saber teórico (lógos) y el saber hacer (téchne), ambos integrados en la capacidad humana de transformar el entorno mediante la aplicación sistemática del conocimiento (Ayto, 2009; Scharff & Dusek, 2013; Schatzberg, 2018).

En sus orígenes, technologia aludía entonces a un campo del saber teórico más que a una práctica material, aunque con el paso del tiempo su significado se desplazó hacia la aplicación de conocimientos con el fin de transformar la realidad. En la lengua inglesa, technology comenzó a vincularse con la técnica y los objetos técnicos durante la Segunda Revolución Industrial, donde perdió gradualmente su connotación filosófica inicial.

Existen diversas definiciones contemporáneas del término tecnología. Casalet (1998) la concibe como un conjunto de conocimientos específicos y de procesos orientados a transformar la realidad y resolver problemas concretos. Por su parte, Quintanilla (2017) amplía esta noción al sostener que la tecnología no solo transforma la realidad y la forma en que la comprendemos, sino también nuestros valores éticos. En este sentido, constituye un campo de especial interés para la filosofía por sus repercusiones sociales, económicas y culturales en el desarrollo humano (Quintanilla, 2017; Cortés et al., 2023).

En el plano económico, la tecnología constituye hoy un factor esencial de la producción, junto con la tierra, el trabajo y el capital, al potenciar la productividad total de los factores mediante la investigación, el desarrollo y la innovación (Cortés, 2024). Su influencia trasciende la dimensión material, pues actúa como multiplicador de los factores clásicos al fortalecer la educación, la salud y la calidad del capital humano, lo que genera eficiencia sistémica y bienestar social (Figura 2). En este sentido, la inversión tecnológica y científica se integra como un componente estructural del desarrollo económico y social contemporáneo, capaz de transformar las condiciones productivas y redefinir la sostenibilidad de las instituciones (Cortés, 2024).

Figura 2. Determinantes de la Productividad Total de los Factores. Los determinantes tecnológicos son clave para la productividad. Fuente: Adaptado de Cortés (2024).



Por su parte, la tecnología educativa puede definirse como el conjunto de dispositivos, aplicaciones y programas informáticos que facilitan la aplicación práctica de herramientas tecnológicas en la vida cotidiana (Zapata & Dalouch, 2017; Cortés et al., 2023). Entre los ámbitos más beneficiados por su uso destacan los contextos formativos, tanto por su contribución al quehacer profesional de los educadores como por su utilidad en los procesos de aprendizaje de los estudiantes (Zapata & Dalouch, 2017). Desde esta perspectiva, la tecnología educativa aporta de manera sustantiva a la planificación y conducción de los procesos de enseñanza-aprendizaje mediante instrumentos concretos como teléfonos inteligentes, computadores portátiles o tabletas (Cortés et al., 2023).

En un sentido más amplio, las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) comprenden el conjunto de herramientas informáticas que permiten procesar, recuperar, presentar y almacenar información diversa, de acuerdo con las necesidades de los usuarios. En otras palabras, las TIC abarcan las técnicas que posibilitan la gestión de la información mediante computadores y programas con el propósito de generar, conservar y transmitir datos (Levicoy, 2013). Durante el último medio siglo, la informática ha acompañado el desarrollo humano, lo que ha facilitado la socialización, la organización, la colaboración y la medición de la información (Sagredo Lillo et al., 2022). Una de las herramientas que marcó un cambio fundamental en la aplicación del conocimiento fue el uso de internet, considerada una de las TIC más extendidas junto con la informática y las telecomunicaciones (Cañedo Andalia, 2004; Cortés et al., 2023). Su origen se remonta a la década de 1940 como un medio para conectar computadores mediante líneas telefónicas; se expandió en los años sesenta al acceso remoto a bases de datos y se consolidó globalmente en la década de 1990 (Cañedo Andalia, 2004).

Actualmente se observa que las generaciones jóvenes tienden a preferir formas de aprendizaje autónomo, mientras que las generaciones mayores suelen requerir apoyo de familiares o amistades para interactuar con la tecnología (Salamanca Garay & Sagredo Lillo, 2022). El uso de las TIC en el ámbito universitario ha adquirido una relevancia creciente, especialmente con la expansión de las redes sociales y las plataformas digitales, que han permitido ampliar el acceso a la educación superior, lo que ha ayudado a superar las limitaciones de tiempo y espacio de los antiguos sistemas de enseñanza a distancia (Cortés et al., 2023). De este modo, se promueve el desarrollo de actividades académicas presenciales y virtuales, en modalidades síncronas o asíncronas (Cortés et al., 2023).

Las TIC, empleadas adecuadamente, fortalecen los mecanismos de enseñanza y aprendizaje; sin embargo, su aprovechamiento efectivo requiere un manejo docente especializado (Muñoz González et al., 2025). El currículo universitario contemporáneo demanda que el profesorado domine las TIC para promover prácticas y habilidades necesarias en el futuro desempeño profesional de los estudiantes (Abarca Amador, 2015).

2.2. Sobre el trabajo y trabajo académico en la era digital

El trabajo académico en la era digital no es solo la suma de tareas tradicionales mediadas por computadoras; es una reconfiguración socio-técnica de roles, flujos y resultados que integra docencia, investigación, gestión y vinculación en entornos altamente conectados. La incorporación de IA, big data y plataformas digitales desplaza tiempo invertido en actividades rutinarias (búsquedas, edición,

etiquetado, gestión administrativa) hacia tareas de mayor valor cognitivo (diseño curricular, tutoría situada, análisis crítico y comunicación científica), lo que habilita formas de autoría distribuida, ciencia abierta y colaboración en red que modifican los criterios de productividad y de evaluación del desempeño académico. En este marco, el "trabajo" ya no se limita al aula o al laboratorio, sino que se extiende a ecosistemas de datos, repositorios abiertos y comunidades digitales con distintos grados de automatización y de supervisión humana significativa (Weller, 2011).

La "datificación" del quehacer universitario (es decir, la captura y uso de datos de aprendizaje, enseñanza y gestión) permite cerrar el ciclo entre la evidencia y la decisión mediante la analítica de aprendizaje y la analítica académica. A nivel micro, modelos predictivos y tableros de seguimiento informan sobre intervenciones tempranas, la personalización de apoyos y la mejora de la retroalimentación; a nivel meso y macro, la analítica institucional optimiza la asignación de recursos, la planificación curricular y el aseguramiento de la calidad. Estos beneficios, sin embargo, dependen de supuestos sólidos: calidad y gobernanza de los datos, validez de los indicadores, interpretabilidad de los modelos y capacidades técnicas y pedagógicas de los equipos. Sin estándares operativos y una evaluación rigurosa de los resultados (p. ej., efectos en la retención, tiempos de ciclo, costo por estudiante), la analítica corre el riesgo de convertirse en un reporting descriptivo sin impacto sustantivo (Long & Siemens, 2011; Daniel, 2015).

De ahí que la transformación digital del trabajo académico deba anclarse en la gobernanza y en salvaguardas éticas que aseguren derechos y reduzcan brechas. Las orientaciones recientes enfatizan privacidad, transparencia, mitigación de sesgos, accesibilidad y formación en alfabetización digital-algorítmica, junto con la obligación de mantener la supervisión humana y la trazabilidad en procesos mediados por IA (UNESCO, 2024; OECD, 2024). Además de la brecha de acceso, es imprescindible abordar las brechas de uso (competencias) y de efectos (quiénes se benefician y cómo), para que la innovación no profundice las desigualdades existentes. Integrar estas salvaguardas en políticas institucionales y nacionales permite vincular la innovación con la sostenibilidad universitaria y con las exigencias de la economía digital, enfoque que alinea métricas de valor (aprendizaje, productividad, inclusión) con decisiones de inversión y escalamiento responsables (UNESCO, 2024; OECD, 2024).

En Chile, el trabajo académico en la era digital puede definirse operativamente como el conjunto de actividades de docencia, investigación, gestión y vinculación mediadas por tecnologías digitales, alineadas con tres capas normativas: (i) la Política Nacional de Inteligencia Artificial (ejes de factores habilitantes, desarrollo/adopción y gobernanza/ética), que fija principios y orientaciones para el uso responsable de la IA; (ii) la Ley 21.180 de Transformación Digital del Estado, que impulsa la digitalización de procedimientos y la gestión documental electrónica en el sector público; y (iii) los criterios de aseguramiento de la calidad de la CNA, que enfatizan la gestión basada en evidencia para condiciones de aprendizaje y progresión estudiantil. Bajo esta definición, las tareas académicas se conciben como procesos sociotécnicos que utilizan datos, respetan resguardos éticos y garantizan trazabilidad, orientados a resultados de aprendizaje, productividad académica y eficiencia institucional.

Empíricamente, esta definición se expresa en instrumentos e iniciativas recientes: el MINEDUC publicó la guía PotencIA el Aprendizaje para el uso docente de IA y el Marco Orientador de Competencias Digitales Docentes; y, en el ámbito de capital humano, ChileValora incorporó cinco perfiles

ocupacionales de IA y acreditó los primeros centros evaluadores (p. ej., Ecerlab), lo que ha buscado institucionalizar competencias para programación de IA, interacción con IA generativa, gestión de datos, consultoría de transformación y auditoría ética. En conjunto, estas medidas anclan el trabajo académico digital en prácticas de colaboración humano-IA, gobernanza de datos y formación docente/estudiantil, contexto que ofrece una base verificable para medir la adopción, los impactos y las brechas de acceso, uso y efectos en el sistema de educación superior chileno.

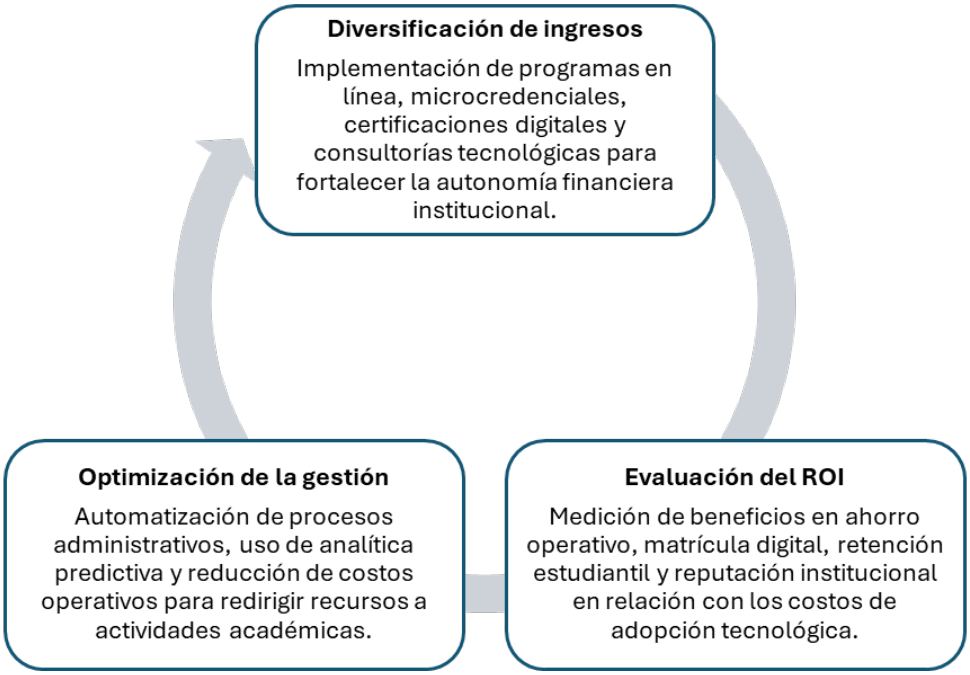
2.3. Modelos de economía universitaria y sostenibilidad financiera

La incorporación de tecnologías emergentes en la educación superior no solo implica transformaciones pedagógicas, sino también reconfiguraciones significativas en los modelos de financiamiento universitario. La digitalización y el uso de la IA en procesos de gestión permiten optimizar recursos y generar eficiencias administrativas; sin embargo, también demandan fuertes inversiones en infraestructura tecnológica, capacitación docente y gobernanza de datos (OECD, 2024). Este doble efecto plantea tensiones entre la promesa de una mayor productividad institucional y los costos de adopción tecnológica, lo que impacta directamente en la sostenibilidad financiera de las universidades.

A nivel global, se han identificado tres tendencias principales. En primer lugar, un modelo de eficiencia digital, en el que la integración de IA y big data se orienta a reducir costos operativos mediante la automatización y la analítica predictiva aplicadas a la retención estudiantil y a la gestión administrativa (Barus et al., 2025). En segundo lugar, un modelo de diversificación de ingresos, que aprovecha plataformas digitales y MOOCs para ampliar la matrícula virtual y generar nuevos flujos económicos a través de certificaciones en línea, microcredenciales y programas híbridos (UNESCO, 2024). En tercer lugar, un modelo de inversión estratégica, en el que las universidades de élite buscan posicionarse como centros de innovación en IA y economía digital mediante el establecimiento de alianzas con gobiernos y empresas tecnológicas para financiar proyectos de investigación y desarrollo.

En este marco, diversos autores proponen avanzar hacia un modelo de sostenibilidad financiera y eficiencia institucional basado en IA y big data, que combine tres ejes (Figura 3): i) la automatización de procesos administrativos para liberar recursos humanos hacia labores de mayor valor académico; ii) la diversificación de ingresos mediante microcredenciales, programas en línea y consultorías tecnológicas; y iii) la evaluación rigurosa del retorno de inversión (ROI) para equilibrar costos iniciales con beneficios sostenibles en productividad académica y posicionamiento institucional (OECD, 2024).

Figura 3. Modelo de sostenibilidad financiera y eficiencia institucional basado en IA y big data. La figura ilustra los tres pilares del modelo: optimización de la gestión mediante automatización y analítica predictiva, diversificación de ingresos a través de programas digitales y microcredenciales, y evaluación del retorno de inversión (ROI) para equilibrar costos de adopción con beneficios sostenibles. Fuente: Elaboración propia a partir de OECD (2024), Barus et al. (2025).



En el contexto chileno, estas tendencias adquieren particular relevancia debido al alto grado de dependencia de las universidades respecto del financiamiento estudiantil y a las persistentes brechas entre instituciones públicas y privadas. Estudios recientes muestran que la diversificación de ingresos se ha convertido en un factor crítico de solvencia, ya que las instituciones con mayor capacidad para generar recursos alternativos presentan mejores indicadores de salud financiera y de estabilidad en los procesos de acreditación (Superintendencia de Educación Superior, 2024). Asimismo, la implementación de programas de financiamiento estructural de I+D+i impulsados por el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (2025b) refuerza el rol del Estado como cofinanciador estratégico para el despliegue tecnológico, aunque persisten asimetrías significativas en la capacidad de las universidades regionales y privadas no selectivas para acceder a estos fondos.

En consecuencia, la sostenibilidad financiera del sistema universitario chileno enfrenta el desafío de equilibrar la innovación tecnológica con políticas que garanticen equidad, inclusión y viabilidad económica a largo plazo; esto, a fin de evitar que la adopción de IA y big data se convierta en un factor que profundice la segmentación entre instituciones de distintos niveles de recursos y prestigio académico.

2.4. Literatura sobre la innovación docente y las tecnologías disruptivas

La innovación docente ha evolucionado en las últimas décadas desde una noción vinculada principalmente a la introducción de metodologías activas y recursos digitales hacia un concepto más amplio y estratégico en el contexto de la educación superior. A nivel global, la incorporación de tecnologías disruptivas, especialmente la IA, la realidad virtual (RV), la realidad aumentada (RA) y el blockchain, ha reconfigurado las prácticas de enseñanza-aprendizaje, al posibilitar la personalización, la interactividad y la creación de entornos de aprendizaje híbridos y flexibles (Benítez Miranda et al., 2025; Pinargote Castro et al., 2024). Estas herramientas no solo han ampliado las dinámicas de aprendizaje, sino que también han generado nuevas oportunidades para el desarrollo de competencias de orden superior, como el pensamiento crítico, la creatividad y la resolución de problemas (Barus et al., 2025; UNESCO, 2024).

En este proceso, la innovación docente ha experimentado un cambio conceptual profundo a partir de la irrupción de la IA. Antes, la innovación se concebía como la integración de metodologías pedagógicas alternativas y tecnologías de apoyo —TIC, plataformas Learning Management System (LMS), blended learning—, con un énfasis en mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje. Con la llegada de la IA, esta visión se ha transformado en tres direcciones principales:

i. De lo metodológico a lo sistémico. La innovación docente ya no se limita a cambios en el aula, sino que implica la transformación integral de la gestión educativa, la evaluación de aprendizajes, la analítica académica y la gobernanza institucional (Zawacki-Richter et al., 2024).
ii. De la incorporación de recursos a la co-creación de conocimiento. La IA ha alterado el rol docente: de transmisor y facilitador a mediador crítico y curador del conocimiento, frente a estudiantes que ahora co-crean contenidos junto a sistemas inteligentes (Pallant et al., 2025; Turnitin, 2025).
iii. De la innovación centrada en herramientas a la innovación centrada en ética y gobernanza. La discusión actual ya no gira solo en torno a la eficacia pedagógica de las herramientas, sino también en la necesidad de asegurar su uso responsable, inclusivo y equitativo. En Chile, la CNA establece como criterio de calidad la "investigación e innovación docente para la mejora del proceso formativo", lo que exige que las universidades deban sistematizar, evaluar y alinear sus innovaciones con el modelo educativo institucional (CNA, 2024).

Desde una perspectiva teórica, este cambio conceptual se sustenta en los aportes del constructivismo, que orienta la innovación hacia la construcción activa de conocimientos a partir de experiencias significativas, y del conectivismo, que interpreta la integración de tecnologías disruptivas como parte de redes distribuidas de aprendizaje en la sociedad digital (Siemens, 2005). En este marco, la innovación docente en educación superior también se comprende como un proceso de transformación institucional y pedagógica en el que las tecnologías digitales cumplen un papel estratégico (Aravena Gaete & Roy Sadradín, 2024). Empíricamente, múltiples estudios han evidenciado beneficios de la IA en la personalización del aprendizaje, la retroalimentación automatizada y la detección temprana de riesgos académicos (Barus et al., 2025; Zawacki-Richter et al., 2024), así como en el uso de RV y RA para la motivación estudiantil y la comprensión conceptual (Montenegro-Rueda & Fernández-Cerero, 2022). Sin embargo, investigaciones en América Latina y en Chile advierten so-

bre limitaciones relacionadas con la equidad de acceso, la sostenibilidad financiera y la capacitación docente, lo que genera un escenario de oportunidades y tensiones.

En efecto, la irrupción de la IA y otras tecnologías disruptivas ha redefinido el concepto de innovación docente, situación que lo ha ampliado desde una visión metodológica a un enfoque sistémico, ético y estratégico. Este cambio conceptual no solo transforma los roles de estudiantes y docentes en la co-creación del conocimiento, sino que también introduce nuevos desafíos vinculados a la equidad, la gobernanza institucional y la sostenibilidad financiera.

A nivel global, estos procesos se proyectan como motores de transformación y reposicionamiento de las universidades en la sociedad digital, mientras que en el contexto chileno adquieren un carácter normativo a través de la CNA, que exige evidencias verificables de innovación docente como criterio de calidad. Así, la literatura revela que la innovación docente con IA no constituye únicamente una tendencia tecnológica, sino un componente estructural para el futuro de la educación superior, con profundas implicancias económicas y pedagógicas para el trabajo académico en Chile y el mundo.

3. Metodología

3.1. Diseño, tipo de estudio y enfoque

El estudio se sustentó en un diseño cualitativo con componentes historiográficos, documentales y semibibliométricos, adecuado para abordar fenómenos complejos como la incorporación de tecnologías emergentes en la educación superior. Este enfoque mixto permitió combinar la revisión interpretativa de normativas y literatura académica con un mapeo sistemático de la producción científica, lo que favoreció una visión crítica y contextualizada de los impactos económicos y pedagógicos asociados a la digitalización universitaria.

El componente documental consideró una revisión detallada de fuentes primarias y secundarias, en la cual se incluyó literatura académica especializada, informes de organismos multilaterales (UNESCO, OCDE, ONU y Unión Europea), marcos regulatorios nacionales (CNA, Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, MINEDUC), planes estratégicos de universidades chilenas y lineamientos institucionales. Desde una perspectiva historiográfica, se buscó trazar los hitos más relevantes entre 2018 y 2025 en torno al despliegue de la IA y otras tecnologías disruptivas en la educación superior chilena, con el fin de comprender cómo dichos procesos han incidido en políticas públicas, modelos de gestión universitaria y prácticas pedagógicas. Este examen se desarrolló bajo un enfoque interpretativo, lo que permitió situar avances, tensiones y limitaciones de la IA y el big data en la configuración del trabajo académico.

De forma complementaria, se incorporó un análisis semibibliométrico orientado a identificar tendencias de investigación y producción académica en torno a la IA aplicada a la educación superior. Para dar cuenta de esto, se recopilaron publicaciones científicas y documentos académicos mediante un conjunto de palabras clave previamente definidas. La búsqueda se realizó en bases de datos de reconocido prestigio (descritas en el siguiente apartado) y motores académicos especializados como Google Scholar y ResearchRabbit, lo que permitió examinar la evolución de la producción científica en términos de volumen, líneas temáticas y madurez investigativa del campo.

La recolección y análisis de fuentes se desarrolló en el periodo comprendido entre el 27 de agosto de 2025 y el 27 de marzo de 2026, lo que aseguró la incorporación de literatura y documentos recientes. La triangulación de los tres componentes (historiográfico, documental y semibibliométrico) proporcionó un panorama amplio y crítico sobre el avance de la IA y otras tecnologías emergentes en la educación superior chilena, así como de sus repercusiones en el trabajo académico, la sostenibilidad financiera, la eficiencia institucional y los procesos pedagógicos.

3.2. Fuentes

El corpus documental que sustenta este estudio se conformó a partir de artículos académicos revisados, informes de organismos internacionales y reportes institucionales nacionales. En particular, se consideraron artículos indexados en bases de datos como Scopus, Web of Science y SciELO, los cuales abordan el impacto de la IA, el big data y las tecnologías disruptivas en la educación superior. Asimismo, se incluyeron reportes y documentos de organismos multilaterales, entre ellos la OCDE, la UNESCO y el Banco Mundial, que ofrecen lineamientos y análisis comparativos sobre las tendencias globales en educación y gobernanza digital. Finalmente, se integraron fuentes nacionales, como los informes del Consejo Nacional de Educación (CNED) y los criterios y lineamientos de la CNA, indispensables para contextualizar el análisis dentro del marco del aseguramiento de la calidad y la regulación educativa en Chile.

La selección de estas fuentes permitió integrar evidencia académica, normativa e institucional, lo que aseguró una mirada tanto global como local, necesaria para comprender los impactos económicos y pedagógicos de la integración de tecnologías emergentes en el trabajo académico universitario.

3.3. Alcance: énfasis en estudios chilenos y latinoamericanos recientes

El alcance del estudio se concentró en la educación superior chilena y latinoamericana. Se priorizaron investigaciones, documentos institucionales y políticas públicas recientes que analizan la integración de tecnologías emergentes en el trabajo académico. El énfasis en Chile responde a la necesidad de comprender cómo las universidades nacionales han enfrentado la incorporación de la IA, el big data y otras tecnologías disruptivas en los ámbitos pedagógicos y económicos, bajo el marco normativo establecido por la CNA y las orientaciones del CNED (2023).

Asimismo, se consideraron estudios y experiencias latinoamericanas que permiten contrastar y enriquecer la comprensión del fenómeno, dado que la región comparte desafíos comunes en materia de brechas digitales, sostenibilidad financiera y equidad en el acceso. Ejemplos relevantes incluyen el análisis de Gaitán Barrera y Azeez (2024), que documenta experiencias pioneras de IA en universidades chilenas y mexicanas, y la revisión de Salas-Pilco y Yang (2022), que sistematiza aplicaciones de IA en educación superior latinoamericana.

En el caso chileno, se incorporaron estudios recientes que exploran los impactos pedagógicos y éticos de la IA, como el de Núñez-Valdés et al. (2025), centrado en las percepciones estudiantiles sobre el uso de la inteligencia artificial en la formación docente, y Hormazábal (2025), orientado al análisis

de sesgos y riesgos en el uso de sistemas inteligentes en la docencia. Asimismo, se incluyeron iniciativas de política pública orientadas a la formación inicial docente en inteligencia artificial, como el curso "Impulsemos la Educación del Futuro Juntos", impulsado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (2025c), que incorporó a estudiantes de pedagogía de universidades de distintas regiones en una experiencia piloto de formación en IA para futuros docentes.

De esta forma, el alcance metodológico integró estudios académicos, reportes institucionales y políticas públicas de carácter reciente (2018–2025), con un énfasis particular en Chile y un marco comparativo latinoamericano. Esta delimitación permitió cumplir con los objetivos específicos planteados: identificar hitos y trayectorias en la adopción de IA en educación superior, evaluar la madurez de marcos nor**mativos y éticos y sistematizar la evidencia disponible sobre impactos económicos y pedagógicos en la región.**

La evidencia sistematizada a partir de estudios chilenos y latinoamericanos recientes permite avanzar hacia un análisis más detallado de los efectos concretos que la incorporación de tecnologías emergentes ha tenido en la educación superior. Si bien los hallazgos revisados muestran un panorama heterogéneo, se observa una convergencia en torno a dos dimensiones centrales: los impactos económicos, relacionados con la eficiencia en la gestión institucional, los costos de adopción y la sostenibilidad financiera; los impactos pedagógicos, vinculados a la personalización del aprendizaje, la retroalimentación automatizada, la retención estudiantil y los riesgos para la integridad académica. No obstante, junto con estos beneficios emergen desafíos y limitaciones que tensionan la equidad, la gobernanza de datos y la capacidad de innovación docente en las instituciones.

4. Resultados y Discusión

4.1. Impactos económicos

La incorporación de tecnologías emergentes está modificando de manera sustancial los modelos de sostenibilidad universitaria, al impactar simultáneamente en la eficiencia administrativa, la estructura de costos y la generación de nuevas fuentes de ingresos. En términos operativos, la automatización de procesos mediante IA y el uso de la analítica predictiva con big data permiten optimizar la gestión de recursos humanos y financieros, anticipar riesgos de deserción y mejorar la asignación presupuestaria (OECD, 2024; Barus et al., 2025). Estas prácticas, al reducir ineficiencias, generan ahorros que refuerzan la estabilidad financiera institucional.

No obstante, el verdadero giro económico se observa en el ámbito estratégico, donde la innovación curricular se ha consolidado como un instrumento central de diversificación. La incorporación de microcredenciales, programas cortos, cursos en línea y certificaciones digitales en áreas de alta demanda como ética de la IA, analítica de datos o alfabetización digital, ha permitido a las universidades atraer a públicos no tradicionales, incluidos profesionales en formación continua y estudiantes internacionales. Esta oferta flexible fortalece la inserción de las instituciones en la economía digital, al tiempo que genera nuevos flujos de ingresos independientes de la matrícula regular (Martin & Van der Hijden, 2023; Gutovic & Xia, 2025).

En América Latina, este modelo comienza a consolidarse como respuesta a la dependencia estructural del financiamiento estudiantil. Experiencias en universidades chilenas y mexicanas muestran que la apertura a programas de innovación digital y colaboraciones con la industria tecnológica permite generar recursos adicionales, ampliar el portafolio institucional y reforzar la competitividad académica en un escenario global (Gaitán Barrera & Azeez, 2024). Asimismo, una iniciativa reciente de IA explicable orientada a prevenir la deserción estudiantil, impulsada por el Hemispheric University Consortium (HUC, 2025) entre universidades de Chile, México y Argentina, muestra el interés creciente por aplicar analítica avanzada al acompañamiento estudiantil; indirectamente, este tipo de estrategias podría contribuir a la sostenibilidad financiera institucional al favorecer la retención en contextos donde los ingresos por matrícula y aranceles siguen siendo relevantes (OECD, 2025).

En Chile, el impacto económico de estas transformaciones es ambivalente. Por un lado, las universidades con mayor capacidad de inversión avanzan hacia modelos mixtos de ingresos basados en la innovación curricular y en consultorías tecnológicas, hecho que consolida su posicionamiento en la economía del conocimiento. Por otro lado, instituciones con recursos limitados enfrentan el riesgo de incrementar su dependencia de créditos o de financiamiento estatal para cubrir los altos costos iniciales de la adopción tecnológica, lo que podría profundizar las desigualdades entre universidades. Este escenario plantea la necesidad de diseñar modelos de retorno de la inversión (ROI) adaptados al sector universitario, que permitan equilibrar los costos de infraestructura, capacitación y gobernanza con los beneficios esperados en la productividad académica, la retención estudiantil y el posicionamiento competitivo a largo plazo.

4.2. Impactos pedagógicos

En el plano pedagógico, la incorporación de tecnologías emergentes ha generado transformaciones profundas en los procesos de enseñanza-aprendizaje y en la organización curricular de la educación superior. A nivel global, la IA ha impulsado la personalización del aprendizaje, mediante sistemas adaptativos capaces de ajustar contenidos, secuencias y ritmos en función de las necesidades del estudiantado. Asimismo, la retroalimentación automatizada y la analítica predictiva se han consolidado como herramientas clave para anticipar riesgos académicos y apoyar la retención estudiantil (Zawacki-Richter et al., 2024; OECD, 2024). Estas innovaciones, junto con la expansión de plataformas digitales y MOOCs, han democratizado el acceso a contenidos de calidad, lo que ha ampliado las oportunidades de aprendizaje flexible y continuo (UNESCO, 2024).

Un aspecto central de este impacto pedagógico es la innovación curricular, entendida no solo como la incorporación de nuevas tecnologías en el aula, sino también como el rediseño de los programas formativos en función de las demandas de la economía digital. En América Latina, las universidades han comenzado a integrar en sus mallas curriculares competencias digitales, alfabetización en datos, pensamiento crítico y ética en el uso de la IA, como respuesta a la necesidad de preparar profesionales capaces de desenvolverse en entornos altamente tecnologizados (Salas-Pilco & Yang, 2022). Además, la oferta de microcredenciales y trayectorias modulares no solo diversifica la formación, sino que también potencia el aprendizaje personalizado, adaptado a diversos perfiles profesionales. Sin embargo, persisten tensiones: la rapidez con que evolucionan las tecnologías supera la capacidad de actualización de los planes de estudio, lo que genera desfases entre la innovación y la práctica pedagógica (Pallant et al., 2025).

En Chile, estas transformaciones adquieren un carácter estratégico en el marco de la CNA, cuyos criterios y orientaciones consideran el diseño y actualización curricular, así como la innovación docente y la mejora del proceso formativo. En paralelo, estudios recientes muestran que, en educación superior técnico-profesional, la inteligencia artificial es percibida principalmente como una herramienta de apoyo al trabajo docente más que como un ustituto de este (Valenzuela Caico & Pérez Carvajal, 2025). No obstante, los avances son desiguales: mientras que universidades con mayores recursos financieros han logrado rediseñar integralmente sus currículos para integrar competencias digitales transversales, otras instituciones presentan dificultades para sostener procesos de innovación curricular de manera sistemática (Hormazábal, 2025).

En síntesis, el impacto pedagógico de las tecnologías emergentes se manifiesta en tres niveles complementarios: i) la mejora en la experiencia de aprendizaje mediante personalización y retroalimentación, ii) la transformación curricular que incorpora nuevas competencias críticas para el mundo digital, y iii) la necesidad de fortalecer la formación docente y la inclusión digital como condiciones indispensables para garantizar que la innovación curricular se traduzca en aprendizajes significativos y en mayor equidad educativa.

4.3. Desafíos y limitaciones

A pesar de los avances en la incorporación de tecnologías emergentes en la educación superior, persisten desafíos estructurales y limitaciones significativas que condicionan el alcance de sus beneficios. En primer lugar, desde la perspectiva económica, las universidades enfrentan la tensión entre los altos costos iniciales de inversión en infraestructura tecnológica, capacitación docente y gobernanza de datos, y la necesidad de generar retornos sostenibles a mediano y largo plazo. Mientras algunas instituciones han logrado capitalizar la innovación curricular como mecanismo de diversificación de ingresos, otras carecen de recursos suficientes para adoptar estas transformaciones, lo que profundiza las desigualdades entre universidades públicas y privadas (Gaitán Barrera & Azeez, 2024).

En segundo lugar, en el plano pedagógico y curricular, se identifican limitaciones vinculadas a la velocidad de actualización de los programas formativos respecto del ritmo de avance de la IA y otras tecnologías disruptivas. Aunque algunas universidades han integrado asignaturas y microcredenciales en alfabetización digital y ética de datos, la falta de homogeneidad en la implementación genera brechas entre instituciones y programas. Además, existe el riesgo de que el uso instrumental de la IA promueva aprendizajes superficiales, en lugar de potenciar el pensamiento crítico y las competencias de orden superior (Pallant et al., 2025).

Un tercer desafío corresponde a la gobernanza y la ética. La creciente dependencia de la analítica de datos estudiantiles plantea dilemas relacionados con la privacidad, la seguridad de la información y la integridad académica. En Chile, al igual que en otros países latinoamericanos, aún se observa un vacío en los marcos regulatorios específicos para la educación superior, lo que deja a las instituciones en una posición vulnerable frente a los riesgos de sesgos algorítmicos y de usos no autorizados de datos (Hormazábal, 2025; OECD, 2024).

Finalmente, debe considerarse la resistencia organizacional y cultural como una limitación clave. La innovación tecnológica requiere no solo inversión, sino también cambios profundos en la gestión universitaria y en las prácticas docentes. La resistencia por parte del profesorado, la falta de competencias digitales y la ausencia de una cultura institucional de innovación limitan el potencial transformador de la IA y del big data en la educación superior.

En conjunto, estos desafíos revelan que la adopción de tecnologías emergentes no es un proceso lineal ni homogéneo. Más bien, se trata de un camino marcado por asimetrías institucionales, dilemas éticos y tensiones pedagógicas, que exige el desarrollo de políticas públicas y marcos institucionales robustos para garantizar una implementación equitativa, sostenible y alineada con los fines formativos de la educación superior.

5. Conclusiones

5.1. Conclusiones generales

En virtud de lo anteriormente expuesto, se puede concluir que este trabajo permitió alcanzar el objetivo general al analizar de manera integral los impactos económicos y pedagógicos de la integración de tecnologías emergentes en la educación superior chilena, situándolos en un marco global y latinoamericano. La revisión de literatura y documentos institucionales evidenció que IA, el big data y las plataformas digitales han redefinido el trabajo académico en al menos tres dimensiones: i) la eficiencia y sostenibilidad financiera, gracias a la automatización y a la diversificación de ingresos mediante innovación curricular; ii) la transformación pedagógica, expresada en aprendizajes personalizados, retroalimentación inmediata y rediseño curricular con nuevas competencias digitales y éticas, y iii) la gobernanza y la ética, que emergen como áreas críticas para asegurar equidad, privacidad y calidad educativa.

Los hallazgos muestran que, si bien la adopción tecnológica abre oportunidades de innovación y posicionamiento en la economía digital, también expone tensiones entre instituciones con alta capacidad de inversión y aquellas con recursos limitados, lo que puede profundizar las desigualdades del sistema. En este sentido, el capítulo contribuye a visibilizar la necesidad de modelos diferenciados de adopción tecnológica, capaces de equilibrar los costos de implementación con beneficios tangibles en productividad académica, sostenibilidad financiera y equidad en el acceso.

En el caso chileno, los impactos económicos decisivos de la adopción de tecnologías emergentes se reflejan en la optimización de la gestión universitaria mediante la automatización y el uso de big data, en la diversificación de ingresos a través de la innovación curricular (particularmente con microcredenciales, programas híbridos y certificaciones digitales) y en la mejora de la retención estudiantil gracias a sistemas predictivos que fortalecen la sostenibilidad financiera. No obstante, estos avances conviven con la tensión generada por los altos costos iniciales de inversión tecnológica, que corren el riesgo de profundizar las desigualdades entre instituciones con mayores y menores recursos.

En paralelo, los impactos pedagógicos decisivos se expresan en la personalización del aprendizaje, la retroalimentación inmediata y la innovación curricular que incorpora competencias digitales, pensamiento crítico y ética en el uso de la IA. Estos cambios reconfiguran el rol docente hacia la media-

ción crítica y el diseño de experiencias de aprendizaje de orden superior, aunque también plantean riesgos asociados a la equidad y a la integridad académica, por ejemplo, en el área de investigación universitaria. En conjunto, la evidencia revisada confirma que la incorporación de la IA, el big data y las plataformas digitales no sólo redefine la docencia y la gestión universitaria, sino que también determina la sostenibilidad financiera, la innovación curricular y la equidad en el acceso.

En este contexto, la IA se configura como una herramienta al servicio del proceso formativo y del trabajo académico y no como una solución total o sustitutiva del quehacer del profesorado. Su valor depende de la capacidad de los docentes para integrarla de manera crítica, pertinente y contextualizada, con la mantención del juicio experto y la experiencia disciplinar como elementos centrales del proceso educativo. Asimismo, su aplicabilidad no es homogénea entre disciplinas, pues presenta mayores posibilidades de desarrollo en ámbitos de las humanidades y las ciencias sociales, mientras que en campos de tecnología dura su alcance es, hasta ahora, más acotado y dependiente del conocimiento especializado.

La intersección entre tecnologías emergentes y trabajo académico se configura, entonces, como un campo estratégico: investigar sus efectos permite comprender sus alcances; la política pública debe regularlos para evitar brechas; la gestión institucional debe orientarlos hacia aprendizajes significativos y sostenibles. En este escenario, el futuro de la educación superior chilena y latinoamericana dependerá de la capacidad de equilibrar innovación con inclusión.

El análisis desarrollado a lo largo de este capítulo permite también concluir que la incorporación de tecnologías emergentes en la educación superior chilena no constituye un cambio meramente instrumental, sino una transformación estructural del trabajo académico y de las condiciones de funcionamiento de las universidades. La IA, el big data y las plataformas digitales están reconfigurando simultáneamente la gestión institucional, los procesos de enseñanza-aprendizaje y los marcos de gobernanza que orientan la vida universitaria. En consecuencia, su impacto debe comprenderse de manera integrada, pues sus efectos económicos, pedagógicos y éticos no operan de forma aislada, sino profundamente interrelacionada.

Desde la dimensión económica, la evidencia revisada muestra que las tecnologías emergentes pueden fortalecer la sostenibilidad institucional al mejorar la eficiencia administrativa, automatizar procesos, optimizar la toma de decisiones y abrir oportunidades de diversificación de ingresos mediante programas híbridos, microcredenciales y certificaciones digitales. Sin embargo, estos beneficios no se distribuyen de forma homogénea. La adopción tecnológica exige inversiones iniciales significativas en infraestructura, capacitación, soporte y gobernanza de datos, lo que favorece a las instituciones con mayores capacidades financieras y organizacionales. Por tal motivo, la transformación digital puede también profundizar segmentaciones preexistentes dentro del sistema universitario chileno.

En el plano pedagógico, los hallazgos confirman que las tecnologías emergentes amplían las posibilidades de personalización del aprendizaje, fortalecen la retroalimentación oportuna, favorecen modalidades híbridas y promueven innovaciones curriculares orientadas al desarrollo de competencias digitales, pensamiento crítico y uso ético de la información. No obstante, estos avances dependen de condiciones institucionales concretas: formación docente pertinente, diseño pedagógico sólido, criterios claros de evaluación y políticas que eviten un uso superficial o sustitutivo del razonamiento

académico. En este sentido, el verdadero potencial pedagógico de estas tecnologías no radica en su sola disponibilidad, sino en la capacidad de integrarlas críticamente a modelos formativos coherentes con los fines de la educación superior.

Un tercer hallazgo relevante es que la expansión de estas tecnologías vuelve ineludible la discusión sobre gobernanza, ética y equidad. El uso intensivo de datos, algoritmos y sistemas automatizados introduce desafíos vinculados con la privacidad, los sesgos, la transparencia, la integridad académica y la supervisión humana de los procesos educativos. En el caso chileno, si bien existen avances en materia de orientaciones públicas, transformación digital y fortalecimiento de capacidades, aún persisten vacíos regulatorios e institucionales que dificultan una adopción plenamente responsable y contextualizada. Esta situación resulta particularmente importante en un sistema de educación superior marcado por desigualdades históricas, donde las brechas de acceso, uso y efectos pueden reproducirse o amplificarse bajo nuevas formas tecnológicas.

En consecuencia, el capítulo permite sostener que la principal contribución de las tecnologías emergentes no reside únicamente en la modernización de herramientas, sino en su capacidad para alterar la lógica misma del trabajo académico. La docencia, la investigación, la gestión y la vinculación con el entorno comienzan a articularse en ecosistemas sociotécnicos donde los datos adquieren valor estratégico, las tareas rutinarias se automatizan y el rol del académico se desplaza hacia funciones de mediación crítica, curaduría del conocimiento, diseño de experiencias formativas y toma de decisiones basada en evidencia. Esta reconfiguración abre oportunidades importantes para mejorar la calidad y la pertinencia de la educación superior, pero también obliga a redefinir responsabilidades institucionales y criterios de evaluación del quehacer universitario.

A partir de lo anterior, se concluye que el desafío para la educación superior chilena no es simplemente incorporar más tecnología, sino hacerlo con criterios de sostenibilidad, inclusión y sentido pedagógico. La evidencia examinada sugiere que una transformación digital valiosa será aquella capaz de equilibrar innovación con equidad, eficiencia con formación integral y automatización con responsabilidad ética. De este modo, el futuro del trabajo académico en Chile dependerá menos del acceso aislado a herramientas emergentes que de la capacidad de las instituciones y de las políticas públicas para construir marcos de adopción reflexivos, justos y coherentes con las finalidades formativas de la universidad.

5.2. Líneas futuras de investigación

Entre las principales líneas de investigación futura se destacan varias áreas de especial interés. Una de ellas corresponde a la IA y la sostenibilidad financiera universitaria, orientada a analizar de forma longitudinal los costos y beneficios asociados a la adopción de IA y big data en instituciones de educación superior, con el propósito de identificar modelos sostenibles de financiamiento y eficiencia institucional.

Otra línea relevante es la de tecnologías emergentes, innovación curricular y empleabilidad, centrada en estudiar el impacto de las microcredenciales, los programas híbridos y las certificaciones digitales basadas en IA sobre la inserción laboral y la competitividad de los egresados.

También resulta fundamental la investigación sobre ética y gobernanza de la IA educativa, que busca explorar marcos regulatorios y prácticas institucionales destinadas a proteger la privacidad de los datos estudiantiles, mitigar los sesgos algorítmicos y garantizar un uso responsable de estas tecnologías en el ámbito académico.

Del mismo modo, la línea de innovación docente y nuevos modelos de aprendizaje mediados por IA pretende analizar cómo la incorporación de tecnologías emergentes reconfigura la práctica pedagógica, promoviendo un rol docente más orientado al diseño de experiencias de aprendizaje de orden superior y a la mediación crítica en el uso de herramientas inteligentes.

Finalmente, la IA generativa en docencia y evaluación constituye un campo emergente que requiere examinar tanto las posibilidades como los riesgos de su incorporación en los procesos de enseñanza, retroalimentación y evaluación, con especial atención a la integridad académica y a la autenticidad del aprendizaje.

5.3. Recomendaciones

En coherencia con los hallazgos, se proponen tres orientaciones principales. En primer lugar, a nivel institucional, se recomienda consolidar estrategias de innovación curricular que integren competencias digitales y éticas, acompañadas de programas de formación docente continua y de una adecuada gestión del cambio organizacional. En segundo lugar, a nivel de política pública, resulta necesario fortalecer los marcos regulatorios que aseguren una gobernanza inclusiva, la equidad en el acceso y el financiamiento destinado a la inversión inicial en infraestructura digital. Finalmente, en el ámbito de la cooperación académica, se sugiere fomentar redes de colaboración entre universidades chilenas y latinoamericanas para compartir experiencias, evaluar impactos y participar de manera activa en la construcción de estándares internacionales de IA aplicada a la educación.

En conjunto, estas recomendaciones buscan garantizar que la incorporación de tecnologías emergentes en la educación superior chilena no se produzca de forma fragmentada ni desigual, sino que constituya una oportunidad para fortalecer la calidad, la equidad y la sostenibilidad del sistema universitario. Solo mediante la articulación entre políticas públicas, estrategias institucionales y cooperación regional será posible transformar los impactos de la IA y del big data en un motor de innovación curricular, desarrollo académico y cohesión social, lo que consolida así un camino hacia una educación superior más inclusiva y competitiva en la era digital.

6. Referencias Bibliográficas

1. Abarca Amador, Y. (2015). The use of ICT in university education: motivation that affects its use and frequency. *Magazine of Modern Languages*, (22), 335–349.

2. Aguirre Sala, J. F. (2025). La gobernanza de la inteligencia artificial como desafío a los paradigmas del derecho en el siglo XXI. *Revista IUS, 20*(56), 169–193. https://doi.org/10.35487/rius.v20i56.2025.1063

3. Amo Usanos, R. (2023). *Inteligencia artificial y bioética*. Universidad Pontificia Comillas.

4. Aravena Gaete, M., & Roy Sadradín, D. (2024). Transformación de la educación superior: innovación docente y buenas prácticas: Presentación. *Revista Iberoamericana de Educación, 95*(1), 9–13. https://doi.org/10.35362/rie9516372

5. Ayto, J. (2009). *Word origins*. Bloomsbury Publishing.

6. Barus, O. P., Hidayanto, A. N., Handri, E. Y., & Sensuse, D. (2025). Shaping generative AI governance in higher education: Insights from student perception. International *Journal of Educational Research Open*, 8(1), 100452. https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2025.100452

7. Benítez Miranda, R. S., Cevallos Illicachi, J. R., Pilla Zuñiga, W. I., & Sancho Aguilera, D. (2025). Realidad aumentada y realidad virtual en la educación en Latinoamérica: Análisis de su adopción, desafíos y oportunidades. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 9*(2), 5528–5545. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2.17311

8. Bonam, B. (2020). E*ducación, Big Data e Inteligencia Artificial. Estudio más amplio sobre IA y Big Data en educación*. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7555368

9. Cañedo Andalia, R. (2004). Approaches to a history of the Internet. *ACIMED*, 12(1), 0–0.

10. Carrasco, G. (2025). S*egún estudio de la U. de Chile, el 81 % de sus estudiantes de primer año utiliza inteligencia artificial*. Universidad de Chile. https://uchile.cl/noticias/227747/81-de-estudiantes-de-primer-ano-de-la-u-de-chile-usa-ia

11. Casalet, M. (1998). *Technology: Concept, problems and perspectives*. Siglo XXI.

12. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) & Centro Nacional de Inteligencia Artificial (CENIA). (2025). *Índice Latinoamericano de Inteligencia Artificial (ILIA) 2025*. Naciones Unidas. https://indicelatam.cl/

13. Comisión Nacional de Acreditación (CNA-Chile). (2024). *Criterios y estándares de acreditación institucional y de carreras y programas de pregrado*. https://www.cnachile.cl/Paginas/criterios-y-est%C3%A1ndares.aspx

14. Consejo Nacional de Educación. (2023). I*nforme sobre tendencias de innovación y transformación digital en educación superior chilena*. https://www.cned.cl

15. Cortés, M. E. (2024). Relevancia de la inversión en investigación e innovación en biomedicina para el desarrollo socioeconómico de los países latinoamericanos. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 58(3), 269–271.

16. Cortés, M. E., Carrier, A., Lara Ortega, M., & Ríos Colmenarez, M. J. (2024). Inteligencia artificial: potencialidades y desafíos en la investigación en educación superior chilena. En A. S. Aguirre Boza & B. Giménez Castillo (Eds.), *Tecnología y sociedad: Inteligencia artificial en la docencia y la investigación* (Vol. 5, pp. 14–30). Facultad Tecnológica, Universidad de Santiago de Chile.

17. Cortés, M. E., Cofré Contreras, B., Zañartu, J. A., & Lara Ortega, M. (2023b). Relevancia de las tecnologías entre profesionales de la educación chilena, ante los desafíos de la Quinta Revolución Industrial. En J. González Candia & J. C. Travieso Torres (Eds.), *Tecnología y sociedad: aportes al debate constituyente II (*Vol. 4, pp. 133–157). Facultad Tecnológica, Universidad de Santiago de Chile.

18. Cortés, M. E., & Cortés, É. (2022). The future is now: The Fifth Industrial Revolution has reached the biomedical and health sciences. *Revista Médica de Chile*, 150(11), 1545–1546.

19. Cortés, M. E., Muñoz González, M. J., & Valenzuela Vidal, F. (2023a). Los procesos de enseñanza-aprendizaje en escuelas rurales chilenas ante el desafío que ha significado la virtualidad. En J. González Candia (Ed.), *Impacto en el saber y sentir docente: Docencia significativa y nuevos proyectos académicos en diferentes ámbitos de la educación superior* (Vol. 6, pp. 23–50). Facultad Tecnológica, Universidad de Santiago de Chile.

20. Daniel, B. (2015). Big Data and analytics in higher education: Opportunities and challenges. *British Journal of Educational Technology*, 46(5), 904–920. https://doi.org/10.1111/bjet.12230

21. Digital Education Council. (2024). Key results from DEC Global AI Student Survey 2024. Digital Education Council. https://www.digitaleducationcouncil.com/post/what-students-want-key-results-from-dec-global-ai-student-survey-2024

22. European Parliament and Council of the European Union. (2024). *Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act)* and amending certain Union legislative acts. Official Journal of the European Union, L, 2024/1689. https://artificialintelligenceact.eu/the-act/

23. Gaitán Barrera, A., & Azeez, G. K. (2024). Artificial intelligence in higher education: Lessons from Chile and Mexico. *International Higher Education*, (121), 24–25.

24. González-Pizarro, F., López, C., Vásquez, A., & Castro, C. (2024). Inequalities in computational thinking among incoming students in an STEM Chilean university. *IEEE Transactions on Education*, 67(2), 180–189. https://doi.org/10.1109/TE.2023.3334193

25. Gutovic, V., & Xia, T. (2025). *Mapping micro-credentials in Latin America and the Caribbean: Towards a common framework*. UNESCO International Institute for Higher Education in Latin America and the Caribbean. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000393794

26. Hadjitchoneva, J., Ruff, C., Ruiz, M., & Matheu, A. (2021). The use of artificial intelligence in the online retail sector: The case of the eBag supermarket. En 2021 *16th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)* (pp. 1–8). IEEE. https://ieeexplore.ieee.org/document/9476484

27. Hemispheric University Consortium. (2025). Three Latin American Universities Will Use AI to Prevent Student Dropout in Higher Education. https://thehuc.org/three-latin-american-universities-will-use-ai-to-prevent-student-dropout-in-higher-education/?utm_source=chatgpt.com

28. Hormazábal, A. (2025). Sesgos en la inteligencia artificial y educación superior: Tipologías, impactos y desafíos. *Revista de Estudios en Educación*, 21(2), 33–50. https://www.rexe.cl/index.php/rexe/article/view/3062

29. Kumar, V. (2023). Digital enablers. *In The economic value of digital disruption: A holistic assessment for CXOs* (pp. 1–110). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-8148-7_1

30. Levicoy, D. D. (2013). ICT in higher education: Advantages and disadvantages. *Education and Technology Journal*, (4), 44–50.

31. Long, P., & Siemens, G. (2011). Penetrating the fog: Analytics in learning and education. *EDUCAUSE Review, 46*(5), 31–40. https://er.educause.edu/articles/2011/9/penetrating-the-fog-analytics-in-learning-and-education

32. Ma, X. (2023). *Methodology for digital transformation: Implementation path and data platform*. Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-9111-0

33. Manyika, J., Bughin, J., Woetzel, J., Batra, P., Ko, R., & Sanghvi, S. (2018). Notes from the AI frontier: *Modeling the impact of AI on the world economy*. McKinsey Global Institute.

34. Martin, M., & Van der Hijden, P. (2023). *Short courses, micro-credentials, and flexible learning pathways: A blueprint for policy development and action*. UNESCO IIEP. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384326

35. Mayer-Schönberger, V., & Cukier, K. (2013). Big data: *La revolución de los datos masivos* (K. Cukier, Trad.). Turner.

36. Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. (2025a). *La Inteligencia Artificial entra al catálogo de ChileValora con 5 perfiles propuestos por el Ministerio de Ciencia*. https://www.minciencia.gob.cl/noticias/la-inteligencia-artificial-entra-al-catalogo-de-chilevalora-con-5-perfiles-propuestos-por-el-ministerio-de-ciencia/

37. Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. (2025b). *Programa de Financiamiento Estructural para Universidades Chilenas 2025*.
https://www.minciencia.gob.cl/areas/fortalecimiento-sistema/programa-de-financiamiento-estructural-para-universidades-chilen-2025/

38. Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. (2025c). *Con anuncio de 0,41% de gasto en I+D, ministra Aisén Etcheverry presentó Cuenta Pública 2025 en Rancagua*. https://www.minciencia.gob.cl/noticias/con-anuncio-de-041-de-gasto-en-id-ministra-aisen-etcheverry-presento-cuenta-publica-2025-en-rancagua/

39. Ministerio de Educación de Chile. (2025). *PotencIA el aprendizaje: preguntas para la reflexión y práctica de la Inteligencia Artificial generativa en contextos educativos* [Guía para docentes]. https://ciudadaniadigital.mineduc.cl/wp-content/uploads/2025/03/PotencIA-el-aprendizaje-IA-en-educacion.pdf

40. Montenegro-Rueda, M., & Fernández-Cerero, J. (2022). Realidad aumentada en la educación superior: Posibilidades y desafíos. *Tecnología, Ciencia y Educación*, (23), 95–114. https://doi.org/10.51302/tce.2022.858

41. Muñoz González, M. J., Cortés, M. E., & San-Miguel, T. (2025). Educación superior y aprendizajes virtuales en tiempos complejos para estudiantes de Medicina. En: *XI Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red INRED 2025*. Universitat Politècnica de València, 1526–1536. https://doi.org/10.4995/InRed2025.2025.20758

42. Muñoz-González, M. J., & Cortés-Cortés, M. E. (2025). La influencia de la conectividad en la calidad de la Educación General Básica en Chile. A*utoctonía. Revista de Ciencias Sociales e Historia*, 9(Special), 1647–1687.

43. Naciones Unidas. (2024). *Gobernanza de la IA en beneficio de la humanidad: Informe final*. https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/governing_ai_for_humanity_final_report_es.pdf

44. Núñez-Valdés, K. P., Sepulveda-Irribarra, C. A., Villegas-Dianta, C. A., & Castillo-Paredes, A. J. (2025). Inteligencia artificial y formación docente: análisis de las percepciones estudiantiles. *Formación Universitaria*, 18(4).https://doi.org/10.4067/S0718-50062025000400001

45. OECD. (2019). Recommendation of the Council on Artificial Intelligence (OECD/LEGAL/0449).

46. OECD. (2024). *Education at a glance 2024: OECD indicators*. OECD. https://www.oecd.org/en/publications/education-at-a-glance-2024_c00cad36-en.html

47. OECD. (2025). *The financial sustainability of higher education: Insights from policy in OECD countries*. https://doi.org/10.1787/f544ccfe-en

48. Pallant, J. L., Blijlevens, J., Campbell, A., & Jopp, R. (2025). The impact of generative AI on student learning outcomes. *Studies in Higher Education*, 1-22. https://doi.org/10.1080/03075079.2025.2487570

49. Pinargote Castro, M. A., Solórzano Ortega, C. V., Lozano Torres, M. J., & Jiménez Mejía, F. J. (2024). Accesibilidad de la realidad virtual aumentada en la educación universitaria: Estrategias, desafíos y beneficios. *Revista Scientific, 9*(33), 252–275. https://doi.org/10.29394/scientific.issn.2542-2987.2024.9.33.12.252-275

50. Quintanilla, M. A. (2017). *Technology: A philosophical approach and other essays in the philosophy of technology*. Fondo de Cultura Económica.

51. Riquelme-Plaza, I., & Marolla-Gajardo, J. (2026). Towards Digital Transformation in University Teaching: Diagnosis of the Level and Profile of Digital Competence Based on the DigCompEdu and OpenEdu Frameworks Among University Lecturers in Chile. *Education Sciences*, 16(2), 174. https://doi.org/10.3390/educsci16020174

52. Roco-Videla, Á., Aguilera-Eguía, R., Olguin-Barraza, M., & Flores-Fernández, C. (2023). El papel de la inteligencia artificial en las revisiones sistemáticas: implicaciones y desafíos para la divulgación científica. *Angiología*, 75(5), 344-345. https://dx.doi.org/10.20960/angiologia.00552

53. Sagredo Lillo, E., Salamanca Garay, I., & Cáceres, R. C. (2022). Critical meta-review of the link between technologies, information technology and cognitive development of individuals and organizations. Journal of Positive School Psychology, 2535–2544.

54. Salamanca Garay, I., & Sagredo Lillo, E. (2022). Generational diversity and pattern information and communication technologies use. *RISTI: Ibérica Journal of Information Systems and Technologies*, 47, 70–86.

55. Salamanca-Garay, I., Sagredo-Lillo, E., & Miranda-Olivares, C. (2025). Evolution of artificial intelligence initiatives implementation through macro policies in Latin America in 2022 and 2025. In J. V. Carvalho, A. Abreu, M. Silva, E. Ferreira da Costa, & J. A. F. Costa (Eds.), *Perspectives and trends in education and technology, volume 2* (Lecture Notes in Networks and Systems, Vol. 1694, pp. 270–279). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-032-09080-5_28

56. Salas-Pilco, S. Z., & Yang, Y. (2022). *Artificial intelligence applications in Latin American higher education: A systematic review*. International Journal of Educational Technology in Higher Education, 19, 21. https://doi.org/10.1186/s41239-022-00326-w

57. Sánchez Riofrio, L. del C., Goya Galarza, G. E., López Sánchez, A. E., & Avilés Ochoa, E. B. (2025). El uso de la inteligencia artificial y su impacto en las prácticas pedagógicas de los docentes en el aula. *Revista Científica Kosmos, 4*(2), 150–172. https://doi.org/10.62943/rck.v4n2.2025.345

58. Scharff, R. C., & Dusek, V. (Eds.). (2013). *Philosophy of technology: The technological condition – An anthology* (2nd ed.). Wiley.

59. Schatzberg, E. (2018). *Technology: Critical history of a concept*. University of Chicago Press.

60. Siemens, G. (2005). Connectivism: A learning theory for the digital age. *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning, 2*, 3–10.

61. Superintendencia de Educación Superior. (2024). Estudio "Salud Financiera del Sistema de Educación Superior en Chile (2012-2022/2023)" [Informe]. https://www.sesuperior.cl/wp-content/uploads/2025/01/Estudio-Salud-Financiera-2024-20250115.pdf

62. Swedberg, R., & Nee, V. (Eds.). (2020). T*he economic sociology of capitalism*. Princeton University Press.

63. Turnitin. (2025). T*urnitin Clarity: Focused guidance on students using AI responsibly.* Turnitin. https://www.turnitin.com/blog/turnitin-clarity-focused-guidance-on-students-using-ai-responsibly

64. UNESCO. (2021). *Recommendation on the ethics of artificial intelligence*. UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137

65. UNESCO. (2024). *What you need to know about digital learning and transformation of education*. https://www.unesco.org/en/digital-education/need-know

66. Uzcátegui Pacheco, R. A., & Ríos Colmenárez, M. J. (2024). Inteligencia artificial para la educación: formar en tiempos de incertidumbre para adelantar el futuro. Areté, *Revista Digital del Doctorado en Educación, 10*(especial), 1–21. https://doi.org/10.55560/arete.2024.ee.10.1

67. Valenzuela Caico, R., & Pérez Carvajal, A. (2025). Inteligencia artificial en educación superior: ¿un reemplazo para los profesores o una herramienta de apoyo? *Revista Iberoamericana de Investigación en Educación, (9)*. https://doi.org/10.58663/riied.vi9.221

68. Weller, M. (2011). The digital scholar: How technology is transforming scholarly practice. Bloomsbury Academic. https://doi.org/10.5040/9781849666275

69. Zapata, R., & Dalouch, R. (2017). E*ducation, health and ICT in multicultural contexts: new spaces for intervention*. University of Almería.

70. Zawacki-Richter, O., Bai, J. Y. H., Lee, K., Slagter van Tryon, P. J., & Prinsloo, P. (2024). New advances in artificial intelligence applications in higher education? *International Journal of Educational Technology in Higher Education, 21*, 32. https://doi.org/10.1186/s41239-024-00464-3

GOBIERNO DIGITAL Y BARRERAS A LA INCLUSIÓN: UNA VISIÓN DE PROFESORES DE UNA INSTITUCIÓN FEDERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR EN BRASIL

DIGITAL GOVERNMENT AND BARRIERS TO INCLUSION: A VIEW FROM PROFESSORS AT A FEDERAL INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION IN BRAZIL

Jefferson Miranda da Silva[1], Johnathan Jhonson Gomes de Almeida[1], Lucidéia Diaz Cardoso[1], Bruno Rafael Dias de Lucena[2]

[1] *Universidad Federal de Pará (UFPA), Brasil (Jefferson Miranda da Silva, jefferson.mirandas@gmail.com, Johnathan Jhonson Gomes de Almeida, jhonsonjohnathan@gmail.com, Lucidéia Diaz Cardoso, ldc@ufpa.br)*

[2] *Instituto de Ciencias Sociales Aplicadas. Universidad Federal de Pará (UFPA), Brasil (brunolucena@ufpa.br*

https://doi.org/10.17613/pxq5v-g3265

Resumen

Este estudio analiza las barreras a la inclusión digital desde la perspectiva de profesores de mayor edad de una universidad federal brasileña, derivadas de la implementación del gobierno digital. Mediante un enfoque cualitativo con entrevistas semiestructuradas y análisis temático, la investigación identificó que la digitalización de los servicios administrativos y académicos, si bien necesaria, genera exclusión funcional cuando no se acompaña de un apoyo adecuado. Los principales obstáculos incluyen: infraestructura inadecuada; la transferencia de costos tecnológicos al profesorado; la falta de formación continua y pedagógicamente sensible que considere las trayectorias generacionales y la dependencia de redes de apoyo informales (colegas, familia), lo que genera costos ocultos y reduce la autonomía. En consecuencia, surgen sentimientos de inseguridad, desmotivación y miedo a la obsolescencia, lo que compromete la vinculación institucional. Los resultados indican que la eficiencia promovida por el gobierno digital puede profundizar las desigualdades internas si no se articula con políticas de inclusión. El estudio concluye que se necesita urgentemente un modelo centrado en el ser humano, que combine inversión en infraestructura, formación contextualizada y apoyo institucional, garantizando que el trabajo del futuro en la función pública sea inclusivo y reconozca la diversidad generacional.

Palabras clave: Gobierno Digital, Inclusión Digital, Profesores Mayores, Futuro Del Trabajo

Abstract:

This study analyzes the barriers to digital inclusion from the perspectives of older professors at a Brazilian federal university, stemming from the implementation of digital government. Using a qualitative approach with semi-structured interviews and thematic analysis, the research identified that the digitization of administrative and academic services, while necessary, generates functional exclusion when unaccompanied by adequate support. The main obstacles include: inadequate infrastructure; the transfer of technological costs to professors; a lack of ongoing and pedagogically sensitive training that considers generational trajectories and dependence on informal support networks (colleagues, family), which generates hidden costs and reduces autonomy. Consequently, feelings of insecurity, demotivation, and fear of obsolescence arise, compromising institutional bonding. The results indicate that the efficiency promoted by digital government can deepen internal inequalities if not articulated with inclusion policies. The study concludes that a human-centered model is urgently needed, combining investment in infrastructure, contextualized training, and institutional support, ensuring that the work of the future in public service is inclusive and recognizes generational diversity.

Keywords: Digital government, digital inclusion, older professors, future of work.

1. Introducción

El proceso de modernización digital de la administración pública ha redefinido profundamente la relación entre el Estado y la sociedad, alterando no sólo los flujos de trabajo y las herramientas de gestión, sino también el acceso de los ciudadanos a derechos, información y servicios. La implementación de las nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) para transformar las organizaciones públicas, los documentos públicos y la forma en que se prestan los servicios públicos, así como la formulación de políticas públicas, constituye un nuevo paradigma de gobernanza pública, frecuentemente descrito bajo el concepto de gobierno digital (Liva et al., 2020). Este movimiento, impulsado por las políticas de modernización administrativa y la búsqueda de eficiencia y transparencia, representa un hito en la forma en que las instituciones públicas se organizan e interactúan con sus grupos de interés.

En las instituciones federales de educación superior, el avance del gobierno digital ha exigido a los profesores universitarios de mayor edad un conjunto de habilidades que no siempre están disponibles equitativamente. La falta de familiaridad con la tecnología, sumada al lenguaje técnico y la falta de apoyo accesible, puede generar sentimientos de exclusión, dependencia y distanciamiento institucional, comprometiendo el ideal de una administración pública inclusiva (Freitas, 2023).

En este contexto, el presente estudio busca analizar cualitativamente las percepciones de profesores universitarios de mayor edad de una institución federal de educación superior sobre las barreras a la inclusión digital y sus implicaciones para el futuro laboral. Se plantea la hipótesis de que las políticas de gobierno digital, al priorizar la eficiencia tecnológica, podrían reproducir inadvertidamente barreras a la inclusión, limitando la autonomía de los usuarios y debilitando los vínculos institucionales.

Al conectar los campos de la gestión pública, la inclusión digital y la gobernanza, este estudio busca ir más allá de simplemente analizar el uso de la tecnología en sí. Busca comprender cómo las prácticas de gobierno digital pueden, o no, promover la inclusión, el reconocimiento y la ciudadanía en un contexto donde las transformaciones tecnológicas redefinen el trabajo y el sentido mismo de pertenencia al servicio público. Con ello, busca contribuir al debate sobre la necesidad de políticas públicas sensibles a la diversidad generacional y las distintas trayectorias de la alfabetización digital.

2. Marco teórico

2.1. Gobierno digital y accesibilidad

El concepto de gobierno digital se consolida como un nuevo paradigma en la administración pública, reconfigurando la relación entre el Estado y la ciudadanía mediante la virtualización de servicios y la automatización de procesos. Como señala Silva (2024), esta transformación trasciende la mera adopción de herramientas tecnológicas y representa una profunda reestructuración de los modelos de gestión y prestación de servicios.

Mientras tanto, se espera obtener mejoras en eficiencia, transparencia y accesibilidad; sin embargo, la consecución de estos beneficios no es lineal ni universal. La investigación de Paes y Oliveira

(2025) advierte que la implementación del gobierno digital en Brasil enfrenta un desafío crucial: la inclusión digital. Los autores identifican que las limitaciones económicas, las deficiencias en la alfabetización digital y las disparidades regionales en la conectividad actúan como barreras insuperables para sectores significativos de la población, impidiéndoles disfrutar plenamente de los servicios públicos digitales.

En este escenario, el debate sobre la accesibilidad y las habilidades digitales cobra una importancia central. Silva (2025) amplía este debate argumentando que una inclusión digital efectiva va más allá del simple acceso a la infraestructura tecnológica, exigiendo el desarrollo de habilidades y la superación de las barreras lingüísticas y de usabilidad. Desde esta perspectiva, la transición a lo digital puede, paradójicamente, amplificar las desigualdades preexistentes, excluyendo a los grupos que no poseen las habilidades técnicas o cognitivas necesarias. Esta situación es especialmente visible entre las personas mayores, como lo corroboran los datos de TIC Domicílios (2023), citados en un estudio reciente, que destaca la edad y el bajo nivel educativo como factores determinantes de la exclusión digital. Así, la promesa de acceso universal, inherente al gobierno digital, se enfrenta a la realidad de una profunda desconexión tecnológica.Las instituciones educativas federales, a su vez, emergen como un escenario privilegiado para observar estas contradicciones. El estudio de Carvalho et al. (2025) demuestra que la implementación de plataformas de gestión digital, como SouGov y Gov.br, en estas instituciones genera una doble presión: sobre la estructura organizativa y sobre los usuarios finales. La investigación empírica de los autores revela que los empleados y ciudadanos vinculados a estas universidades suelen enfrentar dificultades para manejar las nuevas herramientas.

En consecuencia, la falta de familiaridad con la tecnología, sumada a la falta de apoyo adecuado, puede fomentar sentimientos de frustración, exclusión y distanciamiento institucional. Este hallazgo coincide con el análisis de Almeida y Faria (2024), quienes, al analizar la Ley de Gobierno Digital, enfatizan la necesidad imperiosa de políticas que consideren la diversidad del público usuario; de lo contrario, se profundizarán las desigualdades.

2.2. Barreras a la inclusión digital en el servicio público

La digitalización de los servicios públicos se ha utilizado como estrategia para la eficiencia administrativa y la ampliación del acceso a los derechos ciudadanos. Sin embargo, la transición a canales digitales puede profundizar las desigualdades cuando no considera las diferencias en el acceso, las habilidades y el contexto sociocultural de los usuarios (Harvey, Hastings y Chowdhury, 2021/2023; Rezende y Campos, 2020).

Cabe destacar que estudios recientes sobre la inclusión digital de las personas mayores enfatizan la idea de que las conexiones tecnológicas sin adaptación pedagógica y social pueden dejar a los grupos poblacionales en desventaja (Kebede et al., 2022; Vercruyssen et al., 2023).

Por lo tanto, la inclusión digital debe entenderse como un proceso multidisciplinario que involucra, entre otros factores, la infraestructura de acceso, las habilidades, la alfabetización digital, la apropiación cultural y motivacional de las herramientas y su uso significativo, ya sea para el ejercicio de la ciudadanía o como recurso profesional (Rezende y Campos, 2020; Seifert, 2020). Esto nos lleva a

entender la exclusión digital no sólo como la falta de acceso, sino también desde la perspectiva de la incapacidad deutilizar los servicios digitales de forma autónoma y sin depender de terceros (Harvey et al., 2021; Ragnedda, 2022).

En cuanto a la digitalización en los servicios públicos, algunas barreras de acceso se destacan en la literatura, ya sea analizadas de forma aislada o en conjunto, como se presenta a continuación.

2.2.1. Acceso e infraestructura adecuada

Si bien la conectividad ha avanzado rápidamente, la calidad, la estabilidad y el tipo de dispositivos accesibles a ciertos usuarios del gobierno digital, en su mayoría smartphones, afectan su capacidad para acceder plenamente a los servicios públicos digitales. Los servicios diseñados para ordenadores, por ejemplo, tienden a excluir a los usuarios que solo acceden a ellos a través de dispositivos móviles, como smartphones (Harvey et al., 2021; Seifert, 2020).

2.2.2. Habilidades y alfabetización digitales

Los estudios indican que la brecha entre poseer un dispositivo y saber cómo usarlo de forma segura y eficiente es crucial. Esto se debe a la falta de capacitación, que, cuando existe, es genérica, resultando insuficiente para satisfacer las necesidades de los usuarios mayores o de los empleados que requieren capacitación adaptada a sus funciones laborales (Mascarenhas, Vasconcelos y Vasconcelos, 2021; Ahmad et al., 2022; Schirmer, 2023).

2.2.3. Usabilidad, diseño y aceptabilidad de los servicios

Las interfaces a veces complejas, con lenguaje técnico y flujos deficientemente probados con usuarios vulnerables, tienden a reducir la accesibilidad y la aceptabilidad de los servicios. Las investigaciones indican que el diseño centrado en el usuario y la participación de los usuarios, incluyendo a las personas mayores y a los funcionarios públicos, en el proceso de desarrollo podrían reducir las barreras de inclusión (Rezende y Campos, 2020; Vercruyssen et al., 2023).Factores sociales, motivacionales e institucionales

Factores como la confianza, la percepción del riesgo, los estereotipos de edad y la ausencia de canales de apoyo presencial o telefónico son determinantes en el uso de los servicios digitales. La transferencia de costos ocultos al usuario, es decir, la dependencia de familiares o terceros y el tiempo dedicado a aprender a usar los recursos digitales, sustenta la exclusión, como lo demuestran estudios sobre gobierno electrónico y exclusión digital. Este es un factor asociado a la fragmentación de las políticas públicas y a la falta de estrategias de recursos humanos, lo que agrava el problema (Harvey et al., 2021; Ciesielska, 2020).

2.3. Envejecimiento docente y barreras a la inclusión digital.

El profesorado de mayor edad, por ejemplo, como grupo profesional con especificidades relacionadas con su trayectoria laboral y vida adulta, se convierte en un foco relevante para investigar las relaciones entre el envejecimiento, el trabajo y la inclusión digital (Freitas, 2023).

En cuanto a la inclusión digital, el envejecimiento docente se caracteriza por la heterogeneidad, ya que hay docentes de mayor edad con competencias tecnológicas y otros con carencias en habilidades digitales. Las investigaciones muestran que la demanda de una rápida adopción de tecnologías pedagógicas y administrativas puede generar sobrecarga, sensación de obsolescencia y mayor resistencia al cambio, especialmente en ausencia de una formación contextualizada (Freitas, 2023; Kerzic, 2021). Además, el edadismo institucional, es decir, las actitudes y procesos que perjudican a los profesionales de mayor edad, contribuye a la falta de formación adecuada y al reconocimiento de la experiencia docente (Freitas, 2023; Rasi-Heikkinen, 2023).

En términos generales, la relación entre el profesorado de mayor edad y la inclusión digital destaca algunas barreras que merecen atención:

La demanda de nuevas habilidades administrativas y pedagógicas, como el uso de plataformas y sistemas de gestión, sin que el profesorado de mayor edad reciba formación específica, tiende a aumentar su carga de trabajo y estrés (Freitas, 2023; Tondeur et al., 2012/2024; Kersic, 2021). Además, algunos sistemas tienen diseños querequieren un nivel más avanzado de alfabetización digital (la capacidad de utilizar la tecnología de forma eficaz, crítica y ética), lo que lleva a la exclusión funcional de quienes no están familiarizados con los flujos de trabajo digitales (Rezende y Campos, 2020; Vercruyssen et al., 2023).

Además, muchos docentes de mayor edad dependen de redes informales, como familiares, parejas o colegas, para realizar tareas profesionales o burocráticas, lo que genera costes ocultos y reduce su autonomía (Harvey et al., 2021; Kebede et al., 2022). Por otro lado, también faltan políticas de gestión y desarrollo que incorporen procesos de formación continua centrados en la inclusión digital, adaptados al ritmo y las necesidades del profesorado de mayor edad (Mascarenhas et al., 2021; Ciesielska, 2022). Así como políticas que consideren determinantes como la salud, la movilidad y el capital social (Seifert, 2020; Choi et al., 2022).

2.4. Implicaciones de las barreras de inclusión digital para los docentes mayores en el futuro del trabajo

En un escenario donde, como se mencionó anteriormente, cada vez se ofrecen más servicios digitalmente y donde el envejecimiento de la fuerza laboral ha cambiado el perfil de edad de los profesionales, incluyendo al profesorado, es necesario reflexionar sobre las implicaciones de este escenario para el futuro del trabajo.

Según el Foro Económico Mundial (WEF, 2025), el trabajo del futuro requiere habilidades que van más allá del uso básico, como la gestión de plataformas, el análisis e interpretación de datos, la integración de herramientas colaborativas y, progresivamente, la capacidad de trabajar con asistentes basados en inteligencia artificial (IA).

Sin programas de cualificación continuos y contextualizados, los trabajadores y el profesorado corren un mayor riesgo de ver sus tareas relegadas o ser excluidos de las nuevas formas de trabajo (Mascarenhas, Vasconcelos y Vasconcelos, 2021; Ahmad et al., 2022). Para el profesorado de mayor edad, en particular, el reto es doble: aprender nuevas herramientas (para uso personal, como el gobierno digital, y para uso profesional) y reinterpretar las prácticas pedagógicas establecidas en formato digital (Freitas, 2023; Tondeur et al., 2012/2024).

En el ámbito laboral futuro, también es necesario considerar los factores emocionales ante las expectativas de adaptación constante. El miedo a equivocarse, la baja autoestima, la percepción de inseguridad digital y el estigma asociado a la edad contribuyen a la no adopción o al uso superficial de las tecnologías (Seifert, 2020; Harvey et al., 2021). Esto requiere que los gobiernos y las organizaciones busquen estrategias para evitar la exclusión de los trabajadores de mayor edad, así como para mantener su eficacia organizacional.

Estudios sobre la participación digital de las personas mayores y las políticas de gobierno electrónico indican que la implementación de canales asistidos y la adopción de marcos de evaluación de la inclusión son estrategias eficaces para mitigar los efectos adversos de la digitalización en las personas mayores (Ciesielska, Rizun y Chabik, 2022).

Estas consideraciones tienen implicaciones directas para las políticas del futuro del trabajo, incluso en el sector público. Esto requiere que las medidas de infraestructura se complementen con programas de formación continua adaptados a la edad, un diseño de servicios inclusivos y canales de servicios híbridos que reduzcan los costos ocultos.

3. Metodología

Para este estudio, se adoptó un enfoque cualitativo que busca identificar, analizar e informar patrones (temas) en los datos. Este enfoque se centra en organizar y describir los datos con gran detalle y a menudo va más allá de la descripción para interpretar diversos aspectos del tema de investigación. Se eligió este enfoque porque es más adecuado para la naturaleza exploratoria de la investigación y el objetivo de analizar cualitativamente las percepciones de profesores universitarios de mayor edad de una institución federal de educación superior con respecto a las barreras a la inclusión digital y sus implicaciones para el futuro del trabajo, capturando la esencia de sus experiencias a través de sus propias palabras y expresiones (Bryman; Stephens; Campo, 1996). Además, la investigación cualitativa resulta particularmente adecuada para analizar procesos complejos y contemporáneos, como la digitalización del trabajo en el sector público y sus impactos en grupos específicos, ya que permite capturar dimensiones subjetivas, organizacionales y sociales que no se comprenden completamente mediante métodos cuantitativos (Lakatos; Marconi, 2017).

3.1. Recopilación de Datos

Los datos se recopilaron mediante entrevistas semiestructuradas, lo que permitió flexibilidad en las respuestas y, al mismo tiempo, aseguró una estructura mínima para guiar el diálogo. La guía de entrevistas se desarrolló a partir de una revisión bibliográfica sobre gobierno digital, barreras a la inclusión digital y envejecimiento en el ámbito laboral, abarcando bloques temáticos relacionados con la trayectoria profesional, la experiencia con tecnologías digitales, las condiciones de acceso e infraestructura, los procesos de aprendizaje, el apoyo institucional y las percepciones sobre el futuro del trabajo. La guía se dividió en seis bloques temáticos. Las entrevistas se grabaron, con la autorización previa de los participantes mediante la firma del consentimiento informado, y se realizaron tanto presencialmente como a distancia, esta última a través de Google Meet. Se preservó el anonimato mediante la asignación de códigos numéricos a los entrevistados, que se utilizarán en la presentación y discusión de los resultados.

3.2. Participantes de la Investigación

La definición de la muestra siguió el principio del muestreo por criterio intencional, considerando a profesores universitarios de edad avanzada afiliados a una institución federal de educación superior ubicada en la Amazonia brasileña, con unidades académicas tanto dentro como fuera del campus. La selección de los participantes consideró la relevancia de sus experiencias para los objetivos del estudio, especialmente en lo que respecta a la experiencia del gobierno digital en el contexto de la docencia.

Si bien la literatura sugiere intervalos de entrevista más amplios para la saturación teórica en estudios cualitativos, el presente estudio adoptó un número reducido de participantes, en consonancia con su naturaleza exploratoria (Aldiabat; Le Navenec, 2018; Guest; Namey; Chen, 2020; Hennink; Kaiser, 2022). El análisis se centró en la profundidad y recurrencia de los significados expresados en las narrativas, buscando identificar patrones de significado compartidos, así como especificidades contextuales relacionadas con el desempeño de los profesores en diferentes unidades y campus de la institución.

3.3. Procesamiento y análisis de datos

El tratamiento y análisis de los datos se guiaron por el análisis temático inductivo, una de las técnicas más utilizadas en la investigación cualitativa, según lo propuesto por Braun y Clarke (2006). Se eligió este enfoque porque permite la identificación de patrones recurrentes de significado a partir de los propios datos empíricos, sin la imposición previa de categorías analíticas rígidas, lo cual resultó adecuado para la naturaleza exploratoria del estudio.

El proceso analítico comenzó con una lectura repetida y en profundidad de las transcripciones de las entrevistas, un paso fundamental para familiarizarse con el corpus y comprender el contenido de las narrativas en su totalidad. En esta fase, el objetivo fue identificar recurrencias, contrastes y

elementos relevantes relacionados con las percepciones del profesorado sobre el gobierno digital, las barreras a la inclusión y las transformaciones en la labor docente.

Posteriormente, se llevó a cabo la identificación de unidades de significado y la organización inicial de los datos, guiada por un proceso de codificación inductiva flexible. Esta etapa tuvo como objetivo apoyar la sistematización de la información y facilitar la construcción de temas analíticos, sin la intención de realizar una codificación exhaustiva o mecanicista. Se priorizó la coherencia interpretativa y la articulación entre los datos empíricos y los objetivos de la investigación.

A lo largo del análisis, se elaboraron registros reflexivos y memorandos analíticos que documentaron las interpretaciones preliminares, las conexiones entre los elementos empíricos y las relaciones con el marco teórico. Estos registros desempeñaron un papel fundamental en la consolidación de los temas finales, funcionando como un instrumento de reflexividad y transparencia metodológica. Los temas analíticos se construyeron a partir de la convergencia de los relatos de los participantes, considerando tanto los elementos comunes como las especificidades contextuales. La definición y la denominación de los temas buscaron reflejar con precisión el contenido empírico analizado, manteniendo la alineación con los objetivos del estudio y el eje temático del trabajo futuro mediado por las tecnologías emergentes.

Finalmente, los resultados se organizaron para destacar las principales barreras a la inclusión digital percibidas por el profesorado de mayor edad, las estrategias de adaptación empleadas y los impactos de estas experiencias en la labor docente actual y futura. Este enfoque analítico garantiza la coherencia entre el diseño metodológico, el procesamiento de datos y las interpretaciones presentadas, respetando los principios de rigor, reflexividad y coherencia inherentes a la investigación cualitativa.

3.4. Consideraciones éticas

La investigación respetó los principios éticos aplicables a los estudios con seres humanos. Todos los participantes fueron informados sobre los objetivos de la investigación, los procedimientos adoptados y la garantía de confidencialidad de la información, tras haber consentido voluntariamente su participación. Se garantizó el anonimato en todas las etapas del estudio, así como en la difusión de los resultados.

4. Resultados principales

La investigación se aplicó a cuatro profesores de la tercera edad de una institución federal de educación superior ubicada en la Amazonia brasileña. Dos de ellos trabajan en el campus principal de la institución y dos fuera del campus. La Tabla 1 presenta los datos sociodemográficos restantes de la muestra.

Tabla 1. Caracterización sociodemográfica de los participantes de la investigación.

Participantes	Edad	Género	Grado	Tiempo de Servicio	Lugar de trabajo
Profesor 1	62 años	masculino	Historia	5 años	campus interior
Profesor 2	62 años	masculino	Química	31 años	campus principal
Profesor 3	66 años	masculino	Ingeniería	42 años	campus principal
Profesor 4	66 años	femenino	Literatura /Artes	10 años	campus interior

Fuente: Elaboración propia con base en datos de entrevistas.

La caracterización sociodemográfica de los participantes destaca, si bien se trata de una muestra pequeña, la diversidad de contextos institucionales y trayectorias profesionales contempladas en el estudio, incluyendo docentes que trabajan en el campus principal y en campus del interior. Se observa la presencia de docentes con una larga trayectoria en el servicio público y una sólida inserción en la carrera académica, lo que refuerza la relevancia del análisis desde la perspectiva del envejecimiento laboral. En este sentido, cabe destacar que los profesores 1 y 4 ya contaban con experiencia docente en la institución antes de incorporarse a la plantilla, trabajando como profesores colaboradores y/o suplentes durante aproximadamente 17 años, en el caso del profesor 1, y 30 años, en el caso del profesor 4. Este perfil contribuyó a la comprensión de las percepciones presentadas en los resultados, ya que las experiencias reportadas reflejan no solo dificultades individuales, sino también transformaciones estructurales asociadas a la digitalización del trabajo docente y las demandas contemporáneas del gobierno digital.

El análisis de las entrevistas nos permitió identificar patrones de respuesta en sus percepciones sobre el gobierno digital, las barreras a la inclusión y sus implicaciones para el trabajo del futuro. Los resultados muestran que, si bien las tecnologías digitales se reconocen como esenciales para el funcionamiento institucional contemporáneo, su implementación ha tenido efectos desiguales, especialmente al considerar las dimensiones generacionales, territoriales y organizacionales.

4.1. Barreras estructurales e institucionales al gobierno digital

Uno de los hallazgos más relevantes se relaciona con las barreras estructurales vinculadas a la implementación del gobierno digital en las actividades diarias del profesorado. Los encuestados reportan que, a pesar de la informatización casi completa de los procesos administrativos y académicos, la provisión de infraestructura institucional adecuada es limitada, especialmente en lo que respecta al suministro de equipos y soporte técnico continuo por parte de la organización. Además, la inestabilidad del sistema y la conexión es recurrente en los informes del profesorado.

En diferentes contextos de actividad, ya sea en la sede de la organización o fuera de ella, se observa el uso recurrente de computadoras personales, software y redes de internet para el desempeño de sus actividades profesionales. Esta práctica indica la transferencia de los costos de la digitalización institucional al propio profesorado, configurando una condición laboral marcada por la responsabilidad individual ante las crecientes demandas organizacionales.

Las desigualdades territoriales también se destacan como un elemento relevante. El profesorado que trabaja fuera de la sede reporta inestabilidad en la conexión, dificultades para acceder a los sistemas institucionales y limitaciones en los recursos tecnológicos en las aulas y laboratorios. Estos hallazgos sugieren que la expansión del gobierno digital en las instituciones federales de educación superior, cuando se separa de las condiciones materiales concretas, tiende a reforzar las asimetrías internas.

4.2. Habilidades digitales y procesos de aprendizaje docente

Otro hallazgo importante se refiere a las competencias digitales requeridas para el profesorado de mayor edad y cómo se desarrollan. Las entrevistas indican que el aprendizaje tecnológico se produce predominantemente de forma informal, reactiva e impulsada por demandas inmediatas, como el uso de plataformas institucionales o sistemas gubernamentales específicos. Es decir, de forma restringida, centrada en el cumplimiento de tareas obligatorias.

Si bien algunos entrevistados demuestran una mayor familiaridad con las tecnologías digitales, especialmente aquellos con experiencia en puestos directivos, se reconoce ampliamente la ausencia de políticas institucionales sistemáticas para una formación continua y pedagógicamente adecuada, como cursos o talleres presenciales secuenciales de corta duración. Los cursos puntuales, excesivamente técnicos o impartidos exclusivamente a distancia, se perciben como insuficientes para satisfacer las necesidades del profesorado de mayor edad, lo que en algunos casos genera frustración, desmotivación y abandono de la formación.

En consecuencia, el uso de plataformas digitales tiende a restringirse a funciones consideradas esenciales, lo que limita la exploración de recursos más avanzados y reduce la autonomía del profesorado ante las crecientes exigencias del trabajo digital. Este escenario pone de relieve una brecha entre la expansión de las tecnologías emergentes y el desarrollo de habilidades alineadas con el trabajo del futuro en el contexto universitario.

4.3. Estrategias informales de afrontamiento y redes de apoyo

Ante las limitaciones estructurales y formativas, el profesorado acaba desarrollando estrategias informales de adaptación para afrontar el gobierno digital. Recurrir a compañeros, personal administrativo, estudiantes y familiares se menciona ampliamente como un mecanismo recurrente para resolver dificultades técnicas y operativas.

Estas redes informales de apoyo, si bien funcionales, revelan una falta de apoyo institucional y canales de formación. Además, la dependencia de terceros implica costes simbólicos y prácticos, los llamados costes ocultos, como la pérdida de autonomía, el aumento del tiempo dedicado a las tareas y, en algunos casos, la sensación de vergüenza asociada a la dificultad de manejar las tecnologías digitales.

Si bien algunos entrevistados replantean estas estrategias como parte de un proceso de aprendizaje continuo, los resultados indican que la normalización del apoyo informal tiende a enmascarar las debilidades institucionales, transfiriendo al individuo las responsabilidades que debería asumir la organización pública.

4.4. Dimensiones emocionales e implicaciones para el futuro del trabajo

Los resultados también demuestran dimensiones emocionales relevantes asociadas a la experiencia de gobernanza digital entre el profesorado de mayor edad. Sentimientos de inseguridad, miedo a cometer errores, desmotivación y fatiga cognitiva emergen en los relatos, especialmente cuando la adaptación tecnológica ocurre sin el apoyo adecuado ni el reconocimiento institucional.

Estos factores emocionales influyen directamente en la percepción del profesorado sobre el trabajo del futuro. Si bien algunos reconocen que la apertura a la innovación y a las tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial, puede facilitar la adaptación profesional, otros expresan temor a una exclusión progresiva ante la intensificación de las demandas digitales.

En este sentido, los resultados sugieren que el trabajo del futuro, en el contexto universitario, depende no solo de la incorporación de tecnologías emergentes, sino también de la construcción de políticas institucionales sensibles a las trayectorias profesionales, el envejecimiento del profesorado y las desigualdades en el acceso y la competencia digital. Sin estas medidas, la gobernanza digital puede comprometer no solo la eficiencia organizacional, sino también el sentido de pertenencia, el reconocimiento y la ciudadanía profesional del profesorado de mayor edad.

5. Conclusiones

Los resultados presentados en este estudio demuestran que la incorporación del gobierno digital en las instituciones federales de educación superior ha tenido impactos ambivalentes en la labor docente, especialmente entre el profesorado universitario de mayor edad. Si bien las TIC se reconocen notablemente como indispensables para el funcionamiento institucional contemporáneo, su implementación ha estado acompañada de barreras estructurales, formativas y emocionales que afectan la inclusión efectiva de estos profesionales en el contexto del trabajo digitalizado.

La evidencia empírica indica que la digitalización de la docencia puede ocurrir sin la adecuada provisión de infraestructura, formación continua y apoyo institucional, lo que resulta en la transferencia de costos materiales y simbólicos al propio profesorado. El uso recurrente de equipos personales, la dependencia de redes informales de apoyo y el aprendizaje tecnológico impulsado por la

necesidad inmediata revelan un modelo de adaptación individual que tiende a ocultar debilidades organizacionales más amplias.

En cuanto a las competencias digitales, el estudio demuestra que la exigencia de actualización tecnológica constante no se acompaña de políticas de formación que tengan en cuenta las trayectorias profesionales y las especificidades del profesorado de mayor edad. La ausencia de estrategias institucionales estructuradas contribuye al mantenimiento de usos restringidos de las plataformas digitales, lo que limita la autonomía del profesorado y amplifica los sentimientos de inseguridad, desmotivación y fatiga cognitiva, lo que respalda la hipótesis de este estudio.

Desde la perspectiva del futuro del trabajo, los hallazgos sugieren que la adopción de tecnologías emergentes en el sector público no puede analizarse únicamente en términos de eficiencia o innovación tecnológica. El futuro del trabajo docente, especialmente en contextos de envejecimiento de la fuerza laboral, depende de la capacidad de las instituciones para articular la digitalización, la inclusión y el reconocimiento profesional. Esto es particularmente cierto en los procesos de formación que consideran el perfil de estos usuarios. Sin este equilibrio, el gobierno digital corre el riesgo de profundizar las desigualdades internas y comprometer el sentido de pertenencia y ciudadanía en el trabajo.

Como contribución, este estudio refuerza la importancia de las políticas de gobierno digital que incorporan un enfoque centrado en el ser humano, considerando las dimensiones generacionales, territoriales y organizacionales del trabajo. La inversión en infraestructura adecuada, formación continua y pedagógicamente contextualizada, y canales de apoyo institucional son fundamentales para que las tecnologías emergentes contribuyan eficazmente a un futuro laboral más inclusivo, sostenible y socialmente justo en las instituciones públicas de educación superior.

Finalmente, se reconoce como una limitación el reducido número de participantes, inherente al carácter exploratorio del estudio. Aun así, los resultados ofrecen perspectivas relevantes para el debate académico e institucional sobre los retos del gobierno digital y el futuro del trabajo, señalando vías para futuras investigaciones que profundicen el análisis en diferentes contextos organizacionales y con otros grupos profesionales. Esto incluye investigaciones centradas en el desarrollo de profesionales de mayor edad para el uso de tecnologías emergentes.

6. Referencias bibliográficas

1. Ahmad, N. A., Abd Rauf, M. F., Mohd Zaid, N. N., Zainal, A., Tengku Shahdan, T. S., & Abdul Razak, F. H. (2022). Effectiveness of instructional strategies designed for older adults in learning digital technologies: A systematic literature review. *SN Computer Science, 3*(2), 130. https://doi.org/10.1007/s42979-022-01016-0

2. Aldiabat, K. M., & Le Navenec, C.-L. (2018). Data saturation: The mysterious step in grounded theory method. *The Qualitative Report, 23*(1), 245–261. https://doi.org/10.46743/2160-3715/2018.2994

3. Almeida, L. M. G., & Faria, E. F. (2024). Governo digital e a nova gestão pública. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*. https://doi.org/10.55905/rcssv16n1-069

4. Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology, 3*(2), 77–101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

5. Bryman, A., Stephens, M., & à Campo, C. (1996). The importance of context: Qualitative research and the study of leadership. *The Leadership Quarterly, 7*(3), 353–370. https://doi.org/10.1016/S1048-9843(96)90027-4

6. Carvalho, D. S., Silva, A. B., Pereira, R. M., & Costa, F. L. (2025). Políticas públicas de inclusão digital em universidades federais: Análise de programas de capacitação para idosos. *Revista DELOS, 18*(45), 112–130. https://doi.org/10.55905/rdelosv18n45-007

7. Choi, N. G., DiNitto, D. M., Marti, C. N., & Choi, B. Y. (2022). Telehealth use among older adults during COVID-19: Associations with sociodemographic and health characteristics, technology device ownership, and technology learning. *Journal of Applied Gerontology, 41*(3), 600–609. https://doi.org/10.1177/07334648211047347

8. Ciesielska, M., Rizun, N., & Chabik, J. (2022). Assessment of e-government inclusion policies toward seniors: A framework and case study. *Telecommunications Policy, 46*(7), 102316. https://doi.org/10.1016/j.telpol.2022.102316

9. Comitê Gestor da Internet no Brasil. (2023). *TIC Domicílios 2023: Pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação nos domicílios brasileiros*. https://cetic.br/pt/publicacao/pesquisa-sobre-o-uso-das-tecnologias-de-informacao-e-comunicacao-nos-domicilios-brasileiros-tic-domicilios-2023/

10. Freitas, V. C. (2023, outubro). *Envelhecimento docente no ensino superior: Desafios e oportunidades na era digital* [Trabalho apresentado]. XXVI Seminários em Administração (SEMEAD), Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

11. Guest, G., Namey, E., & Chen, M. (2020). A simple method to assess and report thematic saturation in qualitative research. *PLOS ONE, 15*(5), e0232076. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232076

12. Harvey, M., Hastings, D. P., & Chowdhury, G. (2021). Understanding the costs and challenges of digital exclusion through UK municipal services. *Journal of Information Science, 49*(5), 1153–1167. https://doi.org/10.1177/01655515211040664

13. Hennink, M. M., Kaiser, B. N., & Marconi, V. C. (2022). Code saturation versus meaning saturation: How many interviews are enough? *Qualitative Health Research, 27*(4), 591–608. https://doi.org/10.1177/1049732316665344

14. Kebede, A. S., Ozolins, L.-L., Holst, H., & Galvin, K. (2022). Digital engagement of older adults: Scoping review. *Journal of Medical Internet Research, 24*, e40192. https://doi.org/10.2196/40192

15. Keržič, D., Danko, M., Zorko, V., & Dečman, M. (2021). The effect of age on higher education teachers' ICT use. *Knowledge Management & E-Learning, 13*(2), 182–193. https://doi.org/10.34105/j.kmel.2021.13.010

16. Lakatos, E. M., & Marconi, M. de A. (2017). F*undamentos de metodologia científica* (8ª ed.). Atlas.

17. Liva, G., Fedotova, O., Alvino, L., & Mihailescu, M. I. (2020, September 23–25). Exploring digital government transformation: A literature review. *In Proceedings of the 13th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance* (pp. 502–509). https://doi.org/10.1145/3428502.3428578

18. Mascarenhas, A. O., Vasconcelos, F. C., & Vasconcelos, I. F. G. (2005). Impactos da tecnologia na gestão de pessoas: Um estudo de caso. *Revista de Administração Contemporânea, 9*(1), 125–147. https://doi.org/10.1590/S1415-65552005000100007

19. Paes, W. da S., & Oliveira, D. G. de. (2025). Inclusão digital: Um desafio para a implantação do governo digital no Brasil. *Observatorio de la Economía Latinoamericana, 23*(4), e9636. https://doi.org/10.55905/oelv23n4-128

20. Ragnedda, M. (2022). The self-reinforcing effect of digital and social exclusion. *Telecommunications Policy, 46*(9), 102334. https://doi.org/10.1016/j.telpol.2022.102334

21. Rasi-Heikkinen, P. (2023). Older adults and digital inclusion: A critical perspective. *Educational Gerontology, 49*(12), 1097–1109. https://doi.org/10.1080/03601277.2023.2205743

22. Rezende, E. J. C., & Campos, C. F. (2023). Inclusão digital e envelhecimento: Uma abordagem centrada no humano e social pelo design. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos, 121*, 101–117. https://doi.org/10.18682/cdc.vi121.9375

23. Schirmer, M. (2023). Educational concepts of digital competence development for older adults—A systematic review. *Frontiers in Education, 8*, 1034114. https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1034114

24. Seifert, A., Cotten, S. R., & Xie, B. (2021). A double burden of exclusion? Digital and social exclusion of older adults in times of COVID-19. *The Journals of Gerontology: Series B, 76*(3), e99–e103. https://doi.org/10.1093/geronb/gbaa098

25. Silva, A. J. da. (2025). Inclusão digital e acessibilidade como direitos fundamentais na sociedade da informação. *RECIMA21, 6*(1), e615421. https://doi.org/10.47820/recima21.v6i1.5421

26. Silva, G. A. C. da. (2024). A implantação do governo digital no Brasil: Avanços e obstáculos. *Revista Pensamento Jurídico, 18*(2), 45–67.

27. Tondeur, J., Trevisan, O., Howard, S. K., & van Braak, J. (2025). Preparing preservice teachers to teach with digital technologies: An update of effective SQD-strategies. *Computers & Education, 232*, 105262. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2025.105262

28. Vercruyssen, A., Van Dijck, J., De Wachter, L., & Scifo, L. (2023). How "basic" is basic digital literacy for older adults? Insights from a Belgian training initiative. *Frontiers in Education, 8*, 1231701. https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1231701

29. World Economic Forum. (2025). *The future of jobs report 2025*. https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/

ENTRE LA INNOVACIÓN Y LA INSEGURIDAD: CÓMO LOS FUNCIONARIOS PÚBLICOS ENTIENDEN LOS CAMBIOS TECNOLÓGICOS EN SU TRABAJO.

BETWEEN INNOVATION AND INSECURITY: HOW PUBLIC OFFICIALS UNDERSTAND TECHNOLOGICAL CHANGES IN THEIR WORK.

Nicolly de Almeida Maciel[1], Lívia Elce Magalhães Gouveia[1], Lucas de Oliveira Melo[1], Bruno Rafael Días de Lucena Último[1]

[1]*Programa de Posgrado en Administración, Universidad Federal de Pará, Brasil (Nicolly de Almeida Maciel, nicolly.maciel@icsa.ufpa.br, Lívia Elce Magalhães Gouveia, livia.gouveia@icsa.ufpa.br; Lucas de Oliveira Melo, melo.lucas@icsa.ufpa.br; Bruno Rafael Días de Lucena Último, brunolucena@ufpa.br)*

https://doi.org/10.17613/smhtw-mz954

Resumen

Este capítulo investigó las percepciones de los funcionarios públicos sobre los cambios generados por la transformación digital. A partir de entrevistas estructuradas con cinco empleados y un análisis temático con Atlas.ti, se identificaron percepciones ambivalentes: las mejoras en la eficiencia coexisten con la inseguridad, las dificultades de adaptación y la falta de capacitación. Utilizando la Teoría de la Autodeterminación, se observó que la autonomía, la competencia y las relaciones se ven directamente afectadas por la digitalización. La transformación también redefine la identidad profesional, desplazando las tareas operativas hacia funciones analíticas. Se concluye que la sostenibilidad del proceso requiere capacitación continua, una comunicación fluida y entornos colaborativos.

Palabras clave: Transformación digital; Empleado; Tecnologías emergentes; Teoría de la autodeterminación.

Abstract:

This chapter investigated public officials' perceptions of the changes brought about by digital transformation. Through structured interviews with five employees and a thematic analysis using Atlas.ti, ambivalent perceptions were identified: improvements in efficiency coexist with insecurity, difficulties adapting, and a lack of training. Using Self-Determination Theory, it was observed that autonomy, competence, and relationships are directly affected by digitalization. The transformation also redefines professional identity, shifting operational tasks toward analytical functions. It is concluded that the sustainability of the process requires continuous training, fluid communication, and collaborative environments.

Keywords: Digital Transformation; Public Servant; Emerging Technologies; Self-Determination Theory.

1. INTRODUCCIÓN

Las recientes transformaciones tecnológicas han impactado profundamente la dinámica laboral en todos los sectores de la sociedad, generando nuevas formas de organización, interacción y desempeño profesional (Parry y Battista, 2023). En la administración pública, este fenómeno se manifiesta con especial intensidad, ya que las innovaciones digitales alteran tanto los procesos burocráticos tradicionales como la relación entre el Estado y la ciudadanía (Koerich et al. 2024).

La digitalización, la inteligencia artificial (IA), la automatización y otras tecnologías emergentes están transformando el trabajo público, presentando desafíos relacionados con la adaptación, la cualificación y el bienestar de los servidores públicos (Hinks, 2024). El Informe sobre el Futuro del Trabajo en el Sector Público (CITRIS y el Instituto Banatao, 2024) destaca que la transformación digital no debe limitarse a la simple implementación de herramientas tecnológicas, sino que debe ir acompañada de estrategias de gestión y formación que garanticen la sostenibilidad de los cambios. Esta visión converge con la de Ciancarini et al. (2023), quienes señalan la necesidad de una infraestructura tecnológica robusta, datos interoperables, competencias digitales consolidadas y modelos de trabajo más ágiles y colaborativos en las administraciones públicas.

Sin embargo, los avances tecnológicos producen no solo efectos estructurales, sino también subjetivos. Investigaciones recientes demuestran que la introducción de tecnologías emergentes puede generar sentimientos de ansiedad, inseguridad o resistencia entre los trabajadores, especialmente cuando existe una percepción de pérdida de control o riesgo de reemplazo por sistemas automatizados (Hinks, 2024). En un estudio realizado en 25 países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), Hinks (2024) observó que los trabajadores que experimentan el uso de nuevas tecnologías de forma negativa o temen ser reemplazados por IA presentan menores niveles de bienestar y mayor preocupación por el futuro del trabajo. Estos hallazgos refuerzan la importancia de comprender la dimensión perceptual de las transformaciones tecnológicas, considerando no solo los indicadores de productividad, sino también las experiencias y emociones de quienes las experimentan en su vida profesional diaria.

En el contexto latinoamericano, los efectos de la digitalización en el sector público están comenzando a recibir mayor atención. El estudio de Koerich et al. (2024), realizado en un órgano legislativo estatal brasileño, muestra que la implementación del Sistema Electrónico de Información (SEI) generó impactos significativos en la eficiencia administrativa, la transparencia y la satisfacción de los empleados. Aun así, los autores señalan la necesidad de investigar más a fondo las percepciones de los trabajadores del sector público sobre estos cambios, especialmente en lo que respecta a la identidad profesional, la autonomía y el dominio de las nuevas herramientas tecnológicas.

Esta brecha analítica cobra relevancia considerando que la mayoría de los estudios sobre innovación en el sector público aún se centran en los resultados institucionales, relegando las experiencias y expectativas de los empleados a un segundo plano (Koerich et al., 2024). En este contexto, Parry y Battista (2023) destacan que las tecnologías emergentes, como la IA, la robótica y los algoritmos predictivos, transforman el trabajo en dimensiones que van más allá de la productividad, afectando los procesos de aprendizaje, las interacciones sociales y la percepción del valor personal en el entorno laboral.

Según Parry y Battista (2023), el rol del servidor público está en un proceso de redefinición, en el que las habilidades digitales, la adaptabilidad y la resiliencia se vuelven esenciales. Desde una perspectiva organizacional, estos cambios implican una transición de estructuras jerárquicas rígidas a modelos más horizontales, basados en datos, respaldados por una cultura de innovación continua (Ciancarini et al., 2023).

En este contexto, surge el siguiente problema: ¿cómo perciben los servidores públicos las transformaciones actuales y futuras en su trabajo derivadas de la adopción y el desarrollo de tecnologías emergentes? Comprender esta percepción es fundamental para anticipar los desafíos humanos y organizacionales asociados con la digitalización del sector público. El objetivo general de esta investigación es comprender la percepción de los servidores públicos respecto a los cambios en su desempeño profesional provocados por la adopción y el desarrollo de tecnologías emergentes.

Como objetivos específicos se propone: I) Identificar las tecnologías emergentes actualmente implementadas o en proceso de adopción en las instituciones públicas; II) Analizar las percepciones de los empleados respecto a los impactos de estas tecnologías en sus rutinas, autonomía y sentido de propósito en su trabajo; III) Examinar los sentimientos de inseguridad, adaptación o entusiasmo asociados a la digitalización y automatización de actividades; y IV) Discutir las implicaciones de estas percepciones para la gestión pública y para el desarrollo de futuras habilidades digitales.

Este capítulo parte de la premisa de que la transformación digital en el sector público no se limita a la adopción de herramientas tecnológicas, sino que implica cambios profundos en las formas de trabajo, las competencias requeridas y las experiencias subjetivas de los servidores públicos. Asimismo, considera que dichos cambios, si bien pueden promover la eficiencia y la innovación, pueden generar tensiones relacionadas con la adaptación, la competencia técnica, la autonomía y el bienestar laboral. Por lo tanto, se asume que los servidores públicos experimentan este proceso de forma heterogénea, combinando percepciones de oportunidad y progreso con sentimientos de inseguridad, ansiedad o resistencia.

Metodológicamente, se trata de una investigación cualitativa, basada en entrevistas con servidores públicos, cuyo propósito es capturar las experiencias, significados y representaciones que construyen ante los procesos de innovación tecnológica. Este enfoque busca dar voz a los sujetos del proceso de cambio, ofreciendo evidencia empírica que complementa los estudios cuantitativos y contribuye a una comprensión más amplia y humanizada de la transformación digital del trabajo público (Hinks, 2024).

Esta propuesta busca contribuir al debate sobre el futuro del trabajo en la administración pública, ofreciendo una perspectiva que integra la eficiencia tecnológica y la experiencia humana. El estudio complementa la literatura internacional al situar el análisis en el contexto latinoamericano, donde los desafíos en infraestructura, capacitación y cultura organizacional son particularmente significativos, y donde comprender las percepciones de los servidores públicos es esencial para la formulación de políticas públicas más inclusivas y sostenibles (CITRIS y el Instituto Banatao, 2024).

Para contextualizar mejor la investigación, este estudio adoptará la Teoría de la Autodeterminación (SDT) como perspectiva teórica principal. Desarrollada por Deci y Ryan (2000), la SDT postula que la motivación y el bienestar de las personas se optimizan cuando se satisfacen tres necesidades

psicológicas básicas: autonomía, competencia y conexión social. Esta perspectiva, en el contexto de la transformación digital en el servicio público, permite analizar cómo los cambios tecnológicos impactan estas necesidades, influyendo consecuentemente en la percepción, adaptación y compromiso de los servidores públicos, profundizando la comprensión de los aspectos humanos de la innovación, yendo más allá de la mera eficiencia operativa (Deci et al., 2017).

El estudio se organiza de la siguiente manera: la introducción presenta el contexto y los objetivos; el marco teórico discute las tecnologías emergentes y el servicio público; la metodología describe los procedimientos de recolección y análisis de datos; después se presentan y discuten los resultados; y las consideraciones finales recogen contribuciones, limitaciones y sugerencias para futuras investigaciones, seguidas de las referencias.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Transformación digital en el sector público

La transformación digital en el sector público representa un cambio profundo en la forma en que el Estado organiza y ofrece sus servicios, reconfigurando procesos, competencias y cultura institucional (Rojak, 2025). A diferencia de la simple informatización, se basa en tecnologías emergentes como la inteligencia artificial, la automatización, el big data y la interoperabilidad de datos (Viana, 2024). Esta transformación exige una revisión de los modelos de gestión y las prácticas organizativas, superando la lógica burocrática tradicional y acercando al sector público a estructuras más ágiles y colaborativas (Rojak, 2025).

Según Ciancarini et al. (2023), una digitalización exitosa requiere una infraestructura tecnológica sólida, datos interoperables y servidores capacitados. CITRIS y el Instituto Banatao (2024) enfatizan que la tecnología debe ir acompañada de capacitación continua y estrategias de gestión que impulsen el cambio. Por lo tanto, la transformación digital no debe verse como un fin en sí misma, sino como un medio para generar valor público, eficiencia y confianza ciudadana en las instituciones (Viana, 2024).

Parry y Battista (2023) señalan que tecnologías como la inteligencia artificial y la automatización modifican el trabajo público en dimensiones que van más allá de la productividad, afectando la autonomía, el aprendizaje y el bienestar. Hinks (2024) refuerza que comprender la transformación digital implica analizar sus efectos subjetivos en los servidores públicos. Por lo tanto, la transición tecnológica exige líderes capaces de promover la innovación, gestionar la resistencia y garantizar el uso ético e inclusivo de las nuevas herramientas (CITRIS y el Instituto Banatao, 2024).

En el contexto latinoamericano, organizaciones como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) promueven políticas de gobierno digital orientadas a la modernización administrativa y la inclusión social (BID, 2023). En Brasil, iniciativas como la Estrategia de Gobierno Digital 2020-2025 y la plataforma Gov.br han avanzado en la centralización de servicios, pero aún enfrentan desafíos en la integración de sistemas y la capacitación del personal (Lima, 2025). Luciano et al. (2024) y Barros Júnior et al. (2022) observan que, si bien existen mejoras en eficiencia y transparencia, muchas instituciones abordan la transformación digital únicamente como la informatización de procesos, sin un cambio cultural efectivo.

Escobar et al. (2023) identifican cuatro ejes esenciales para el éxito de la transformación digital: infraestructura tecnológica, gobernanza y estrategia, cultura organizacional y empoderamiento de las personas. Entre estos, la cultura institucional representa el mayor desafío, ya que la tecnología se puede adquirir rápidamente, pero cambiar de mentalidad requiere tiempo y liderazgo. Esta perspectiva coincide con la de Viana (2024), quien considera que la verdadera transformación digital ocurre cuando se produce una reconfiguración de valores y procesos, consolidando una gestión pública orientada a los datos y la experiencia del usuario.

Por lo tanto, la literatura contemporánea sobre la transformación digital en el sector público coincide en la idea de que el éxito de las iniciativas depende no solo de la disponibilidad tecnológica, sino también de la capacidad institucional y humana para absorber, adaptar y reinventar las prácticas. Las administraciones que entienden la transformación digital como un proceso continuo y centrado en las personas tienden a generar resultados más sostenibles, tanto en eficiencia como en bienestar organizacional. En el contexto brasileño y latinoamericano, comprender la percepción de los funcionarios públicos sobre estas transformaciones es esencial para orientar políticas públicas más inclusivas, fortalecer la gobernanza digital y consolidar un modelo de administración pública que integre la innovación tecnológica y la experiencia humana.

2.2. Percepciones y desafíos de los empleados respecto a las innovaciones tecnológicas

Los servidores públicos ocupan una posición estratégica en la transformación digital, ya que son quienes traducen las innovaciones tecnológicas en prácticas administrativas y servicios para la ciudadanía (Iong y Phillips, 2023). Sin embargo, la forma en que perciben estos cambios influye el ritmo y la calidad de la adopción tecnológica; desde esta perspectiva, los estudios indican que, si bien muchos servidores públicos reconocen los beneficios de las nuevas herramientas, la transición a entornos digitales aún está marcada por sentimientos de inseguridad, resistencia y desconfianza (Iong y Phillips, 2023).

Gran parte de esta resistencia se asocia con la cultura organizacional del sector público, históricamente marcada por la estabilidad y la adherencia a rutinas establecidas. En contextos donde la innovación se percibe como una imposición jerárquica y no como una oportunidad de mejora, suele haber menos compromiso y entusiasmo (Iong y Phillips, 2023). La falta de capacitación adecuada y el temor a perder autonomía o relevancia ante los sistemas automatizados intensifican este sentimiento (Syed et al., 2023).

Por otro lado, las investigaciones indican que la aceptación crece cuando los empleados perciben beneficios tangibles, como reducción de tareas repetitivas, mayor eficiencia y la posibilidad de dedicarse a actividades más estratégicas; la experiencia práctica tiende a reducir la ansiedad y aumentar la sensación de dominio sobre los procesos, por lo que la familiaridad y la capacitación emergen para transformar la percepción de amenaza en oportunidad (Ahn & Chen, 2022).

Sin embargo, se percibe un desafío significativo en cuanto a la ética y el bienestar en el uso de tecnologías avanzadas. Hai et al. (2025) advierten que el uso intensivo de la IA en la toma de decisiones

puede generar desapego emocional y una sensación de alienación laboral si no existen límites claros y una gestión ética.

Superar estas barreras requiere más que infraestructura: exige una comunicación clara sobre los objetivos de los cambios, capacitación continua y un entorno institucional que valore el aprendizaje (Ribeiro y Segatto, 2025). En este sentido, el liderazgo participativo es esencial, transformando la innovación en un proceso colectivo y no en una imposición, en el caso brasileño, estos aspectos cobran aún más relevancia dadas las desigualdades en infraestructura y desarrollo de capacidades entre las diferentes esferas gubernamentales (Ribeiro y Segatto, 2025; Brito et al., 2025).

2.3. Identidad y rol de los servidores públicos en la era digital

Algunas de las características más antiguas de la Administración Pública son la previsibilidad, la estabilidad y la uniformidad procesal (Rojak, 2025); sin embargo, la Era Digital marcó un hito importante en la transformación de la administración pública (Lima, 2024). En este contexto, los gobiernos muestran un creciente interés en las reformas administrativas, y en el corazón de esta burocracia ágil reside la redefinición de la identidad de los profesionales. Al fin y al cabo, el objetivo es implementar modelos que prioricen la agilidad y el diseño centrado en el ser humano, lo que pone de relieve la necesidad de considerar la evolución de los roles y las expectativas de los servidores públicos (Rojak, 2025).

En este sentido, el rol de los agentes públicos cambia, ya que dejan de ser meros operadores de procedimientos fijos y se involucran en la resolución colaborativa de problemas, la interacción ágil y el aprendizaje adaptativo (Rojak, 2025). Esto se debe a que la transformación digital altera diversas funciones, lo cual puede deberse a la introducción de innovación mediante una nueva herramienta que apoya o agiliza las funciones desempeñadas por este actor público, así como a la modificación o eliminación de procesos derivada de la automatización de tareas (Schwartz, 2021).

Por lo tanto, la innovación tecnológica exige que los empleados se adapten a un nuevo modelo de trabajo, con nuevos procesos, herramientas y tareas (Porruá et al., 2021). Roseth et al. (2021) destacan que esta innovación puede traer cambios significativos al empleo público, potencialmente alterando tareas, creando nuevas funciones o evolucionando actividades existentes, permitiendo la automatización de parte del servicio, posibilitando que los empleados se dediquen a tareas más complejas o servicios personalizados. Los autores enfatizan, sin embargo, que es a través de la capacitación que los agentes tendrán mayor facilidad de adaptación e incorporación de estas tecnologías, reduciendo la resistencia a la implementación de estas innovaciones.

2.4. La teoría de la autodeterminación y la transformación digital en el trabajo

La Teoría de la Autodeterminación (SDT) ofrece un marco conceptual para analizar cómo las innovaciones tecnológicas impactan la experiencia subjetiva de los servidores públicos. La SDT distingue

entre la motivación autónoma y la motivación controlada, e identifica tres necesidades psicológicas básicas: autonomía, competencia y afinidad, cuya satisfacción es crucial para el bienestar laboral (Deci et al., 2017; Van den Broeck et al., 2016). Esta teoría ayuda a comprender por qué ciertas intervenciones digitales promueven la participación, mientras que otras generan inseguridad, alienación o resistencia (Deci y Ryan, 2000; Deci et al., 2017).

Una de las principales contribuciones de la SDT al estudio de las tecnologías emergentes es la atención al concepto de autonomía: cuando los empleados perciben que la tecnología reduce su capacidad de decisión o su sentido de autonomía, aumentan los sentimientos de inseguridad y desvalorización profesional. Van den Broeck et al. (2016) destacan que las prácticas organizacionales percibidas como controladoras frustran la necesidad de autonomía y reducen el compromiso de los empleados. Por lo tanto, investigaciones recientes muestran que las intervenciones que preservan la participación, la capacitación reduce la percepción de amenaza y favorecen la internalización de las nuevas prácticas digitales (Gagné et al., 2022).

Según la SDT, la necesidad de competencia indica que los empleados necesitan dominar las herramientas técnica y cognitivamente para que su adopción se considere una oportunidad y no un riesgo. Por lo tanto, la literatura aplicada al sector público señala que los programas de capacitación, las experiencias de uso asistido y la retroalimentación constructiva son mediadores importantes entre la introducción de sistemas y la percepción positiva de los empleados. (Demircioglu y Chen, 2019).

La tercera necesidad es la conexión, lo que implica que la transición no es solo técnica, sino también social: los entornos organizacionales que fomentan vínculos de apoyo, la cooperación, el intercambio de conocimientos y la escucha activa reducen el aislamiento y promueven la aceptación y la resiliencia ante el cambio (Van den Broeck et al., 2016). En el contexto de la administración pública, el apego a rutinas sólidas influye en la receptividad, las estrategias participativas y los diálogos son fundamentales para que la innovación se perciba como un proceso colectivo y no como una imposición (Deci et al., 2017).

3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación adopta un enfoque cualitativo, cuyo objetivo es comprender las percepciones y experiencias de los servidores públicos respecto a los cambios en su desempeño profesional derivados de la adopción y el desarrollo de tecnologías emergentes. Como señala Lim (2025), la investigación cualitativa permite profundizar en los matices de la experiencia y la perspectiva humanas, captando contextos y detalles que a menudo se pierden al adoptar un enfoque exclusivamente numérico.

La recopilación de datos se realizó mediante entrevistas estructuradas, siguiendo un guión diseñado para recopilar únicamente información específica (Silva et al., 2021). El uso de este método se justifica al proporcionar una sólida base teórica para la selección de este tipo de entrevista, lo que demuestra su idoneidad para estudios que buscan comprender las percepciones y experiencias individuales.

El público objetivo de esta investigación son los servidores públicos que trabajan en áreas directamente afectadas por la implementación de tecnologías emergentes. La muestra, seleccionada intencionalmente, consistió inicialmente en cinco servidores públicos seleccionados por conveniencia, considerando su experiencia y relevancia para el tema de estudio. Por lo tanto, la técnica de muestreo adoptada es no probabilística e intencional, idónea para estudios cualitativos exploratorios.

Cada entrevista constó de seis preguntas estructuradas, desarrolladas con base en el objetivo central de la investigación y el marco teórico, y se realizaron de forma presencial e individual, asegurando una atención exclusiva a cada colaborador y promoviendo un ambiente propicio para la expresión sincera de opiniones.

Antes de su implementación, el cuestionario se sometió a pruebas previas, tanto con inteligencia artificial como con cuatro personas, entre el 8 y el 13 de noviembre, para evaluar la claridad de las preguntas, la adecuación del tiempo de aplicación y la comprensión de las instrucciones. Se determinó que el tiempo promedio de cada entrevista sería de aproximadamente 10 minutos, lo que permitió una planificación adecuada de la logística de la recolección de datos.

Todas las entrevistas se grabaron entre el 14 y el 18 de noviembre mediante una aplicación móvil en un teléfono celular Apple 15 Pro Max y posteriormente se transcribieron con el software de transcripción instantánea de Google, lo que garantiza la precisión de la información. Para el procesamiento y análisis de datos, se utilizó el sistema Atlas.TI, versión 9.1, que permitió el cruce y la triangulación de la información recopilada.

La fuente de información es un departamento gubernamental de un municipio del sureste de Pará, considerado estratégico para el estudio, ya que reúne a funcionarios que experimentan directamente el impacto de las tecnologías emergentes en la administración pública. La elección de este departamento permite obtener datos completos y contextualizados, alineados con el objetivo de la investigación, lo que garantiza la relevancia práctica y la aplicabilidad de los resultados en la planificación y gestión de las tecnologías en la administración pública.

La población de la Secretaría está compuesta por 68 empleados; sin embargo, 18 fueron excluidos por no cumplir con los criterios metodológicos definidos en la Tabla 1 a continuación, que estipulaba la participación sólo de empleados que trabajan en la Secretaría y que utilizan herramientas tecnológicas en el desempeño de sus funciones. Por lo tanto, se excluyeron los guardias de seguridad, los asistentes de servicios generales y los empleados en comisión de servicio y transferidos, ya que no tenían una relación directa con el fenómeno en investigación. Esta decisión metodológica se basa en tres pilares teóricos: (1) según Robinson (2014), la selección debe adherirse al principio de adecuación teórica, incluyendo sólo sujetos capaces de proporcionar información relevante alineada con el objeto de investigación; (2) según Moser y Korstjens (2018), la investigación cualitativa debe priorizar a los participantes cuya experiencia sea útil, rica y directamente relacionada con el fenómeno estudiado, asegurando la profundidad analítica; y (3) según Patino y Ferreira (2018), los criterios de inclusión y exclusión deben estar claramente establecidos para garantizar la coherencia metodológica, la validez interna y la consistencia de los datos. De esta forma, quedó una población de 50 trabajadores, de los cuales 5 fueron seleccionados como muestra por cumplir plenamente los criterios definidos, representando el 10% del total de elegibles.

Tabla. 1Criterios de inclusión y exclusión para la participación

Criterios de inclusión	Descripción
(a) Empleado asignado y que trabaja en la Secretaría durante el período de investigación	Deberán estar desempeñando sus funciones en la Secretaría al momento de la recolección.
(b) Realizar tareas utilizando sistemas, plataformas digitales, archivos electrónicos o herramientas tecnológicas	Debes utilizar herramientas tecnológicas en tus rutinas de trabajo.
(c) Participar en actividades impactadas por tecnologías emergentes que se estén implementando o utilizando.	Debe involucrarse en los procesos alterados por la adopción de nuevas tecnologías.
Criterios de exclusión	**Descripción**
(a) No realizar actividades relacionadas con el uso de herramientas tecnológicas	Guardias de seguridad, asistentes de servicios generales, conductores y roles operativos.
(b) No actuar directamente en la Secretaría durante la recaudación	Funcionarios públicos adscritos o transferidos a otros organismos.
(c) No realizar actividades que impliquen interacción, toma de decisiones u operación en sistemas digitales	Funciones no relacionadas con procesos tecnológicos o digitales.

La planificación y ejecución de la recopilación de datos se realizó siguiendo un cronograma que incluyó las etapas de planificación, preprueba y recopilación de datos. Esta organización permite que cada etapa se lleve a cabo de manera eficiente y dentro del plazo previsto, garantizando así la calidad y la consistencia de los resultados (Gil, 2002).

Posteriormente, los datos fueron organizados y preparados para su análisis, incluyendo transcripción completa, codificación inicial y categorización temática, con el objetivo de identificar patrones y escenarios significativos respecto a la percepción de los colaboradores frente a los cambios tecnológicos.

Mediante el sistema Atlas.TI, se desarrollaron ocho códigos para un mejor análisis de datos, definidos según la frecuencia con la que los participantes los repitieron. Esto resultó en los siguientes códigos: autonomía; barreras; capacitación; competencias; herramientas; gestión y liderazgo; relación; y transformación digital, en orden alfabético.

4. RESULTADOS PRINCIPALES

La transformación digital ha transformado rápidamente el trabajo público, exigiendo adaptación, nuevas habilidades y una revisión de las prácticas tradicionales (Ciancarini et al., 2023; Parry y Battista, 2023). Si bien las tecnologías emergentes aumentan la eficiencia y automatizan las rutinas, sus efectos dependen principalmente de cómo los funcionarios públicos experimentan estos cambios en su vida diaria, lo que influye en su motivación, autonomía y bienestar (Hinks, 2024; CITRIS y Banatao Institute, 2024). Por lo tanto, comprender las percepciones de los trabajadores se vuelve esencial para orientar procesos de capacitación, liderazgo y gobernanza digital que se ajusten mejor a las necesidades reales de la administración pública (Koerich et al., 2024).

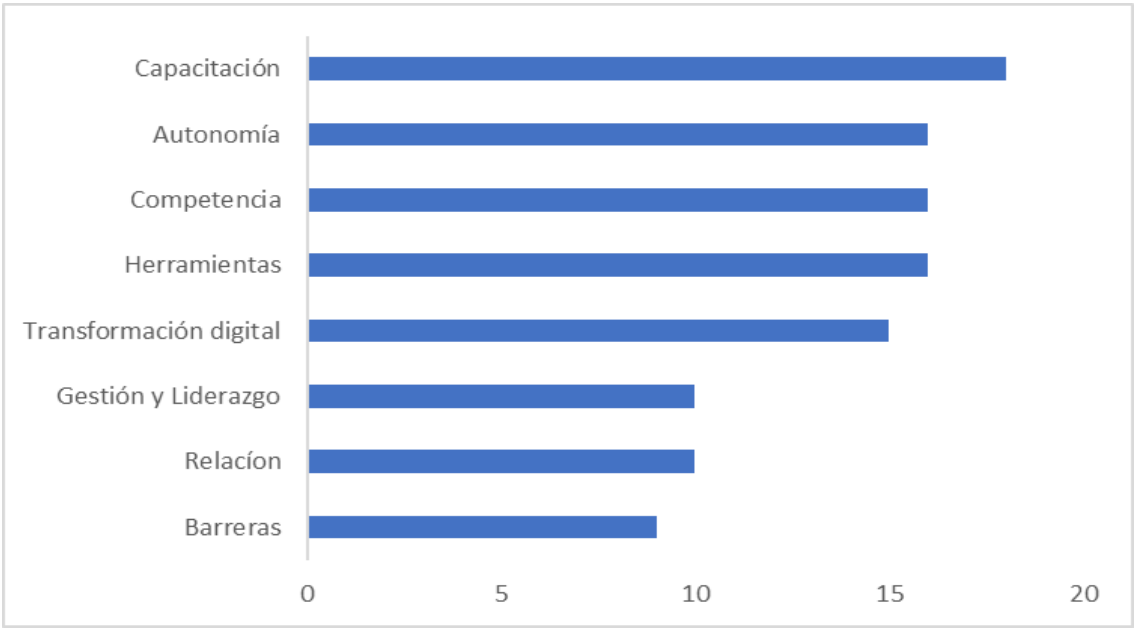
Para este propósito, el guion de entrevista estructurada de este estudio se organizó en temas que exploran factores de la transformación digital, como las condiciones institucionales, los desafíos de adaptación, el desarrollo profesional y el apoyo organizacional. La Tabla 2 a continuación resume estas preguntas, permitiendo visualizar los temas centrales investigados en la investigación.

Tabla 2. Áreas temáticas y preguntas para el guion de la entrevista

Eje temático	Preguntas de guión	Resumen del enfoque de la pregunta
1. Condiciones para el éxito de la transformación digital	**1)** ¿Qué factores considera usted más relevantes para el éxito de la transformación digital en su institución?	Identifica elementos estructurales, culturales y organizacionales que facilitan la transformación digital.
2. Redefinir el papel del funcionario público	**2)** ¿Cómo percibes los cambios en el rol de los servidores públicos ante las transformaciones digitales?	Busca comprender las transformaciones de identidad, funciones estratégicas y nuevas habilidades.
3. Desafíos de la adaptación y la experiencia cotidiana	**3)** ¿Cuáles han sido los principales retos en la adaptación a las nuevas herramientas y procesos digitales?	Identifica dificultades prácticas, emocionales y de carga laboral.
4. Significado e impacto de la formación	**4)** ¿Cómo contribuye la capacitación a reducir la resistencia de los empleados a adoptar nuevas tecnologías?	Explora la influencia de la educación en la aceptación, la autonomía y el dominio técnico.
5. Desarrollo profesional y experiencia técnica	**5)** ¿Cómo ha contribuido (o no) el uso de herramientas digitales a tu desarrollo profesional y sensación de dominio?	Evalúa el impacto subjetivo, la autoconfianza, el crecimiento y la inseguridad.
6. Apoyo organizativo y colaboración	**6)** ¿Cómo ha sido el apoyo entre compañeros y líderes durante este proceso?	Investiga el apoyo institucional, el intercambio de experiencias y la cooperación en el proceso de transformación.

Esta sección analiza los hallazgos empíricos del informe, exportado del software utilizado, desarrollado a partir de la codificación de entrevistas realizadas a servidores públicos. El informe incluye códigos y extractos seleccionados (quotations) que sintetizan percepciones, experiencias y desafíos relacionados con la adopción de tecnologías digitales en el ámbito laboral. A partir de este material, es posible identificar patrones discursivos, tensiones y significados atribuidos a las innovaciones tecnológicas, que se discuten aquí a la luz del marco teórico presentado previamente. La Figura 1 a continuación muestra los códigos utilizados en el software y el número de veces que cada código fue citado por los entrevistados:

Figura 1. Códigos utilizados y sus repeticiones.



El uso de una nube de palabras en la Figura 2 contribuye a la visualización preliminar de los patrones discursivos presentes en las entrevistas, lo que permite la rápida identificación de los términos que emergen con mayor intensidad en el discurso de los empleados. Este tipo de recursos visuales facilita la comprensión general de las percepciones y refuerza la etapa exploratoria del análisis cualitativo antes de la interpretación en profundidad, complementando así los códigos generados por el software. Este enfoque coincide con la perspectiva de Escobar et al. (2023), para quienes los métodos visuales fortalecen el análisis interpretativo en la investigación sobre transformación digital al destacar dimensiones recurrentes en la experiencia de los trabajadores.

Figura 2. Nube de palabras generada por software de entrevistas.



4.1La transformación digital percibida por los empleados: avances, limitaciones o ambivalencias

Los datos codificados en el instrumento de análisis muestran que los empleados reconocen la importancia de la transformación digital para mejorar la eficiencia administrativa. Al mismo tiempo, destacan cómo las tecnologías emergentes ya incorporadas a la vida cotidiana, como los sistemas digitales, la automatización y las herramientas de inteligencia artificial, configuran el escenario actual de adopción tecnológica en las instituciones. Códigos como la transformación digital, la autonomía y las herramientas aparecen vinculados a percepciones positivas, reflejadas en afirmaciones como "los sistemas digitales han agilizado el flujo de trabajo" (ENT2) y "se ha facilitado la localización de documentos" (ENT3). Esta tendencia confirma los análisis de Viana (2024) y Ciancarini et al. (2023), según los cuales la digitalización reorganiza las actividades y fortalece el principio de eficiencia al reducir las repeticiones de trabajo y aumentar la trazabilidad de los procesos.

Al mismo tiempo, surgen limitaciones y tensiones relacionadas con la adaptación continua y el dominio de las herramientas. La constante actualización tecnológica se presenta como una fuente de inseguridad y agotamiento, como lo demuestran citas como "cuando nos adaptamos, la interfaz ya cambia" (ENT4) y "tenemos que seguir el ritmo del cambio y no podemos perdernos" (ENT3). Estas percepciones refuerzan la existencia de barreras estructurales para la transformación digital, especialmente cuando existe una falta de integración entre sistemas, como lo analizan Iong y Phillips (2023) y Syed et al. (2023).

Los hallazgos también indican que la transformación digital depende de las condiciones institucionales y humanas, y no solo de la disponibilidad de herramientas tecnológicas. Esta interpretación coincide con el argumento de Rojak (2025) y Escobar et al. (2023), para quienes la infraestructura tecnológica, la gobernanza y la estrategia, la cultura organizacional y la capacitación del personal constituyen pilares esenciales del proceso. Sin estos factores, los beneficios de la tecnología tienden a ser limitados o desiguales.

La Tabla 3 resume las citas de las entrevistas y muestra cómo estos factores se manifiestan en la vida diaria de los empleados. Las afirmaciones indican que el avance de las herramientas digitales, incluida la inteligencia artificial, genera beneficios concretos, pero exige formación continua, apoyo institucional y apertura a la revisión de las prácticas laborales.

La presencia de dudas, resistencia y la necesidad de colaboración entre colegas confirman que la cultura organizacional sigue siendo el principal desafío para la consolidación de la transformación digital. Viana (2024) refuerza esta interpretación al afirmar que una transformación digital efectiva implica cambios en los valores, los métodos de toma de decisiones y los flujos de trabajo, y no solo la adopción de sistemas. Las afirmaciones analizadas muestran claramente esta condición al revelar simultáneamente mejoras en la eficiencia y dificultades de adaptación, caracterizando un escenario de avances, limitaciones y ambivalencias que marca la realidad del sector público.

Tabla 3. Citas de entrevistados sobre la transformación digital en el servicio público

Entrevista	Extracto de la cita
ENT1	"Esto traerá tanto una mejora personal como beneficios a la institución, a la administración pública".
ENT1	"Con las tecnologías… las recientes transformaciones digitales… el principio de eficiencia se aplicará bien".
ENT1	"Habrá tiempos de procesamiento más rápidos y en consecuencia todo fluirá como debería, sin necesidad de restringir procesos".
ENT2	"Se trata de facilitar el acceso y popularizar los diferentes medios. Cuantos más medios haya y mejor se difundan, mejor será, tanto para la participación de los empleados como para desmitificar muchos aspectos".
ENT2	"La inteligencia artificial, que ya sería un medio aún más asertivo para lograr..."
ENT3	"Cuando aprendemos perdemos el miedo, por eso el entrenamiento lo hace todo más claro y nos da más confianza".
ENT4	"Cuando un servidor ya se está adaptando a una nueva interfaz, esta interfaz cambia, la tecnología se vuelve obsoleta y tiene que adaptarse rápidamente a otra tecnología, lo que puede causar contratiempos y mayor resistencia".
ENT5	"El empleado puede entonces centrarse en su papel de solucionador de problemas y ejecutor de tareas".

4.2. Percepción subjetiva: cambios, dificultades y adaptación

Según Rojak (2025), las reformas administrativas redefinen la identidad profesional de los servidores públicos. En este sentido, este estudio buscó investigar la percepción de los encuestados sobre los cambios en el rol de los servidores públicos con las transformaciones digitales, el impacto de las herramientas tecnológicas en el desarrollo profesional y los desafíos que enfrentan en el proceso de adaptación. Al ser preguntados sobre las transformaciones en el desempeño de los agentes, ENT3 mencionó que "el servidor público necesitaba ser más ágil en el trabajo", mientras que ENT4 afirmó: "El rol del servidor público está evolucionando de un simple ejecutor de tareas a un agente analítico (...) dejando la burocracia a la tecnología", y ENT5 concluyó que "el servidor público ahora puede desempeñar sus actividades como solucionador de problemas y ejecutor de tareas". Estas afirmaciones corroboran las de Rojak (2025) y Schwartz (2021), quienes citan la participación de los servidores públicos en la resolución colaborativa de problemas y la optimización de funciones mediante la tecnología.

Respecto a los impactos de las herramientas tecnológicas en el desarrollo profesional, Iong y Phillips (2023) y Syed et al. (2023) comentan que estos impactos dependen de la percepción subjetiva de los empleados y pueden causar sentimientos negativos. Ahn y Chen (2022) argumentan que la aceptación aumenta cuando los empleados perciben beneficios tangibles, como la reducción de tareas repetitivas, mayor eficiencia y la posibilidad de dedicarse a actividades más estratégicas. Por lo tanto, al ser cuestionados sobre este tema, los participantes mencionaron una reducción de errores (ENT1), estandarización de procesos y optimización del tiempo (ENT2), mayor desempeño profesional, mejor identificación de errores, mayor nivel de confianza en la toma de decisiones, optimización del tiempo (ENT4) y confianza en la ejecución del trabajo (ENT5). Estos hallazgos muestran que las percepciones de los participantes evocan sentimientos consistentes con Ahn y Chen (2022).

Respecto a las dificultades para adaptarse a los cambios tecnológicos, Iong y Phillips (2023) y Syed et al. (2023) argumentan que, si bien una parte significativa de los empleados reconoce los beneficios de las nuevas herramientas, la transición a entornos digitales aún está marcada por sentimientos de inseguridad, resistencia y desconfianza. En este sentido, al ser preguntado sobre este tema, el primer entrevistado mencionó no tener dificultades, pero que percibe que algunos colegas sí las tienen; los otros citaran la falta de estandarización entre las herramientas, dificultades para aprender a usar la herramienta, la falta de integración de sistemas y la rápida implementación de nuevas tecnologías y la falta de capacitación adecuada, lo que impacta en el desarrollo. Estos relatos convergen con los autores citados.

Sin embargo, autores como Demircioglu y Chen (2019); Roseth et al. (2021) y Lima (2025) destacan que la administración pública enfrenta problemas con la capacitación de los funcionarios, pero que es a través de esta capacitación que los funcionarios tendrán mayor facilidad para adaptarse e incorporar tecnologías, reduciendo la resistencia a estas innovaciones. Además, el SDT enfatiza que los funcionarios necesitan sentir que tienen dominio técnico y cognitivo de las herramientas. El informe generado por el software utilizado muestra que el código "capacitación" fue el más citado por los participantes, lo que indica coincidencia con los autores mencionados. Además, es necesario desmitificar los miedos (ENT2) y perder el miedo y ganar confianza a través de la capacitación (ENT3), ya que la capacitación reduce la resistencia, genera confianza y disminuye el miedo, demostrando que la tecnología está destinada a facilitar la vida del funcionario (ENT4), "aumentando la confiabilidad de las herramientas" (ENT5).

En la Tabla 4 a continuación se presenta un breve resumen de las percepciones mencionadas por los participantes:

Tabla 4. Resumen de las percepciones de los encuestados

Criterios de análisis	Percepciones mencionadas
Cambios en el rol del funcionario público	El servidor necesitaba volverse más ágil; El papel del Servidor está evolucionando desde un simple ejecutor de tareas a un agente analítico; El empleado puede entonces centrarse en su papel de solucionador de problemas y ejecutor de tareas.
Impacto de las herramientas tecnológicas en el rendimiento	Identificar y reducir errores; Estandarización de procesos; Optimización del tiempo; Aumento del rendimiento profesional; Mayor nivel de confianza en la toma de decisiones y ejecución del trabajo.
Desafíos en el proceso de adaptación	Dificultades experimentadas por algunos compañeros; Falta de estandarización entre herramientas; Dificultad para aprender a utilizar la herramienta; Falta de integración de sistemas y rápida implementación de nuevas tecnologías; La falta de formación adecuada repercute en el desarrollo.
Capacitación	Desmitifica, disminuye y elimina miedos; Genera y gana confianza; Reduce la resistencia; Aumenta la fiabilidad de las herramientas.

4.3. Interpretación mediante la teoría de la autodeterminación (SDT)

El análisis de datos se basó en los supuestos de la Teoría de la Autodeterminación (SDT), lo que nos permitió comprender cómo las necesidades psicológicas de autonomía, competencia y conexión se manifestaron en las declaraciones de los participantes. La Tabla 5, a continuación, resume los principales códigos identificados en el informe y su respectiva interpretación teórica.

Tabla 5. Interpretación de los hallazgos a través de la Teoría de la Autodeterminación (SDT)

Dimensión	Necesidades observadas	Citas de los entrevistados	Puntos positivos
Autonomía	Participación en el proceso, claridad de roles.	"*Las herramientas inteligentes brindan más confianza*" (ENT5)	Aumenta la prominencia y la claridad.
Competencia	Formación, experiencia técnica	"*Cuando aprendemos, perdemos el miedo*" (ENT3)	Aumenta la confianza y reduce los errores.
Relación	Colaboración, apoyo mutuo	*"El apoyo de los compañeros ha sido fundamental".* (ENT4)	Compartir conocimientos mejora la aceptación y la adaptación.

En general, la interpretación de los hallazgos a la luz del TAD revela que las tres necesidades psicológicas fundamentales se vieron afectadas por la transformación digital. La autonomía puede verse afectada positivamente, como se cita en "Las herramientas inteligentes brindan más confianza" (ENT5), pero la falta de participación en las decisiones y la percepción de que las herramientas cambian rápidamente, por lo que en otro pasaje se afirma: "Es necesario promover el uso de las tecnologías mostrando a las personas que generan confianza" (ENT4). La autonomía puede generarse mediante la comprensión alineada con la capacitación, ya que, según Gagné et al. (2022), las tecnologías introducidas sin participación activa aumentan la motivación controlada.

En cuanto a la competencia, que se basa en la capacidad del empleado para desempeñar sus funciones adecuadamente, existen afirmaciones como "la formación lo aclara todo" (ENT3), que reflejan directamente lo que señalan Deci et al. (2017), según quienes la percepción de dominio técnico es fundamental para reducir la ansiedad. Sin embargo, la utilidad de las herramientas contribuye a la percepción de competencia, pero puede ser una barrera para algunos. En este extracto, "Se trata de aprender las herramientas, comprender el sistema" (ENT3), se preguntó al entrevistado qué desafíos enfrentaba para adaptarse al uso de estas tecnologías.

En cuanto a la relación, se refiere a la cooperación entre empleados, el apoyo del liderazgo, el intercambio de conocimientos y la escucha, como afirma (Deci et al. 2017), hay extractos como "El apoyo de los compañeros ha sido fundamental" (ENT4), reforzando la cooperación entre compañeros y el intercambio de conocimientos, "es bueno cuando hay diálogo entre el superior y los empleados, ¿verdad? [...] Todo esto dentro del equipo ayuda mucho a la adaptación." (ENT3) el diálogo entre liderazgo y empleados se percibe en el análisis, corroborando factores positivos correlacionados.

4.4. Redefiniendo la identidad profesional en la era digital

Las citas "El uso de herramientas digitales ha mejorado significativamente mi desarrollo profesional" (ENT4), "Es necesario promover el uso de las tecnologías mostrando a las personas que la tecnología está diseñada para facilitar la vida y no para quitar empleos" (ENT4), "El diálogo es fundamental, especialmente en el departamento en el que trabajamos, y esto es lo que está enriqueciendo la adopción de cada vez más nuevos tipos de herramientas tecnológicas" (ENT1) y "El empleado puede comenzar a desempeñar sus funciones como solucionador de problemas y ejecutor de tareas" (ENT5) muestran que los entrevistados ya perciben transformaciones en su propia identidad profesional. Este hallazgo coincide con la literatura que señala que la digitalización transforma al empleado de funciones repetitivas a actividades de análisis, resolución de problemas y servicio personalizado (Roseth et al., 2021; Schwartz, 2021).

Así pues, aunque el proceso aún enfrenta obstáculos, los datos sugieren que la digitalización está generando nuevas formas de trabajo y demandando nuevas habilidades, alineadas con el paradigma de la burocracia ágil y centrada en el usuario. La identificación de tecnologías emergentes en implementación confirma las tendencias observadas internacionalmente de expansión de sistemas digitales, automatización y herramientas basadas en IA en las administraciones públicas (Ciancarini et al., 2023).

Las percepciones de los empleados públicos revelaron tanto ganancias operativas como tensiones relacionadas con la autonomía, la competencia técnica y el significado del trabajo, en consonancia con estudios que destacan los efectos psicológicos y organizativos de la transformación digital (CITRIS y el Instituto Banatao, 2024; Hinks, 2024). También se identificaron sentimientos de inseguridad, adaptación y entusiasmo ante el cambio, un fenómeno ampliamente discutido en las investigaciones sobre el futuro del trabajo y la relación entre los empleados públicos y las tecnologías emergentes (Parry y Battista, 2023). Finalmente, la discusión de las implicaciones para la gestión pública destacó la necesidad de políticas de formación, comunicación clara y apoyo continuo, medidas defendidas por varios autores como esenciales para la sostenibilidad de las transformaciones digitales (Koerich et al. 2024; CITRIS y el Instituto Banatao, 2024).

5. CONCLUSIÓN

Los resultados de esta investigación permiten concluir que el objetivo general se cumplió plenamente. Los análisis cualitativos revelaron que la digitalización afecta simultáneamente los procesos, las relaciones organizacionales y las dimensiones subjetivas del trabajo, lo que corrobora lo indicado en la literatura reciente sobre los amplios y multifacéticos impactos de la innovación tecnológica en el sector público (Parry y Battista, 2023; Hinks, 2024; Koerich et al., 2024).

Retomando las premisas que guiaron esta investigación, el estudio confirma que la transformación digital en el sector público trasciende el aspecto técnico, afectando las dimensiones organizacionales, identitarias y subjetivas del trabajo. Los servidores públicos experimentan simultáneamente avances, oportunidades de aprendizaje y sentimientos de inseguridad y sobrecarga, lo

que revela la coexistencia de desafíos y potencial. Por lo tanto, comprender este proceso requiere integrar la tecnología, la gestión y la experiencia humana, reconociendo sus limitaciones y posibilidades.

Además, también se cree que este capítulo ha alcanzado sus objetivos específicos, ya que fue posible identificar tecnologías emergentes actualmente implementadas o en proceso de adopción en instituciones públicas, analizar las percepciones de los empleados sobre los impactos de estas tecnologías en sus rutinas, autonomía y sentido de propósito en su trabajo, examinar los sentimientos de inseguridad, adaptación o entusiasmo asociados a la digitalización y automatización de actividades, y discutir las implicaciones de estas percepciones para la gestión pública y el desarrollo de futuras habilidades digitales.

Se deben reconocer algunas limitaciones. El tamaño muestral pequeño e intencional, típico de los estudios cualitativos, no permite la generalización estadística de los resultados. Además, no fue posible comparar las percepciones entre diferentes áreas, niveles jerárquicos o instituciones, lo que podría haber ampliado la diversidad de experiencias analizadas.

Este estudio contribuye teóricamente al demostrar la utilidad de la Teoría de la Autodeterminación para comprender cómo la transformación digital afecta las necesidades de autonomía, competencia y conexión social de los servidores públicos. Los hallazgos se vinculan con autores como Deci y Ryan (2000), Van Den Broeck et al. (2016) y Deci et al. (2017), mostrando que la frustración de estas necesidades genera resistencia y ansiedad, mientras que su satisfacción fomenta la adaptación y el compromiso. Al incorporar evidencia latinoamericana, el estudio también amplía una literatura que aún se concentra en los contextos europeo y norteamericano. En la práctica, los resultados orientan la gestión pública al destacar la importancia de la formación digital continua, los entornos colaborativos, los procesos de implementación más participativos y una comunicación institucional clara sobre los cambios tecnológicos, en consonancia con las directrices recientes en innovación y gobierno digital.

Se recomienda que futuras investigaciones amplíen la diversidad institucional de la muestra, comparen diferentes perfiles de empleados y adopten estudios longitudinales para rastrear la evolución de las percepciones a lo largo de la implementación tecnológica. Los métodos cuantitativos pueden complementar los hallazgos cualitativos. También es relevante investigar las prácticas de liderazgo y la cultura organizacional que promueven la motivación autónoma y reducen la resistencia, en consonancia con la dinámica psicológica descrita por la SDT.

Al integrar la evidencia latinoamericana y los debates contemporáneos sobre innovación pública, este capítulo muestra que la transformación digital va más allá de la adopción tecnológica, lo que implica una reconstrucción de las relaciones entre el trabajo, la identidad profesional y el propósito institucional. Los resultados indican que la sostenibilidad de la digitalización depende de entornos que promuevan la autonomía, el desarrollo de habilidades y las conexiones sociales. Al aclarar estas interdependencias, el estudio demuestra que la innovación puede generar no sólo eficiencia, sino también sentido de la vida, compromiso y calidad de vida en el servicio público, lo que incentiva la investigación y las políticas futuras para adoptar un enfoque más holístico para la modernización del Estado.

6. REFERENCIAS

1. Ahn, M. J., & Chen, Y.-C. (2022). Digital transformation toward AI-augmented public administration: The perception of government employees and the willingness to use AI in government. *Government Information Quarterly, 39*(2), Artículo 101664. https://doi.org/10.1016/j.giq.2021.101664

2. Banco Interamericano de Desarrollo. (2023). *Transformação digital e emprego público: O futuro do trabalho do governo*. BID. https://publications.iadb.org/publications/portuguese/document/Transformacao-digital-e-emprego-publico-o-futuro-do-trabalho-do-governo.pdf

3. Brito, B. O. S., Guimarães, V. S., da Silva Araújo, A. B., de Oliveira, F. M., & de Castro, M. M. B. (2025). Transformação digital no setor público brasileiro: Uma abordagem teórica sobre o impacto inovador e transformador de sua adoção. *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, 11*(1), 1–11. https://doi.org/10.61164/rmnm.v11i1.4037

4. Chen, B., Vansteenkiste, M., Beyers, W., Boone, L., Deci, E. L., Van der Kaap-Deeder, J., Duriez, B., Lens, W., Matos, L., & Verstuyf, J. (2015). Basic psychological need satisfaction, need frustration, and need strength across four cultures. *Motivation and Emotion, 39*(2), 216–236. https://doi.org/10.1007/s11031-014-9450-1

5. Ciancarini, P., Giancarlo, R., & Grimaudo, G. (2024). Transformação digital nas administrações públicas: Um guia para cientistas da computação. *IEEE Access, 12*, 22841–22865. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3364581

6. CITRIS Policy Lab. (2024). *Future of public sector work report*. CITRIS and the Banatao Institute. https://www.citris-uc.org/publications/future-of-public-sector-work

7. de Barros Júnior, J. M., Santa Rita, L. P., & da Silva, W. V. (2022). Transformação digital na administração pública brasileira: Uma revisão sistemática de literatura. *Revista FSA, 19*(5), 45–64.

8. Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The "what" and "why" of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry, 11*(4), 227–268. https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104_01

9. Deci, E. L., Olafsen, A. H., & Ryan, R. M. (2017). Self-determination theory in work organizations: The state of a science. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior, 4*, 19–43. https://doi.org/10.1146/annurev-orgpsych-032516-113108

10. Demircioglu, M. A., & Chen, C. A. (2019). Public employees' use of social media: Its impact on need satisfaction and intrinsic work motivation. *Government Information Quarterly, 36*(1), 51–60. https://doi.org/10.1016/j.giq.2018.11.008

11. Escobar, F., Almeida, W. H., & Varajão, J. (2023). Digital transformation success in the public sector: A systematic literature review of cases, processes, and success factors. *Information Polity, 28*(1), 61–81. https://doi.org/10.3233/IP-211518

12. Gagné, M., Parker, S. K., Griffin, M. A., Dunlop, P. D., Knight, C., Klonek, F. E., & Parent-Rocheleau, X. (2022). Understanding and shaping the future of work with self-determination theory. *Nature Reviews Psychology, 1*(7), 378–392. https://doi.org/10.1038/s44159-022-00056-w

13. Gil, A. C. (2002). *Como elaborar projetos de pesquisa* (4.ª ed.). Atlas.

14. Hai, S., Long, T., Honora, A., Japutra, A., & Guo, T. (2025). The dark side of employee-generative AI collaboration in the workplace: An investigation on work alienation and employee expediency. *International Journal of Information Management, 83*, Artículo 102905. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2025.102905

15. Hinks, T. (2025). Navigating technological shifts: Worker perspectives on AI and emerging technologies impacting well-being. *AI & SOCIETY, 40*(3), 1277–1287. https://doi.org/10.1007/s00146-023-01824-7

16. Iong, K. Y., & Phillips, J. O. L. (2023). The transformation of government employees' behavioural intention towards the adoption of e-government services: An empirical study. *Social Sciences & Humanities Open, 7*(1), Artículo 100485. https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100485

17. Koerich, A. B., Mussi, C. C., de Andrade Guerra, J. B. S., & Casagrande, J. L. (2024). Avaliação dos impactos da digitalização no setor público: Estudo de caso no poder legislativo estadual. *Future Studies Research Journal: Trends and Strategies, 16*(1), Artículo e855. https://doi.org/10.24023/FutureISSNs.2176-0829.v16i1.e855

18. Lima, E. P. (2024). Tendências da administração pública na era digital: Desafios e oportunidades. *Revista Brasileira de Gestão e Inovação, 11*(3), 45–62.

19. Lim, W. M. (2025). What is qualitative research? An overview and guidelines. *Australasian Marketing Journal, 33*(2), 199–229. https://doi.org/10.1177/14413582241264619

20. Luciano, E., Santos, F., Wiedenhöft, G. C., & da Silva, R. (2024). Identifying barriers to the adoption of the Brazilian digital governance policy and the role of collaborative governance. *Administração Pública e Gestão Social, 16*(4), 1–18. https://doi.org/10.21118/apgs.v16i4.15243

21. Mergel, I., Edelmann, N., & Haug, N. (2019). Defining digital transformation: Results from expert interviews. *Government Information Quarterly, 36*(4), Artículo 101385. https://doi.org/10.1016/j.giq.2019.06.002

22. Moser, A., & Korstjens, I. (2017). Series: Practical guidance to qualitative research. Part 1: Introduction. *European Journal of General Practice, 23*(1), 271–273. https://doi.org/10.1080/13814788.2017.1375093

23. Parry, E., & Battista, V. (2023). The impact of emerging technologies on work: A review of the evidence and implications for the human resource function. *Emerald Open Research, 1*(4), 1–18. https://doi.org/10.1108/EOR-01-2023-0004

24. Patino, C. M., & Ferreira, J. C. (2018). Inclusion and exclusion criteria in research studies: Definitions and why they matter. *Jornal Brasileiro de Pneumologia, 44*(2), 84. https://doi.org/10.1590/s1806-37562018000000088

25. Ribeiro, M. M., & Segatto, C. I. (2025). Inteligência artificial nas organizações públicas brasileiras: Heterogeneidades e capacidades em tecnologia da informação. *Revista de Administração Pública, 59*(1), Artículo e2024-0066. https://doi.org/10.1590/0034-761220240066

26. Ripani, L., Fuenzalida, J., Suárez, F., & Salas, R. (2021). *Digital transformation and public employment: The future of government work* (M. Porrúa, M. Lafuente, B. Roseth, E. Mosqueira, & A. Reyes, Eds.). Banco Interamericano de Desarrollo. https://doi.org/10.18235/0003245

27. Robinson, O. C. (2014). Sampling in interview-based qualitative research: A theoretical and practical guide. *Qualitative Research in Psychology, 11*(1), 25–41. https://doi.org/10.1080/14780887.2013.801543

28. Rojak, J. A. (2025). Reconstructing bureaucracy through agility and empathy in public service transformation. Bulletin of Science, *Technology and Society, 4*(1), 27–34. https://inti.ejournalmeta.com/index.php/inti/article/view/101

29. Silva, L. S., de Oliveira, G. S., & Neves, E. H. C. (2021). Entrevista na pesquisa em educação de abordagem qualitativa: Algumas considerações teóricas e práticas. *Revista Prisma, 2*(1), 110–112.

30. Syed, R., Bandara, W., & Eden, R. (2023). Public sector digital transformation barriers: A developing country experience. *Information Polity, 28*(1), 5–27. https://doi.org/10.3233/IP-220038

31. UNESCO. (2022). *Developing digital competencies for civil servants in Latin America*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. https://www.unesco.org/en/articles/developing-digital-competencies-civil-servants-latin-america

32. Van den Broeck, A., Ferris, D. L., Chang, C. H., & Rosen, C. C. (2016). A review of self-determination theory's basic psychological needs at work. *Journal of Management, 42*(5), 1195–1229. https://doi.org/10.1177/0149206316632058

33. Viana, A. C. A. (2021). Digital transformation in public administration: From e-government to digital government. *International Journal of Digital Law, 1*(1), 29–44. https://doi.org/10.47975/ijdl.v1i1.29

ENVEJECIMIENTO DE LA POBLACIÓN Y FUTURO DEL TRABAJO: ALGUNOS DE SUS PRINCIPALES DESAFÍOS

POPULATION AGING AND THE FUTURE OF WORK: SOME OF ITS MAIN CHALLENGES

Julio González Candia[1], Fabián Jeno Hernández[1], María Regina Mardones Espinosa[1], Natalia Romero Hernández[1], Sergio Figueroa Bustamante[2]

[1]*Departamento de Tecnologías de Gestión, Facultad Tecnológica, Universidad de Santiago de Chile, Chile (Julio González Candia, julio.gonzalez@usach.cl, Fabián Jeno Hernández, fabian.jeno@usach.cl: María Regina Mardones Espinosa, regina.mardones@usach.cl, Natalia Romero Hernández, natalia.romero@usach.cl)*

[2]*Fundación Educacional Choshuenco, Santiago, Chile (sergio.figueroa@usach.cl)*

https://doi.org/10.17613/4db6s-49a67

Resumen

El envejecimiento de la población representa uno de los desafíos más significativos para las economías desarrolladas o en vías de serlo, con profundas implicaciones en los mercados de trabajo y con temas éticos y sociales que no están exentos de complejidad. A esto se suma una baja tasa de natalidad con un aumento importante en la expectativa de vida. El envejecimiento poblacional es uno de los principales fenómenos demográficos en América Latina y el Caribe, con 88,6 millones de personas mayores de 60 años, representando un 13,4% de la población total, el cual aumentará al 16,5% en 2030 (CEPAL, 2022). Según el Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (INE, 2022), la población mayor de 60 años ha aumentado sostenidamente, desde un 12,4% el año 2007 a un 19,8% en 2024. El presente capítulo tiene como objetivo principal explorar en algunos de los desafíos del mundo laboral que viene para las personas de más avanzada edad y que aún están en condiciones de aportar a los entornos socio productivos. Estos desafíos están relacionados con A) Informalidad y brechas estructurales, B) Educación y formación permanente, C) Dimensión Tecnológica, D) Sistemas de pensiones sostenibles y de cuidados y E) Participación activa en la sociedad.

Palabras clave: Envejecimiento de la población, trabajo del futuro, desafíos para las personas.

Abstract:

Population aging represents one of the most significant challenges for developed and developing economies, with profound implications for labor markets and complex ethical and social issues. This is compounded by a low birth rate and a significant increase in life expectancy. Population aging is one of the main demographic phenomena in Latin America and the Caribbean, with 88.6 million people over 60 years of age, representing 13.4% of the total population, a figure projected to rise to 16.5% by 2030 (CEPAL, 2022). According to the Chilean National Institute of Statistics (INE, 2022), the population over 60 years of age has steadily increased, from 12.4% in 2007 to 19.8% in 2024. This chapter aims to explore some of the challenges facing older workers who are still able to contribute to the socio-productive environment. These challenges are related to: A) Informality and structural gaps, B) Education and lifelong learning, C) Technological advancement, D) Sustainable pension and care systems, and E) Active participation in society.

Keywords: Population aging, the future of work, challenges for people.

1. Introducción

El envejecimiento de la población representa uno de los desafíos más significativos para las economías desarrolladas o en vías de serlo, con profundas implicaciones en los mercados de trabajo y con temas éticos y sociales que no están exentos de complejidad. A esto se suma una baja tasa de natalidad con un aumento importante en la expectativa de vida. Según Naciones Unidas, en el 2050 más del 16% de los habitantes del planeta será mayor de 65 años, lo cual significará y generará presiones muy significativas sobre los sistemas de salud, seguridad social y todos los modelos de integración social y económicos que existen (Naciones Unidas, 2023).

El envejecimiento poblacional es uno de los principales fenómenos demográficos en América Latina y el Caribe, con 88,6 millones de personas mayores de 60 años, representando un 13,4% de la población total, el cual aumentará al 16,5% en 2030 (CEPAL, 2022). Estos datos son consistentes con las proyecciones de población de las Naciones Unidas, al sostener que América Latina y el Caribe dejará de ser "joven" hacia mediados de la década de los 2050, y convergerá a un escenario de bajas tasas de natalidad y creciente longevidad (BID, 2023, 5)[En el documento "El Futuro del Trabajo en América Latina y el Caribe - ¿Cómo avanzar hacia pensiones sostenibles para sociedades más longevas?, de la y los autores Ekaterina Cuéllar Khmelevskaia, Waldo Tapia, Daniel Gamboa y Manuel García-Huitrón. BID. 2023.][1].

El presente capítulo tiene como objetivo principal describir algunos de los desafíos del mundo laboral que viene para las personas de más avanzada edad y que aún están en condiciones de aportar a los entornos socio productivos. Estos desafíos están relacionados con A) Informalidad y brechas estructurales, B) Educación y formación permanente, C) Dimensión Tecnológica, D) Sistemas de pensiones sostenibles y de cuidados y E) Participación activa en la sociedad. La hipótesis es que, si estos desafíos se abordan adecuadamente desde la política pública, las empresas y las organizaciones de la sociedad civil, las personas mayores podrán seguir aportando de manera efectiva a la sociedad. La organización del presente documento considera las siguientes secciones o apartados: la presente 1. Introducción, 2. Antecedentes Teóricos y de contexto, 3. Metodología utilizada, 4. Principales Resultados, 5. Conclusiones y 6. Referencias bibliográficas.

2. Antecedentes Teóricos y de contexto

2.1. Antecedentes y proyecciones demográficas

Tal como fuera planteado, según Naciones Unidas, en el 2050 más del 16% de los habitantes del planeta será mayor de 65 años, lo cual significará y generará presiones muy significativas sobre los sistemas de salud, seguridad social y todos los modelos de integración social y económicos que existen (Naciones Unidas, 2023). Respecto de esto último, el mundo del trabajo es uno de los más relevantes y, más aún, si reflexionamos sobre el trabajo del futuro para este importante grupo etario de la población.

El envejecimiento poblacional es uno de los principales fenómenos demográficos en América Latina y el Caribe, con 88,6 millones de personas mayores de 60 años, representando un 13,4% de la población total, el cual aumentará al 16,5% en 2030 (CEPAL, 2022).

En Chile, se evidencia un envejecimiento poblacional avanzado (Huenchuan, 2018). Este planteamiento se ratifica de acuerdo con el informe, "Fuerza laboral envejecida: entre la extensión de la vida laboral y la informalidad persistente" de la Pontificia Universidad Católica de Chile y Confuturo (Observatorio del Envejecimiento UC-Confuturo, 2025), Chile está envejeciendo rápidamente: el 19,8% de la población tiene 60 años o más[2], según las cifras preliminares del Censo 2024 del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), casi el doble que en 1992 (9,8%). Esta transformación etaria ha impactado directamente el mercado laboral: la participación de personas mayores en la fuerza laboral creció sostenidamente, de un 8% en 2010 a un 12,3% en 2024, con un aumento de 4,3 puntos porcentuales.

Cada vez aumentan las personas que trabajan más allá de la edad legal de jubilación (65 años para los hombres y 60 para las mujeres). Según datos de la OCDE, Chile presenta una de las edades efectivas de retiro más altas entre sus países miembros: 67,3 años para hombres y 63,7 para mujeres, superando el promedio de la organización (64,4 y 63,1 años, respectivamente). Esto es respaldado por instituciones tales como la CEPAL y la OIT quienes han señalado que existen mejores condiciones de salud y perfiles educativos que favorecen la inserción laboral con autonomía en personas mayores[3].

De acuerdo al documento ya citado de la PUC y Confuturo (Observatorio del Envejecimiento UC-Confuturo, 2025)[4] este aumento en la participación plantea la necesidad de considerar dos dimensiones clave. Por un lado, cómo se desarrollan las trayectorias laborales a lo largo del ciclo de vida de las personas y, por otra parte, cómo estas trayectorias se extienden más allá de la edad de jubilación, desdibujando los patrones tradicionales de retiro del mercado laboral.

Respecto a lo primero, las trayectorias laborales están determinadas por factores individuales, sociales y estructurales que influyen en la entrada, permanencia y salida del mercado laboral en distintas etapas del ciclo vital, como se refleja en las dinámicas de participación laboral según quinquenios etarios. De esta forma, y de acuerdo al documento en referencia, en la juventud, la participación tiende a ser menor por la prolongación de la educación y la necesidad de compatibilizar estudios y trabajo. En la vejez, la participación laboral suele disminuir, aunque no de forma uniforme, especialmente si se comparan brechas de género (Observatorio del Envejecimiento UC-Confuturo, 2025, p.2).

Respecto de la participación laboral y brechas de género, el documento plantea que:

> - A nivel comparado, la participación laboral en Chile tiende a disminuir desde la adultez media. Actualmente, la tasa de ocupación en el tramo de 55 a 59 años es inferior al promedio de la OECD. Sin embargo, esta tendencia se revierte en los tramos de mayor edad: para el grupo de 60 a 64 años, Chile se ubica en el promedio de la OECD, y para el tramo de 65 a 69 años, lo supera por un margen considerable (8,7 puntos porcentuales).
> - En términos de género, existen diferencias importantes en la permanencia laboral en la vejez. En general, las mujeres presentan una menor inserción laboral que los hombres en los mismos tramos etarios. Por ejemplo, en 2024, el 75,9% de los hombres entre 60 y 64 años se encontraba ocupado, mientras que solo el 40,9% de las mujeres de ese mismo grupo etario participaba en el mercado laboral. Esta brecha también se observa al comparar el siguiente tramo etario: el 50,9% de los hombres entre 65 y 69 años seguía trabajando, en contraste con el 19,8% de las mujeres (Observatorio del Envejecimiento UC-Confuturo, 2025, p.5).

Otro aspecto interesante que aborda el documento es el relacionado con la extensión de las trayectorias laborales argumentando que el comprender quiénes prolongan su participación en el mercado laboral más allá de la edad de jubilación permite identificar los factores que inciden en esta decisión o necesidad (Observatorio del Envejecimiento UC-Confuturo, 2025, p.8). Entre las principales variables que inciden y permiten observar las desigualdades y motivaciones que subyacen al fenómeno en los distintos grupos de la población mayor, podemos mencionar:

> - El género y nivel educativo: en el caso de los hombres, se observa una clara relación entre mayor nivel educativo y mayores tasas de ocupación laboral posterior a la edad legal de jubilación. Por ejemplo, en el tramo etario de 65 a 69 años —quinquenio inmediatamente posterior a la edad de elegibilidad para pensiones de vejez— un 55,7% de los hombres con nivel educativo alto[5] se encuentran ocupados. Esta proporción disminuye a 48,7% entre quienes tienen un nivel educativo bajo. Sin embargo, estas diferencias tienden a atenuarse en los tramos etarios superiores: entre los 70 y 74 años, las tasas de ocupación entre los distintos niveles educativos tienden a converger, y es recién en el tramo de 75 años y más donde vuelve a observarse una diferencia significativa, con mayor ocupación entre quienes poseen mayor nivel educativo (Observatorio del Envejecimiento UC-Confuturo, 2025, p. 8-9).
> - Los ingresos del hogar: las cifras del estudio revelan una clara asociación entre el nivel de ingresos del hogar y la probabilidad de mantenerse en el mercado laboral en edades avanzadas. A mayor nivel de ingreso, mayor es la propensión a seguir trabajando, posiblemente por estar insertos en ocupaciones menos demandantes físicamente, contar con mejores redes laborales o experimentar una mayor valoración simbólica del trabajo (Observatorio del Envejecimiento UC-Confuturo, 2025, p.13). Y

- La situación de salud: la que representa un factor fundamental que condiciona la capacidad de las personas mayores para prolongar su vida laboral más allá de la edad legal de jubilación[6]. A partir de los 65 años, tanto en hombres como en mujeres, la presencia de cualquier grado de dependencia funcional se asocia con una caída significativa en la participación laboral (Observatorio del Envejecimiento UC-Confuturo, 2025, p.3)

2.2. Sobre el Envejecimiento Activo

El envejecimiento de la población constituye uno de los fenómenos demográficos más relevantes del siglo XXI, y plantea desafíos estructurales para las sociedades contemporáneas. A nivel global y regional, el aumento sostenido de la esperanza de vida, acompañado con la disminución de las tasas de natalidad, ha generado una transformación profunda en la estructura etaria de los países, tensionando los sistemas de salud, protección social, cuidados y participación social (Naciones Unidas, 2023). En América Latina, este proceso ocurre de manera acelerada y en contextos marcados por profundas desigualdades sociales, económicas y territoriales, lo que complejiza aún más las condiciones en que las personas transitan hacia la vejez (CEPAL, 2022).

Frente a este escenario, el envejecimiento no puede ser comprendido únicamente como un fenómeno biológico ni reducido a una sola etapa asociada a la dependencia o al deterioro funcional. Por el contrario, se trata de un proceso social, histórico y heterogéneo, profundamente condicionado por las trayectorias de vida, las oportunidades acumuladas y los contextos estructurales en los que las personas desarrollan su existencia (Elder, 2009). En este sentido, el enfoque de envejecimiento activo y saludable surge como una respuesta conceptual y política que busca superar visiones asistencialistas, reconociendo a las personas mayores como sujetos de derechos con capacidades, agencia y potencial de participación en la vida social (OMS, 2020).

2.3. Personas mayores y vejez: una construcción social

La vejez y la condición de persona mayor no constituyen categorías homogéneas ni mucho menos universales, sino que son construcciones sociales e históricas que adquieren significados distintos según el contexto cultural, económico y político en el que se inscriben (CEPAL, 2022). Si bien el criterio cronológico, generalmente asociado a los 60 o 65 años, continúa siendo utilizado para delimitar esta etapa de la vida, resulta insuficiente para dar cuenta de la diversidad de experiencias, capacidades y trayectorias que caracterizan a las personas mayores (ONU, 2015).

Desde una perspectiva crítica, la vejez debe comprenderse como una etapa del ciclo vital atravesada por sus múltiples dimensiones: biológicas, psicológicas, sociales y de carácter relacional. En este sentido, el envejecimiento no ocurre de manera uniforme, sino que refleja las oportunidades y restricciones acumuladas a lo largo de la vida, tales como el acceso a la educación, trabajo decente, salud, redes de apoyo, vivienda y participación social (Elder, 2009). Esta heterogeneidad desafía las miradas estandarizadas que tienden a homogenizar a las personas mayores como un grupo pasivo, dependiente o improductivo.

Históricamente, las políticas públicas y los discursos sociales han abordado la vejez desde un enfoque predominante asistencialista y biomédico, centrado en la enfermedad, la dependencia física y emocional y la protección social. Este paradigma ha contribuido a reforzar los estereotipos negativos asociados al envejecimiento, tales como la pérdida de autonomía, la inutilidad social o la desvinculación del espacio público, fenómenos que hoy se reconocen como expresiones del edadismo (CEPAL, 2022).

En contraste, los enfoques contemporáneos basados en derechos humanos proponen un cambio sustantivo en la forma de comprender la vejez. Desde esta perspectiva, las personas mayores son reconocidas como sujetos plenos de derechos, con capacidad de decisión, participación y contribución social, tal como lo establecen los Principios de las Naciones Unidas a favor de las personas de edad más avanzada (ONU, 2015). Este giro conceptual implica desplazar la mirada desde la dependencia hacia la autonomía, desde la protección pasiva hacia la participación activa y desde la homogenización hacia el reconocimiento de la diversidad etaria, sentando las bases para políticas y programas más inclusivos y equitativos.

2.4. Envejecimiento activo y envejecimiento saludable: evolución conceptual

El concepto de envejecimiento activo surge como una respuesta a las limitaciones de los enfoques tradicionales del envejecimiento, particularmente aquellos centrados exclusivamente en la atención de la enfermedad y la dependencia. La Organización Mundial de la Salud formalizó este enfoque a comienzos del siglo XXI, definiendo el envejecimiento activo como el proceso de optimizar las oportunidades de salud, participación y seguridad con el único fin de mejorar la calidad de vida a medida que las personas van envejeciendo (Organización Mundial de la Salud, 2020). Esta definición marcó un punto de inflexión al situar el bienestar, la autonomía y la participación social como ejes centrales del proceso de envejecimiento.
El concepto de envejecimiento activo se sustenta en una visión integral de la persona mayor, reconociendo que la calidad de vida en la vejez no depende únicamente de la ausencia de enfermedad, sino también en la posibilidad de mantenerse socialmente integrado, ejercer roles significativos y participar en la vida comunitaria, cultural y cívica (Organización Mundial de la Salud, 2015). En este sentido, la salud es entendida de manera amplia, incorporando dimensiones físicas, mentales y sociales, considerando los determinantes estructurales que influyen en el bienestar a lo largo del ciclo de vida.

Con el paso del tiempo, el debate internacional ha incorporado y profundizado el concepto de envejecimiento saludable, ampliando el alcance del envejecimiento activo. Según la Organización Mundial de la Salud, el envejecimiento saludable se refiere al proceso de desarrollar y mantener la capacidad funcional que permite el bienestar en la vejez, incluso en presencia de enfermedades crónicas o limitaciones funcionales (OMS, 2020). Este enfoque pone el acento en la interacción entre las capacidades intrínsecas de las personas y los entornos en los que viven, destacando la importancia de contextos accesibles, inclusivos y favorables.

Lejos de construir enfoques contrapuestos, el envejecimiento activo y el envejecimiento saludable deben entenderse como perspectivas complementarias. Ambos convergen en la imperiosa necesidad de promover la dignidad, la calidad de vida y la inclusión social de las personas mayores, logrando

reconocer que el envejecimiento es un proceso dinámico, influido por factores individuales, sociales y estructurales que van acumulando a lo largo del curso de la vida de cada persona (OMS, 2015 y 2020).

2.5. Principales marcos teóricos para comprender el envejecimiento activo

El envejecimiento activo se sustenta en diversos marcos teóricos desarrollados a partir desde las ciencias sociales y del comportamiento humano, los cuales han permitido comprender la vejez como un proceso dinámico y multidimensional, más allá de explicaciones reduccionistas centradas en el deterioro biológico. Estas teorías han sido fundamentales para lograr fundamentar las políticas públicas y los enfoques de intervención orientados a promover la autonomía, la participación y el bienestar de las personas mayores (OMS, 2002).

Una de las teorías más influyentes es la teoría de la actividad, desarrollada por Havighurts y Albretch, la cual plantea que la satisfacción y el bienestar en la vejez están estrechamente relacionados con la mantención de actividades sociales, físicas y cognitivas significativas (Havighurst, 1961). Desde esta perspectiva, la continuidad de roles sociales y la participación activa en la comunidad actúan como factores protectores frente al aislamiento, la depresión y el deterioro funcional. Esta teoría ha influido directamente en el enfoque de envejecimiento activo promovido por la Organización Mundial de la Salud, al destacar la importancia de la participación social como componente central de la calidad de vida en la vejez (OMS, 2002).

Complementariamente, la teoría de la continuidad, propuesta por Atchley, sostiene que las personas mayores tienden a preservar patrones de comportamiento, valores, roles y relaciones construidos a lo largo de su vida, con el fin de mantener una identidad coherente y un sentido de estabilidad personal (Atchley, 1989). Esta teoría enfatiza que el bienestar en la etapa de la vejez no depende necesariamente de la incorporación de nuevas actividades, sino de la posibilidad de adaptar y resignificar aquellas prácticas y vínculos que han sido relevantes durante el curso de vida. Desde este enfoque, las políticas y programas orientados a personas mayores deben respetar las trayectorias individuales y aún más evitar modelos homogéneos de envejecimiento.

Por su parte, la teoría del intercambio social, desarrollada por Homans y Blau, aporta una mirada relacional al fenómeno del envejecimiento, al analizar cómo las interacciones sociales se estructuran a partir de intercambios percibidos como justos entre los individuos (Blau, 1964) (Homans, 1961). En la vejez, la disminución de recursos económicos, físicos o simbólicos pueden generar desequilibrios en estos intercambios, aumentando el riesgo de exclusión o marginación social. Este enfoque permite comprender por qué la falta de reconocimiento social y la pérdida de roles valorados afectan negativamente la autoestima y el bienestar de las personas mayores, reforzando la necesidad de políticas que reconozcan y valoren aportes no económicos, como la transmisión de saberes, el cuidado y la participación comunitaria.

Finalmente, el enfoque del curso de vida constituye uno de los marcos más relevantes para llegar a comprender el envejecimiento activo bajo contextos de desigualdad. Este enfoque plantea que el envejecimiento es el resultado de procesos acumulativos determinados por factores estructurales,

históricos y contextuales que operan desde etapas tempranas de la vida (Elder y Giele, 2009). Desde esta perspectiva, las desigualdades en educación, trabajo, salud y condiciones de vida se acumulan y se expresan con mayor fuerza en la vejez, condicionando las posibilidades reales de envejecer activamente. Este marco resulta especialmente pertinente para el análisis del envejecimiento en América Latina, donde amplios sectores de la población han experimentado trayectorias marcadas por la precariedad y la exclusión (CEPAL, 2022).

2.6. Determinantes del envejecimiento activo en personas mayores

Más allá de los marcos teóricos, el envejecimiento activo está condicionado por una serie de determinantes que influyen directamente en la experiencia cotidiana de las personas mayores. La Organización Mundial de la Salud ha señalado que estos determinantes interactúan entre sí y se relacionan con factores individuales, sociales, económicos y ambientales, configurando oportunidades y restricciones para el bienestar en la vejez (OMS, 2002).

Uno de los determinantes fundamentales es la salud física y mental. Desde el enfoque de envejecimiento activo, la salud no se entiende únicamente como la ausencia de enfermedad, sino como la capacidad de mantener autonomía funcional, bienestar emocional y participación social, incluso en presencia de condiciones crónicas (OMS, 2015).

La participación social constituye otro determinante central del envejecimiento activo. Mantener vínculos familiares, comunitarios y sociales contribuye significativamente al bienestar psicológico y emocional de las personas mayores, actuando como un factor protector frente al asilamiento y la soledad (ONU, 2002). Desde esta perspectiva, la participación no debe entenderse como una actividad opcional, sino como un derecho que requiere condiciones estructurales adecuadas, tales como accesibilidad, entornos seguros y eliminación de barreras tanto físicas como simbólicas, incluido el edadismo (CEPAL, 2022).

Asimismo, los entornos físicos y sociales desempeñan un rol clave en la promoción del envejecimiento activo. La OMS ha desarrollado el enfoque de ciudades y comunidades amigables con las personas mayores, destacando la importancia de entornos urbanos accesibles, transporte adecuado, viviendas seguras y espacios públicos inclusivos para favorecer la autonomía y la participación (OMS, 2007). En contextos de desigualdad territorial, como los presentes en América Latina, las brechas en infraestructura y servicios básicos impactan de manera desproporcionada a las personas mayores, especialmente a aquellas en situación de pobreza o dependencia (CEPAL, 2022).

2.7. Implicancias para las políticas públicas y acciones sociales

El envejecimiento activo y saludable, comprendido desde una perspectiva integral y situada, plantea importantes implicancias para el diseño e implementación de políticas públicas y estrategias de acción social orientadas a las personas mayores. En contextos de envejecimiento acelerado y profundas desigualdades, como las que caracterizan a América Latina, resulta insuficiente promover enfoques

centrados exclusivamente en la responsabilidad individual, siendo necesario avanzar hacia políticas estructurales que reconozcan el envejecimiento como un fenómeno social y colectivo (CEPAL, 2022).

Desde un enfoque de derechos, las políticas dirigidas a personas mayores deben garantizar condiciones que permitan el ejercicio efectivo de la autonomía, la participación social y una vida digna en la vejez. Esto implica reconocer a las personas mayores como sujetos activos, con capacidad de decisión, superando modelos asistencialistas que refuerzan la dependencia y la pasividad (ONU, 2015). En este sentido, el envejecimiento activo no debe ser entendido como un privilegio asociado a determinados niveles socioeconómicos, sino como un derecho que requiere condiciones materiales, institucionales y sociales para su realización.

De misma forma, el análisis desde el curso de vida evidencia que las políticas públicas orientadas al envejecimiento no pueden limitarse a intervenciones tardías en la vejez, sino que deben articularse con estrategias de protección social, educación, salud y trabajo a lo largo de todo el ciclo vital (Elder, 2009). La acumulación de desventajas estructurales incide directamente en las condiciones de envejecimiento, por lo que abordar la pobreza, la informalidad laboral y las brechas de género resulta fundamental para poder prevenir trayectorias de envejecimiento impactadas por la exclusión y la dependencia (CEPAL, 2022).

En el ámbito de la acción social, promover el envejecimiento activo requiere diseñar programas centrados en la persona, sensibles a la diversidad de trayectorias y contextos territoriales. Las intervenciones deben fortalecer la participación comunitaria, el acceso a redes de apoyo, la inclusión social y el cuidado integral, considerando especialmente a las personas mayores en situación de vulnerabilidad. En este marco, la crisis de los cuidados emerge como un nuevo e importante desafío prioritario, demandando políticas de corresponsabilidad que integren al Estado, la comunidad y las familias y que reconozcan el cuidado como un derecho social y no exclusivamente como una tarea privada (CEPAL, 2022).

Finalmente, las políticas públicas orientadas al envejecimiento activo deben incorporar mecanismos de evaluación y seguimiento que permitan medir no sólo indicadores de participación o salud, sino que también el impacto real de las intervenciones en la calidad de vida y en el bienestar subjetivo de las personas mayores. Avanzar hacia un enfoque integral y basado en derechos constituye, por tanto, un requisito indispensable para enfrentar los desafíos del envejecimiento poblacional de manera equitativa y sostenible.

3. Antecedentes Metodológicos

En relación con la metodología aplicada en el desarrollo del presente capítulo de libro podemos decir que se ha tratado de un ensayo, con un enfoque preferentemente cualitativo del tipo descriptivo en las perspectivas de Baena (2017) y Hernández-Sampieri et al, (2014) respectivamente. A continuación, en la Tabla N°1 se aprecia un resumen de los aspectos y acciones metodológicas desarrolladas:

Tabla N°1: Aspectos y acciones metodológicas.

Dimensión o aspecto	Descripción
Enfoque:	Preferentemente Cualitativo. Interesó de manera relevante conocer planteamientos fundados de autores y autoras en calidad de expertos y expertas en los temas abordados y por la ausencia de elementos de medición o evaluación sobre el tema abordado.
Nivel y Tipo de la investigación:	Descriptivo – Investigación del tipo "documental o bibliográfica" realizada a través de la consulta y análisis de diversos tipos de documentos (Baena, 2017, p. 69). En este caso, principalmente artículos de carácter académicos, institucionales y referencias web.
Hipótesis	Descriptiva: Si los desafíos de Informalidad y brechas estructurales, Educación y formación permanente, la Dimensión Tecnológica, Sistemas de pensiones sostenibles y de cuidados y Participación activa se abordan adecuadamente desde la política pública, las empresas y las organizaciones de la sociedad, las personas mayores podrán seguir aportando de manera efectiva a la sociedad.
Diseño del estudio:	Del tipo "transeccional o transversal" dado que se recolectaron datos y recogió información en un solo momento, en un tiempo único[8].
Foco en la recolección de datos y levantamiento de información:	Datos e información relacionadas con temas de Envejecimiento de la Población y Futuro del Trabajo y otros tópicos recopilados de revistas adscritas a índices de habla hispana y otros documentos e informes de Instituciones de carácter internacional.
Uso de Inteligencia Artificial:	En el desarrollo del presente capítulo no se utilizó ninguna herramienta de Inteligencia Artificial.
Periodo de tiempo de realización del presente ensayo:	Entre los meses de noviembre y diciembre de 2025 y enero de 2026.

Fuente: elaboración propia.

Las principales limitantes del presente trabajo, en la mirada de Avello-Martínez et al, (2019) fueron: 1) el haberse concentrado en exponer y analizar planteamientos de autores y autoras de habla hispana dejando afuera otras perspectivas de comunidades expertas en otros idiomas y 2) los desafíos planteados no son exhaustivos, obedecen a un primer estudio en este ámbito. No obstante, creemos que el documento logra aportar la discusión y reflexión sobre los desafíos de las personas de más avanzada edad y el trabajo del futuro.

4. Principales Resultados: desafíos del envejecimiento de la población y el futuro del trabajo

En base a los antecedentes generales expuestos y a los principales planteamientos de autoras y autores podemos señalar, sin ser exhaustivos, que algunos de los principales desafíos del envejecimiento de la población y el futuro del trabajo son los que a continuación se indican:

4.1. Informalidad y brechas estructurales

Para la Organización Internacional del Trabajo (OIT) el empleo informal Incluye todo trabajo remunerado (autoempleo y empleo asalariado) que no está registrado, regulado o protegido por marcos legales o normativos, así como también trabajo no remunerado llevado a cabo en una empresa generadora de ingresos. Los trabajadores informales no cuentan con contratos de empleo seguros, prestaciones laborales, protección social o representación de los trabajadores[9]. De acuerdo al Instituto Nacional de Estadísticas (INE) la tasa de ocupación informal durante el trimestre abril-junio de 2025 se ubicó en 26,0%. Las personas ocupadas informales, en tanto, llegaron a 2.423.198 en el mismo período, lo que representó una variación de -3,8% en doce meses[10]. De acuerdo a la misma fuente, en el boletín estadístico N°32 de noviembre de 2025, las tasas de ocupación informal más altas del trimestre se evidenciaron en los tramos 65 años y más (57,6%) y 15-24 años (37,4%). Se observa que la ocupación informal prevalece en los tramos etarios extremos, afectando a las personas mayores y jóvenes[11].

La informalidad laboral adopta un patrón específico a lo largo del ciclo vital, siguiendo una forma de "U": presenta niveles más altos durante la juventud y adultez temprana, desciende de manera sostenida hacia la mediana edad y vuelve a aumentar progresivamente en edades avanzadas[12].

Uno de los factores más relevantes asociados a la informalidad es el nivel educativo. Existe una relación inversa consistente entre educación formal e inserción informal, tanto antes como después de los 65 años. Por ejemplo, entre los hombres de 65 a 69 años, la informalidad es más de 30 puntos porcentuales mayor en quienes tienen niveles educativos bajos en comparación con quienes alcanzaron educación superior, tendencia que se mantiene en grupos etarios más avanzados (Observatorio del Envejecimiento UC-Confuturo, 2025, p. 23).

Respecto de las brechas estructurales, podemos mencionar que, si bien muchas personas mayores poseen la motivación y la necesidad para estar laboralmente activas, se enfrentan a diversas barreras de carácter estructural que dificultan su inserción y permanencia en empleos formales y de calidad. Lo anterior, ocurre tanto a nivel de la sociedad como de las organizaciones que la integran.

Para el estudio PUC y Confuturo, a nivel cultural persisten actitudes edadistas en los espacios laborales y de interacción social organizada. La discriminación por edad, aunque formalmente prohibida en algunos países, se manifiesta en estereotipos sobre la productividad, capacidad de aprendizaje o adaptación tecnológica de los trabajadores mayores[13]. Para Guillermo Montt e Isabel Contrucci (2022)[14] junto con referirse a la "alta prevalencia de discriminación por edad" sostienen que las políticas de promoción del empleo de personas mayores se sitúan en un contexto único, que conjuga también otros fenómenos tales como: (i) el envejecimiento acelerado de la población; (ii) los derechos humanos de las personas mayores (iii) la consolidación de regímenes de seguridad social y pisos de protección social; (iv) los cambios en las dinámicas de género que han definido el aumento en la participación laboral, incluso entre personas mayores y, por último; (v) una meta normativa de empleo pleno, productivo y libremente escogido (Montt y Contrucci, 2022).

A nivel organizacional podemos apreciar una barrera y una oportunidad. A pesar de una creciente disposición de las empresas a retener a sus trabajadores mayores, la contratación de personas mayores sigue siendo escasa. Esta paradoja se explica, en parte, por percepciones arraigadas sobre el costo

que representa este grupo etario[15] (Observatorio del Envejecimiento UC-Confuturo, 2025, p.39). Por otra parte, diversos estudios han mostrado que las políticas de recursos humanos que reconocen y se adaptan a las características de las y los trabajadores mayores[16] pueden incrementar su satisfacción y su intención de continuar en la fuerza laboral. Sin embargo, un enfoque excesivamente focalizado en la edad dentro de las organizaciones también puede ser contraproducente, generando percepciones de trato desigual o estigmatización, especialmente si no se enmarca dentro de una estrategia intergeneracional más amplia (Observatorio del Envejecimiento UC-Confuturo, 2025, p.40). A modo de cierre de este desafío, sumarnos a la Declaración del Centenario de la OIT para el Futuro del Trabajo la que invita a "fomentar medidas que ayuden a los trabajadores de edad a ampliar sus opciones, optimizando sus oportunidades de trabajar en condiciones buenas, productivas y saludables hasta la jubilación y permitir un envejecimiento activo" (OIT, 2019)[17].

4.2. Educación y formación permanente

La educación y la formación permanente constituyen desafíos centrales para el futuro del trabajo en sociedades envejecidas, particularmente en contextos caracterizados por desigualdades estructurales persistentes (UNESCO, 2016). Tal como se ha señalado, el enfoque del envejecimiento activo concibe la formación permanente como un proceso continuo que acompaña las trayectorias de vida y trabajo en sus distintas fases (Organización Mundial de la Salud, 2015).

En este contexto, las oportunidades de aprendizaje en edades avanzadas no se distribuyen de manera homogénea, sino que tienden a reproducir y amplificar desigualdades previas asociadas al nivel educativo, la formalidad laboral y las trayectorias ocupacionales. Estas brechas condicionan la capacidad de las personas mayores para mantenerse activas en el mercado laboral, acceder a empleos de mejor calidad o reconvertirse frente a los cambios productivos. En particular, la evidencia muestra que quienes han experimentado trayectorias educativas fragmentadas o precarizadas enfrentan mayores barreras para acceder a instancias de formación permanente en etapas avanzadas de la vida, profundizando escenarios de exclusión laboral y social (Boeren, 2017).

Según Brown et al, (2011), la empleabilidad ya no depende exclusivamente del capital educativo inicial, sino de la capacidad de aprender y adaptarse a lo largo del ciclo vital. Cuando las personas adultas retornan a la educación superior en etapas avanzadas de la vida, no lo hacen sólo con fines de empleabilidad, sino que es parte de procesos de resignificación biográfica, reconstrucción identitaria y participación social activa (Formosa, 2014; McNair, 2009). Este fenómeno se inscribe en un proceso más amplio de cuestionamiento al edadismo y a los modelos tradicionales de envejecimiento, los cuales han tendido a concebir la educación superior como una etapa exclusiva de la juventud.

Desde esta perspectiva, el envejecimiento activo y el debilitamiento del edadismo están erosionando el modelo de trayectorias educativas lineales, basado en la secuencia educación–trabajo–jubilación, abriendo paso a trayectorias educativas no lineales, planeando desafíos relevantes para las instituciones de educación superior, que no pueden replicar sin ajustes los modelos formativos diseñados para poblaciones jóvenes. El retorno a la educación superior en edades avanzadas no sólo desafía la lógica secuencial tradicional, sino que refuerza la idea del aprendizaje como un proceso continuo coherente con el envejecimiento activo (Formosa, 2014; McNair, 2009).

Por otra parte, Kooij et al, (2020) destacan que, en la relación entre aprendizaje a lo largo de la vida y sostenibilidad de las trayectorias laborales en contextos de envejecimiento, la posibilidad de actualizar competencias, redefinir roles y resignificar experiencias laborales contribuye tanto a la prolongación de la vida laboral como al bienestar subjetivo y al sentido de propósito en edades avanzadas. Los cambios tecnológicos, organizacionales y productivos han debilitado la concepción tradicional de la educación como garantía de inserción laboral estable, reforzando la necesidad de procesos formativos continuos que acompañen las trayectorias laborales en distintas etapas de la vida (Brown et al, 2011).

4.3. Sobre la dimensión Tecnológica

Son varios los elementos asociados a la Tecnología y su relación con la problemática en estudios. Por ejemplo, hay objetivos para personas de la tercera edad y la Asistencia Tecnológica, según Camacho Ruiz (2020) acá intervienen elementos tales como: a) Teorías en torno al envejecimiento activo (prendas de alta tecnología de electroestimulación y monitoreo remoto), b) TICs para mejorar la comunicación con y entre personas mayores, c) TICs como entrenamiento cognitivo y herramienta de entretenimiento y ocio, d) Domótica en el hogar: Acompañamiento remoto, seguridad y comodidad y e) la brecha digital: la dificultad de aprendizaje y uso tecnológico, por nombrar las principales.

Otro aspecto importante es la alfabetización digital o tecnológica, la cual parte de la premisa que uno de los mayores obstáculos en la alfabetización digital de adultos mayores no es la falta de interés, sino la Carga Cognitiva. Según la teoría de Sweller, el aprendizaje se ve comprometido cuando la cantidad de información nueva excede la capacidad de la memoria de trabajo. De acuerdo a Romero Juárez (2020) en el adulto mayor, la inteligencia fluida (capacidad de resolver problemas nuevos) tiende a disminuir, mientras que la inteligencia cristalizada (conocimiento acumulado) se mantiene. Por tanto, la alfabetización debe basarse en analogías del mundo físico.

Respecto de la Neuroplasticidad en la Tercera Edad y, contrario al mito del "cerebro estático", la neuroplasticidad persiste durante toda la vida. El aprendizaje de nuevas interfaces digitales actúa como un entrenamiento cognitivo que fortalece la reserva cognitiva[18] ayudando a retrasar síntomas de enfermedades neurodegenerativas. Se diseñan intervenciones que aprovechan esta plasticidad mediante el "andamiaje" (scaffolding[19]), retirando la ayuda técnica gradualmente a medida que el usuario gana confianza (Wood et al., 1976).

4.3.1. Principios de Diseño Universal y Asistencias Técnicas (AT)

Para que la alfabetización sea profunda, el entorno digital debe adaptarse al usuario (y no al revés). Aplicamos los principios de la ISO 9241-210 (Diseño centrado en el humano) lo que considera:

- Reducción de la Complejidad Visual: minimizar el ruido visual. Las interfaces deben tener una jerarquía clara donde el botón de acción principal sea inequívoco.
- Haptics y Retroalimentación Multisensorial: dado que la sensibilidad táctil disminuye, el uso de vibraciones (haptic feedback) o sonidos de confirmación es vital para que el usuario sepa que su acción fue registrada.
- Sistemas de Recuperación de Errores: el software debe permitir "deshacer" acciones de forma sencilla, eliminando el miedo al error catastrófico.
- La Dimensión Psicosocial: el Enfoque en la Auto competencia.
- La alfabetización tecnológica profunda no es solo técnica, es empoderamiento. El concepto de Autoeficacia Computacional (la creencia de que uno es capaz de utilizar la tecnología) es el predictor más fuerte de éxito.
- Estrategia: sustituir el aprendizaje memorístico por el aprendizaje funcional. No enseñamos "qué es un sistema operativo", enseñamos "cómo hablar con mis nietos que viven en otra ciudad".

Tabla N°2: Propuesta de Modelo de Intervención Gerontecnológica.

Fase	Acción Técnica	Objetivo Psicológico
Acomodación	Ajuste de fuentes, contraste y asistentes de voz.	Reducir la frustración sensorial inicial.
Exploración Guiada	Uso de aplicaciones de interés directo (salud/ocio).	Generar motivación intrínseca.
Consolidación	Resolución de problemas comunes de forma independiente.	Construir autoeficacia y autonomía.
Integración	Uso de la tecnología como parte de la rutina diaria.	Inclusión social plena.

Fuente: elaboración propia.

4.4. Sistemas de pensiones sostenibles y de cuidados

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID), en 2023, publicó su serie El futuro del trabajo en América Latina y el Caribe: ¿cómo avanzar hacia pensiones sostenibles para sociedades más longevas?, en el texto plantea los desafíos y oportunidades a los que se enfrentan los sistemas de pensiones de la región ante diversos escenarios como el cambio climático, los avances tecnológicos, el envejecimiento de la población y los cambios en los mercados laborales. Las proyecciones demográficas en relación al aumento de la longevidad y la baja natalidad van a tensionar la sostenibilidad financiera de los sistemas de pensiones en el tiempo, los cuales actualmente se ven afectados por la informalidad laboral y la baja cobertura. El texto propone dos recomendaciones de gran alcance; primero volver a definir el concepto de jubilación que permita abordar el envejecimiento desde una perspectiva de oportunidad incorporando los avances tecnológicos y tendencias sostenibles que implican

un cambio de paradigma. En segundo término, "abordar con sentido de urgencia el impacto del envejecimiento y de las otras grandes tendencias que enfrentarán los sistemas de pensiones de cara a 2050" (BID, 2023, p.6), a mayor demora, el costo para las generaciones futuras será más elevado.

En el contexto chileno, la OECD (2025) destaca[20] las medidas aprobadas en la Reforma de Pensiones[21] [22] [23], que permitirán aumentar los ingresos de las jubilaciones y estrechar las tasas de reemplazo[24] del país al promedio de la OECD. La Subsecretaria de Previsión Social (2025) destaca entre los principales hitos y beneficios los siguientes:

- Ampliación del Seguro de Lagunas Previsionales, que permitirá cubrir cotizaciones en periodos de cesantía.
- Inicio de la nueva cotización del empleador, con un 1% adicional que se irá incrementando gradualmente hasta alcanzar un 7%.
- Aumento de la Pensión Garantizada Universal (PGU) a $250.000 para pensionados de 82 años o más.
- Inicia pago de los beneficios del nuevo Seguro Social, incluyendo la Compensación por Años Cotizados y el Bono a mujeres por expectativas de vida.

Otro avance significativo es la aprobación del proyecto de Ley Integral de Personas Mayores y promoción del Envejecimiento Digno, Activo y Saludable[25]. El proyecto considera 9 derechos específicos[26]; siendo los más importantes "derecho a la igualdad y no discriminación arbitraria por razones de edad en la vejez, derecho a un trato digno y respetuoso y a la atención preferente, acceso a la justicia, derecho a la independencia y a la autonomía" (SENAMA, 2026[27]). La directora nacional del SENAMA, Claudia Asmad, destacó que "esta iniciativa permite contar con un instrumento jurídico inédito para nuestro país, otorgando un marco integral de protección, comprendiendo a las personas mayores como sujetos de derechos, contemplando un catálogo de derechos específicos, así como obligaciones y líneas de acción del Estado para su garantía, lo que constituye una innovación y avance jurídico fundamental para el reconocimiento de los derechos de las personas mayores. También robustecerá la institucionalidad y permitirá la descentralización efectiva de SENAMA, creando direcciones regionales, lo que nos permitirá avanzar en políticas públicas con mayor pertinencia territorial" (SENAMA, 2026).

4.5. Participación activa en la sociedad

La participación activa en la sociedad constituye un eje fundamental para abordar los desafíos asociados al envejecimiento poblacional y al futuro del trabajo, en tanto reconoce a las personas mayores como actores sociales con capacidad de agencia, experiencia acumulada y potencial de contribución en distintos ámbitos de la vida social, comunitaria y productiva. En contextos de mayor longevidad, promover la participación activa de las personas mayores se vuelve clave no sólo para su bienestar individual, sino también para la sostenibilidad social y económica de los países (CEPAL, 2022).

En América Latina y el Caribe, la participación social y laboral de las personas mayores se desarrolla en un escenario marcado por profundas desigualdades estructurales. Diversos informes recientes advierten que una proporción significativa de personas mayores continúa participando en actividades productivas y comunitarias, muchas veces en condiciones de informalidad, bajos ingresos y escasa

protección social, lo que limita el ejercicio pleno de una participación activa y digna (Confuturo, 2025; BID, 2023). Esta situación evidencia la necesidad de superar enfoques que conciben la participación en la vejez únicamente como una opción voluntaria, para avanzar hacia marcos que la reconozcan como un derecho social que requiere condiciones habilitantes.

Desde una perspectiva social, la participación activa de las personas mayores se asocia a múltiples beneficios, tales como mayores niveles de bienestar subjetivo, sentido de propósito, autonomía y vinculación social. A nivel colectivo, contribuye al fortalecimiento del capital social, la cohesión comunitaria y el intercambio intergeneracional de conocimientos y experiencias, aspectos especialmente relevantes en sociedades que enfrentan transformaciones aceleradas en el mundo del trabajo y en los sistemas de protección social (CEPAL, 2022).

En el ámbito laboral, estudios recientes muestran que el aumento de la esperanza de vida ha impulsado la prolongación de la vida laboral, ya sea por razones económicas, como pensiones insuficientes, o por motivaciones asociadas a la identidad, el reconocimiento social y el deseo de mantenerse activos (BID, 2023) (Confuturo, 2025). Sin embargo, esta participación suele darse en contextos caracterizados por discriminación por edad, por escasa adaptación de los entornos laborales y una limitada oferta de empleos decentes para personas mayores, lo que restringe las posibilidades de una participación activa de calidad.

Adicionalmente, informes nacionales recientes advierten que las barreras para la participación activa no se limitan tan sólo al ámbito laboral, sino que incluyen también restricciones en el acceso a espacios de participación comunitaria, brechas digitales y persistencia de estereotipos negativos asociados a la edad, los cuales refuerzan procesos de exclusión social y simbólica (Sello Mayor, 2023). En este sentido, promover la participación activa de las personas mayores requiere abordar simultáneamente factores culturales, institucionales y estructurales.

En síntesis, la participación activa en la sociedad emerge como un desafío central para el trabajo que viene, en tanto exige repensar los roles sociales y productivos de las personas mayores, fortalecer políticas de inclusión laboral y social y generar entornos que valoren la experiencia y diversidad etaria. Avanzar en esta dirección resulta fundamental para construir sociedades más inclusivas, intergeneracionales y preparadas para enfrentar los desafíos del envejecimiento poblacional.

5. Conclusiones

Al finalizar el presente capítulo recordar que el objetivo principal fue “describir los principales desafíos del mundo laboral que viene para las personas de más avanzada edad y que aún están en condiciones de aportar a los entornos socio productivos”. El presente trabajo logró ahondar en estos desafíos relacionados con A) Informalidad y brechas estructurales, B) Educación y formación permanente, C) Dimensión Tecnológica, D) Sistemas de pensiones sostenibles y de cuidados y E) Participación activa en la sociedad. Por otra parte, la hipótesis planteada: “si estos desafíos se abordan adecuadamente desde la política pública, las empresas y las organizaciones de la sociedad civil, las personas mayores podrán seguir aportando de manera efectiva a la sociedad” en base a los antecedentes expuestos se acepta o cumple con los fundamentos teóricos y de contexto ya presentados.

El envejecimiento de la población constituye uno de los principales desafíos sociales del siglo XXI y exige repensar las formas en que las sociedades comprenden y abordan la vejez. A lo largo del presente capítulo se ha analizado el envejecimiento activo y saludable como un enfoque que trasciende visiones reduccionistas y asistencialistas, situando a las personas mayores como sujetos de derechos, con capacidades, agencia y potencial de participación social. En este contexto, promover el envejecimiento activo y saludable implica un compromiso colectivo que articule derechos, políticas públicas y acción social, reconociendo la diversidad de experiencias de la vejez y garantizando condiciones dignas para todas las personas mayores.

El mundo del trabajo, especialmente del que viene o del "futuro" como se le ha denominado ampliamente, no resulta ajeno a este grupo objetivo y plantea importantes desafíos, los cuales, si se abordan adecuadamente desde la política pública, las empresas y las diferentes organizaciones, las personas mayores podrán seguir aportando de manera efectiva a la sociedad.

Relevar una vez más, en la perspectiva de la UNESCO (2016) el aprendizaje a lo largo de la vida, como un determinante fundamental del envejecimiento activo, en tanto contribuye al continuo desarrollo de habilidades, la adaptación a cambios sociales y tecnológicos, y el fortalecimiento del sentido de propósito en la vejez. Y para instituciones educativas como la nuestra el promover oportunidades de aprendizaje permanente para este grupo objetivo, lo cual permite reforzar la autonomía, la participación y la inclusión social de las personas mayores, especialmente en contextos de acelerada transformación digital y profundos cambios económicos, demográficos, políticos y sociales.

6. Agradecimientos

Al Departamento Tecnologías de Gestión de la Facultad Tecnológica por apoyar desde su Plan Operativo Estratégico - POE 2025 el desarrollo de una línea de investigación aplicada asociada al Envejecimiento Activo y Saludable considerando a las carreras y programa de: Diseño Industrial, Gestión de Personas y el Magíster en Gestión de la Innovación y el Emprendimiento Tecnológico.

7. Referencias bibliográficas

1. Atchley, R. C. (1989). A continuity theory of normal aging. *The Gerontologist, 29*(2). https://doi.org/10.1093/geront/29.2.183.

2. Avello-Martínez, R. Rodríguez-Monteagudo, M., Rodríguez-Monteagudo, P., Sosa-López, D., Companioni-Turiño, B. y Rodríguez-Cubela, R. (2019). ¿Por qué enunciar las limitaciones del estudio? *Medisur, 17*(1), 10-12. http://www.medisur.sld.cu/index.php/medisur/article/view/4126.

3. Baena, G. (2017). *Metodología de la Investigación*. Serie Integral por competencias. Tercera edición Ebook. http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf.

4. Blau, P. M. (1964). E*xchange and power in social life*. New York: Wiley.

5. BID. (2023). *El futuro del trabajo en América Latina y el Caribe: ¿cómo avanzar hacia pensiones sostenibles para sociedades más longevas?* Banco Interamericano de Desarrollo. https://doi.org/10.18235/0004953.

6. Boeren, E. (2017). *Understanding adult lifelong learning participation as a layered problem*. Palgrave Macmillan.

7. Brown, P., Lauder, H. y Ashton, D. (2011). The global auction: *The broken promises of education, jobs, and incomes*. Oxford University Press.

8. CEPAL. (2022). *Envejecimiento en América Latina y el Caribe: inclusión y derechos de las personas mayores*. https://www.cepal.org/es/publicaciones/48567-envejecimiento-america-latina-caribe-inclusion-derechos-personas-mayores

9. Confuturo. (2025). Fuerza laboral envejecida: *Entre la extensión de la vida laboral y la informalidad persistente*. https://observatorioenvejecimiento.uc.cl/wp-content/uploads/2025/07/CF1096-Disen%CC%83o-reporte-38-_Fuerza-laboral-envejecida-entre-la-extensio%CC%81n-de-la-vida-laboral-y-la-informalidad-persistente_-copia.pdf

10. Elder. (2009). The life course as developmental theory. In Examining lives in context: Perspectives on the ecology of human development. American Psychological Association.

11. Elder G. H., Jr. y Giele, J. Z. (Eds.). (2009). T*he Craft of Life Course Research*. The Guilford Press.

12. Formosa, M. (2014). Four decades of universities of the third age: Past, present, future. *Ageing & Society, 34*(1), 42–66. https://doi.org/10.1017/S0144686X12000797.

13. García-Peñalvo, F. J. (2021). Brecha digital y personas mayores: Desafíos para la inclusión en la era post-pandemia. *Journal of Interactive Media in Education*.

14. Havighurst, R. J. (1961). Successful aging. *The Gerontologist, 1*(1), 8–13. https://doi.org/10.1093/geront/1.1.8.

15. Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C. y Baptista-Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Sexta Edición - McGraw-Hill.

16. Homans, G. C. (1961). Social Behavior: *Its Elementary Forms*. New York: Harcourt, Brace & World.

17. Huenchuan, S. (Ed.). (2018). *Envejecimiento, personas mayores y Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible: perspectiva regional y de derechos humanos*. CEPAL. https://demografiaydesarrollo.org/wp-content/uploads/2025/05/Envejecimientopersonas-mayores-y-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible.pdf.

18. Kooij, D. T. A. M., Zacher, H., Wang, M. y Heckhausen, J. (2020). Successful aging at work: A process model to guide future research and practice. *Journal of Vocational Behavior, 121*, 103480. https://doi.org/10.1016/j.jvb.2020.103480.

19. McNair, S. (2009). *Learning, work and later life*. Open University Press.

20. Montt, G. y Contrucci, I. (2022). *Trabajo y personas mayores en Chile: Desafíos y políticas para la promoción del trabajo decente*. Organización Internacional del Trabajo.

21. Naciones Unidas. (enero de 2023). *World Social Report 2023: Leaving No One Behind In An Ageing World*. https://desapublications.un.org/publications/world-social-report-2023-leaving-no-one-behind-ageing-world.

22. Observatorio del Envejecimiento UC-Confuturo. (2025). *Fuerza laboral envejecida: entre la extensión de la vida laboral y la informalidad persistente*. https://observatorioenvejecimiento.uc.cl/wp-content/uploads/2025/07/CF1096-Disen%CC%83o-reporte-38-_Fuerza-laboral-envejecida-entre-la-extensio%CC%81n-de-la-vida-laboral-y-la-informalidad-persistente_-copia.pdf

23. OECD. (2025). *Pensions at a Glance 2025: OECD and G20 Indicators*. OECD Publishing, Paris. https://doi.org/10.1787/e40274c1-en.

24. OECD. (2020). *Society*. https://www.oecd.org/en/topics/society.html.

25. OIT. (2019). *Declaración del Centenario de la OIT para el Futuro del Trabajo*.

26. OMS. (2002). *Active ageing: A policy framework*. https://extranet.who.int/agefriendlyworld/wp-content/uploads/2014/06/WHO-Active-Ageing-Framework.pdf.

27. OMS. (2007). *Global age-friendly cities: a guide*. https://www.who.int/publications/i/item/9789241547307.

28. OMS. (2020). *Década del Envejecimiento Saludable 2021–2030*. https://www.who.int/es/initiatives/decade-of-healthy-ageing.

29. OMS. (2025). *Mundo amigable con las personas mayores*. https://extranet.who.int/agefriendlyworld/.

30. Organización Mundial de la Salud. (2015). *Informe mundial sobre el envejecimiento y la salud*.

31. Organización Mundial de la Salud. (2020). *Decade of Healthy Ageing: Baseline Report*. https://www.who.int/publications/i/item/9789240017900.

32. ONU. (2002). *Plan de Acción Internacional de Madrid sobre el Envejecimiento*. https://social.un.org/ageing-working-group/documents/mipaa-sp.pdf.

33. ONU. (2015). *Principios de las Naciones Unidas en favor de las personas de edad*. https://www.ohchr.org/en/instruments-mechanisms/instruments/united-nations-principles-older-persons.

34. Romero Juárez, M. G. (2020). E*nseñanza de programación de estructuras de datos aplicando estrategias didácticas basadas en la teoría de carga cognitiva*.

35. Sello Mayor. (2023). *El escenario laboral de los y las trabajadoras mayores de 60 años en Chile*.

36. SENAMA. (2021). *Programas del Servicio Nacional del Adulto Mayor*. https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmID=100959&prmTIPO=DOCUMENTOCOMISION#::text=Este%20programa%20permite%20que%20el,otorgar%20un%20respiro%20al%20cuidador.

37. SENAMA. (5 de enero de 2026). *Ley Integral de Personas Mayores se aprueba en el congreso y queda a la espera de la promulgación del Presidente Gabriel Boric*. https://www.senama.gob.cl/noticias/ley-integral-de-personas-mayores-se-aprueba-en-el-congreso-y-queda-a-la-espera-de-la-promulgacion-de.

38. Subsecretaria de Previsión Social. (2025). *Beneficios de la reforma*. https://previsionsocial.gob.cl/pensiones-para-chile/#beneficios.

39. UNESCO. (2016). *Recomendación sobre el Aprendizaje y la Educación de Adultos*. Instituto de la UNESCO para el Aprendizaje a lo Largo de Toda la Vida. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000245179_spa.

8. Referencias web:

1. En https://rhmanagement.cl/personas-mayores-clave-para-reconfigurar-el-trabajo-del-futuro/ consultada el 11 de diciembre de 2025.

2. Piña-Morán, Marcelo, Olivo-Viana, María Gladys, Martínez-Matamala, Carlos, Poblete-Troncoso, Margarita, y Guerra-Guerrero, Verónica. (2022). Envejecimiento, calidad de vida y salud. Desafíos para los roles sociales de las personas mayores. Rumbos TS, 17(28), 7-27. https://dx.doi.org/10.51188/rrts.num28.642.

3. CEPAL/OIT, 2018. https://www.futureforwork.com/envejecimiento-de-la-poblacion-y-futuro-del-trabajo-un-desafio-global-que-requiere-mirar-a-largo/ consultada el 11 de diciembre de 2025

4. Aguilera-Bórquez, Tamara, Hernández-Fajardo, Catalina y Jorquera-Gutiérrez, Ricardo. (2023). Trayectorias laborales de académicos y académicas universitarias en la etapa previa a la jubilación. Rumbos TS, 18(30), 27-59. https://dx.doi.org/10.51188/rrts.num30.738 consultada el 19 de diciembre de 2025.

5. En https://sellomayor.cl/wp-content/uploads/2024/10/MNEWSelloMayor_-El-escenario-laboral-de-los-y-las-trabajadoras-mayores-de-60.pdf consultada el 11 de diciembre de 2025

6. En https://estudiosdevejez.uc.cl/noticias/fuerza-laboral-envejecida-entre-la-extension-de-la-vida-laboral-y-la-informalidad-persistente/ consultada el 23 de diciembre de 2025

7. En https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/El-futuro-del-trabajo-en-America-Latina-y-el-Caribe-como-avanzar-hacia-pensiones-sostenibles-para-sociedades-mas-longevas.pdf consultada el 23 de diciembre de 2025.

8. Tapia-Troncoso, W., Cuéllar, E., Gamboa, D. y García-Huitrón, M. (2023). El futuro del trabajo en América Latina y el Caribe: ¿cómo avanzar hacia pensiones sostenibles para sociedades más longevas? Banco Interamericano de Desarrollo. https://doi.org/10.18235/0004953.

9. En https://observatorioenvejecimiento.uc.cl/ consultada el 12 de diciembre de 2025.

10. En https://www.oitcinterfor.org/taxonomy/term/3366 consultada el 30 de diciembre de 2025.

11. En https://www.ine.gob.cl/sala-de-prensa/prensa/general/noticia/2025/08/04/tasa-de-ocupaci%C3%B3n-informal-a-nivel-nacional-lleg%C3%B3-a-26-0-en-el-trimestre-abril-junio-de-2025 consultada el 30 de diciembre de 2025.

12. En https://www.ine.gob.cl/docs/default-source/informalidad-y-condiciones-laborales/boletines/2025/ene-informalidad-32.pdf consultada el 30 de diciembre de 2025.

13. En https://elpais.com/chile/2025-01-29/chile-dispone-por-ley-despues-de-43-anos-que-las-empresas-deben-aportar-a-las-pensiones-de-sus-trabajadores.html consultada el 06 de enero de 2026.

14. En https://prensa.presidencia.cl/comunicado.aspx?id=296512 consultada el 06 de enero de 2026.

15. En https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmID=285307&prmTipo=DOCUMENTO_COMISION consultada el 06 de enero de 2026.

9. Notas:

1 En el documento "El Futuro del Trabajo en América Latina y el Caribe - ¿Cómo avanzar hacia pensiones sostenibles para sociedades más longevas?, de la y los autores Ekaterina Cuéllar Khmelevskaia, Waldo Tapia, Daniel Gamboa y Manuel García-Huitrón. BID. 2023.

2 Sólo a modo de referencia, señalar que Según el Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (INE, 2022), la población mayor de 60 años había aumentado sostenidamente, desde un 12,4% el año 2007 a un 18,1% en 2022.

3 Ver el documento "El escenario laboral de los y las trabajadoras mayores de 60 años: trayectorias heterogéneas" de las y el autor Mariana Bargsted, Elena Soto-Contreras y Jesús Yeves. Núcleo Milenio Evolución del Trabajo - 2024. Disponible en https://sellomayor.cl/wp-content/uploads/2024/10/MNEWSelloMayor_-El-escenario-laboral-de-los-y-las-trabajadoras-mayores-de-60.pdf

4 Hacemos referencia al documento "Fuerza laboral envejecida: entre la extensión de la vida laboral y la informalidad persistente de la Pontificia Universidad Católica de Chile y Compañía de Seguros Confuturo del 2025. Más información en https://observatorioenvejecimiento.uc.cl/

5 De acuerdo al documento Se entiende como nivel educativo alto aquel donde se cursaron estudios, incompletos o completos, de educación técnica o superior, en sus distintos niveles (pre y postgrado).

6 El estudio agrega que, el grado de dependencia funcional —esto es, la capacidad para realizar actividades básicas e instrumentales de la vida diaria— influye directamente en la posibilidad de mantenerse activo en el mercado de trabajo. Independientemente del grupo etario, las personas autovalentes, es decir, aquellas que no presentan dependencia funcional, exhiben consistentemente mayores tasas de ocupación laboral. Le siguen quienes tienen dependencia leve, caracterizada por un impacto moderado en la funcionalidad cotidiana. (Observatorio del Envejecimiento UC-Confuturo, 2025, 13).

7 De acuerdo al documento, este descenso puede explicarse por dos factores principales: el deterioro de la salud que limita la capacidad física y cognitiva para el trabajo, y el acceso más frecuente a pensiones de invalidez o jubilación anticipada que permiten el retiro cuando la funcionalidad se ve comprometida de manera importante. Los datos reflejan claramente esta dinámica. Por ejemplo, en el grupo de 65 a 69 años, el 50,2% de los hombres sin dependencia continúa trabajando, mientras que esta proporción cae dramáticamente a 7,1% en quienes presentan dependencia leve y a 6,9% en aquellos con dependencia severa. En las mujeres de esta misma edad, las tasas de ocupación disminuyen del 22,7% entre las autovalentes al 7,3% y 10,1% en los grupos con dependencia leve y severa, respectivamente. En tramos etarios mayores, estas diferencias se amplifican aún más, evidenciando el impacto crítico que la salud y la funcionalidad tienen sobre la capacidad de permanecer en el empleo (Observatorio del Envejecimiento UC-Confuturo, 2025, 13).

8 Según Liu, 2008 y Tucker, 2004. Citado por Roberto Hernández y otros autores. 2014.

9 En https://www.oitcinterfor.org/taxonomy/term/3366 consultada el 30 de diciembre de 2025.

10 Con una disminución de 1,0 puntos porcentuales (pp.) en doce meses, de acuerdo con la información registrada en el último Boletín de Informalidad Laboral. En https://www.ine.gob.cl/sala-de-prensa/prensa/general/noticia/2025/08/04/tasa-de-ocupaci%C3%B3n-informal-a-nivel-nacional-lleg%C3%B3-a-26-0-en-el-trimestre-abril-junio-de-2025 consultada el 30 de diciembre de 2025.

11 En https://www.ine.gob.cl/docs/default-source/informalidad-y-condiciones-laborales/boletines/2025/ene-informalidad-32.pdf consultada el 30 de diciembre de 2025.

12 Este tipo de trayectoria ha sido ampliamente documentado en estudios sobre el mercado laboral, y responde tanto a factores estructurales como a estrategias de inserción individual frente a los cambios en la demanda laboral y la protección social.

13 El estudio plantea también que la dificultad para probar legalmente estas prácticas, sumada a una cultura organizacional que muchas veces invisibiliza el problema, contribuye a su reproducción.

14 En https://chile.un.org/sites/default/files/2023-01/wcms_865252.pdf consultada el 02 de enero de 2026.

15 Los empleadores suelen asociar a los trabajadores mayores con mayores gastos, derivados de sistemas de remuneración basados en la antigüedad, beneficios laborales adicionales y posibles adaptaciones en las condiciones de trabajo (Observatorio del Envejecimiento UC-Confuturo, 2025, 39).

16 Tales como horarios flexibles, programas de mentoría intergeneracional, planes de formación continua y reconocimiento explícito de su experiencia.

17 En https://chile.un.org/sites/default/files/2023-01/wcms_865252.pdf consultada el 02 de enero de 2026.

18 Stern (2002): Introdujo el concepto de Reserva Cognitiva, que explica por qué el cerebro sigue siendo plástico y capaz de compensar el deterioro en la vejez.

19 Park & Reuter-Lorenz (2009): Autores de la Scaffolding Theory of Aging and Cognition (STAC), que es la base técnica del "andamiaje" que mencionaste anteriormente.

20 Informe "Pensions at a Glance 2025".

21 Ley N°21.735, crea un nuevo sistema mixto de pensiones y un seguro social en el pilar contributivo, mejora la pensión garantizada universal y establece beneficios y modificaciones regulatorias que indica. Publicada en el Diario Oficial el día 26 de marzo de 2025 y entró en vigencia diferida el 1° de mayo.

22 Aprobada el 28 de enero de 2025 en la Sala de la Cámara de Diputadas y Diputados por 110 votos a favor y 38 en contra. https://elpais.com/chile/2025-01-29/chile-dispone-por-ley-despues-de-43-anos-que-las-empresas-deben-aportar-a-las-pensiones-de-sus-trabajadores.html

23 Promulgación el 20 de marzo de 2025 por el Presidente de la República Gabriel Boric Font, junto a los ministros y ministras del Trabajo y Previsión Social, Jeannette Jara; de Hacienda, Mario Marcel; de Interior y Seguridad Pública, Álvaro Elizalde; Secretaría General de la Presidencia, Macarena Lobos; de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación y vocera (s), Aisén Etcheverry; de Desarrollo Social y Familia, Javiera Toro; de la Mujer y la Equidad de Género, Antonia Orellana; y el alcalde de Peñalolén, Miguel Concha. El presidente señaló que "la Reforma de Pensiones es un logro colectivo de Chile (…) Su aprobación fue transversal, mayoritaria y da una señal al país también de que trabajando unidos Chile avanza". https://prensa.presidencia.cl/comunicado.aspx?id=296512

24 Relación entre la pensión y el sueldo promedio de la persona en su etapa activa de trabajo.

25 Aprobado el lunes 5 de enero de 2026 en la Sala de la Cámara de Diputados y Diputadas por 124 votos a favor y 1 abstención.

26 Título Preliminar contempla objeto, principios y conceptos (artículos 1 al 3). Título I Derechos de las personas mayores (artículos 4 al 12). Título II De las acciones del Estado para la promoción del envejecimiento digno y el apoyo y cuidado integral de las personas mayores (artículos 13 al 15). Título III Consejos Asesores Regionales de Personas Mayores (artículo 16). Título IV Del abandono social de la persona mayor (artículos 17 y 18). Título V Modificaciones legales (artículo 19 y siguientes). https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmID=285307&prmTipo=DOCUMENTO_COMISION

27 Servicio Nacional del Adulto Mayor, https://www.senama.gob.cl/

TECNOLOGÍAS EMERGENTES Y LA RECONFIGURACIÓN DEL TRABAJO PUBLICITARIO EN CHILE: ANÁLISIS DE LA TRANSICIÓN HACIA MODELOS DE CORTO PLAZO

EMERGING TECHNOLOGIES AND THE RECONFIGURATION OF ADVERTISING WORK IN CHILE: ANALYSIS OF THE TRANSITION TOWARDS SHORT-TERM MODELS

José Ariel Rementeria Piñones[1], **Armando Muñoz Moreno**[1], **Ramón Orellana Muñoz**[1], **David Núñez Núñez**[1]

[1]*Departamento de Publicidad e Imagen, Facultad Tecnológica, Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile (José Ariel Rementeria Piñones, jose.rementeria@usach.cl; Armando Muñoz Moreno, armando.munoz@usach.cl; Ramón Orellana Muñoz, ramon.orellana@usach.cl; David Núñez Núñez, david.nunez@usach.cl)*

https://doi.org/10.17613/wey9m-j2924

Resumen

Este capítulo tiene como propósito analizar la influencia de las tecnologías emergentes en la industria publicitaria chilena y su impacto en la configuración del ejercicio profesional de los publicistas, particularmente en el aumento de modalidades de empleo a corto plazo, como el trabajo freelance y por proyectos. La metodología corresponde a una investigación documental, basada en la búsqueda, recopilación, selección, análisis y síntesis de información proveniente de fuentes secundarias relevantes, tales como artículos académicos e informes de la industria.
El objetivo es examinar la influencia de las tecnologías emergentes en el contexto publicitario chileno, mediante la exploración de sus antecedentes teóricos y empíricos, con el fin de comprender la reconfiguración del mercado laboral hacia modelos de trabajo más flexibles y determinar las implicancias de estas tendencias para los profesionales del sector. Entre los principales hallazgos destaca la adopción activa de tecnologías como la Inteligencia Artificial (IA), el análisis de datos, la publicidad programática y la automatización. Esta digitalización, junto con la necesidad de agilidad y especialización, está impulsando una transformación en los modelos de empleo. Se observa un incremento en la demanda de habilidades específicas y una mayor propensión a la contratación bajo esquemas de proyectos o freelance, en línea con tendencias globales orientadas a optimizar costos y acceder a talento creativo de manera flexible. La principal conclusión es que la integración de tecnologías emergentes en la publicidad chilena está catalizando una reconfiguración estructural del mercado laboral, transitando desde modelos tradicionales hacia formas de empleo más flexibles y de corto plazo. Esto exige una constante adaptación y especialización por parte de los profesionales, a fin de mantenerse competitivos en un ecosistema dinámico y tecnológicamente avanzado.

Palabras clave: Tecnologías Emergentes, Publicidad Chilena, Trabajo Flexible, Habilidades Digitales, Mercado Laboral.

Abstract:

This chapter aims to analyse the influence of emerging technologies on the Chilean advertising industry and their impact on the configuration of professional practice among advertising professionals, particularly regarding the rise of short-term employment modalities such as freelance and project-based work. The methodology corresponds to a documentary research approach, involving the search, collection, selection, analysis, and synthesis of information drawn from relevant secondary sources, including academic articles and industry reports. The objective is to examine the influence of emerging technologies within the Chilean advertising context by exploring its theoretical and empirical foundations, in order to understand the reconfiguration of the labour market towards more flexible working models and to determine the implications of these trends for professionals in the sector. Among the main findings is the active adoption of technologies such as Artificial Intelligence (AI), data analytics, programmatic advertising, and automation. This digitalisation, coupled with the need for agility and specialisation, is driving a transformation in employment models. There is a noticeable increase in the demand for specific skill sets and a growing tendency to hire advertising professionals under freelance or project-based schemes, in line with global trends aimed at cost optimisation and flexible access to creative and specialised talent. The principal conclusion is that the integration of emerging technologies into Chilean advertising is catalysing a structural reconfiguration of the labour market, shifting from traditional employment models towards more flexible and short-term forms of work. This transition demands ongoing adaptation and specialisation from professionals in order to remain competitive within a dynamic and technologically advanced ecosystem.

Keywords: Emerging technologies, Chilean advertising, Flexible work, Digital skills, Labour market.

1. Introducción

La industria publicitaria se encuentra en una encrucijada transformadora, impulsada por la vertiginosa evolución de las tecnologías emergentes, entendidas como las innovaciones que se encuentran en etapa de desarrollo o de aplicación temprana que aún no están masificadas pero que tienen un alto potencial de transformar los procesos económicos, sociales, culturales y creativos. La OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD] 2024) establece las tecnologías emergentes, desde la biología sintética y la neurotecnología hasta la inteligencia artificial, las tecnologías inmersivas y cuánticas, se caracterizan por un rápido desarrollo y una incertidumbre en la trayectoria y el impacto.

La Inteligencia Artificial (IA), el Big Data, la automatización y la publicidad programática no solo están redefiniendo la manera en que las marcas se comunican con sus audiencias, sino que también están impactando profundamente las estructuras laborales y los modelos de empleo de los y las profesionales de la publicidad (Instituto Mexicano de Teleservicios [IMT], 2025; Dejnak, 2026; Galván, 2026)). En Chile, esta ola de innovación tecnológica no es una excepción, y su adopción está marcando un antes y un después en la dinámica de agencias publicitarias, departamentos de comunicación, medios, productoras y anunciantes.

Tradicionalmente, las y los publicistas operaban en un entorno con mayor estabilidad laboral, inserto en agencias y empresas con contratos a largo plazo. Sin embargo, en la actualidad, caracterizado por la necesidad de agilidad, la demanda de habilidades altamente especializadas y la búsqueda de eficiencia operativa, está favoreciendo la emergencia de modelos de trabajo a corto plazo, como el trabajo por cuenta propia o "freelance que es una persona que trabaja por su propia cuenta, de forma independiente, brindando servicios profesionales de alguna clase sin establecer un contrato de exclusividad con un solo cliente o empresa." (Duoclaboral, 2020), el trabajo por proyectos y la contratación por honorarios. Este fenómeno, si bien ofrece flexibilidad y acceso a diversos tipos de talentos para las empresas, plantea desafíos y oportunidades significativas para los y las publicistas chilenos, quienes deben adaptarse a un mercado cada vez más dinámico, incierto y competitivo.
El presente artículo explora esta intersección entre las tecnologías emergentes y la configuración del empleo publicitario en Chile. Se analizará cómo la adopción de estas innovaciones está correlacionada con la creciente prevalencia de modalidades de trabajo flexible, examinando los antecedentes teóricos y empíricos que sustentan esta transformación. Se busca establecer una visión integral de los cambios que enfrentan los y las publicistas en el país, delineando las implicaciones de esta reconfiguración laboral en un ecosistema publicitario en constante evolución e incertidumbre.

1. Antecedentes teóricos y empíricos

La transformación del mercado laboral en la industria publicitaria, impulsada por las tecnologías emergentes, puede entenderse a través de diversas lentes teóricas y hallazgos empíricos.

1.1. Teoría de los costos de transacción (TCE)

La TCE (Williamson, 1985; Coase, 1988) sugiere que las empresas toman decisiones sobre la estructura organizacional (hacer internamente vs. externalizar) basándose en los costos asociados a la realización de transacciones en el mercado. En el contexto de la publicidad, la complejidad creciente de las herramientas tecnológicas (IA, programática, entre otras), la velocidad de los cambios y la necesidad de habilidades altamente especializadas, pueden aumentar los costos de mantener equipos internos con todas las competencias requeridas. Contratar freelancers o profesionales por proyectos, que ya poseen estas habilidades específicas, puede reducir los costos de capacitación, infraestructura y gestión de personal fijo. Como señala el estudio respecto al tema, si bien las plataformas freelancing reducen las barreras administrativas, se generan nuevos costos de transacción en la definición de tareas y la gestión de proyectos, pero a menudo se prioriza el acceso a talento especializado y el ahorro de tiempo sobre el ahorro de dinero (Lustig, Rintel, Scult y Suri, 2020). Autores como Eksioglu (2024), establece que uno de los aspectos negativos a considerar para los freelancers es la tendencia de las plataformas a monopolizarse con el tiempo. Grandes plataformas como Fiverr y Upwork ya controlan una gran parte del mercado, lo que las convierte en monopolios para los freelancers y un hecho positivo es que los freelancers puedan elegir entre la variedad de plataformas que ofrece más oportunidades de trabajo y también les brinda la posibilidad de negociar con los empleadores de manera más justa.

1.2. Teoría de la visión basada en recursos (RBV)

La RBV (Barney, 1991) postula que la ventaja competitiva de una empresa proviene de la posesión y el uso de recursos y capacidades valiosos, raros, inimitables y no sustituibles. En un entorno tecnológico en constante cambio, mantener internamente todas las capacidades necesarias, por ejemplo; expertos en IA aplicada a marketing, analistas de datos, especialistas en publicidad programática avanzada, puede ser costoso y poco flexible. La externalización a freelancers o agencias especializadas permite a las empresas acceder rápidamente a recursos y capacidades específicas que no han logrado tener internamente, o que solo necesitan para proyectos puntuales o esporádicos. Como indica Lavri (2023), muchas organizaciones ven la colaboración con freelancers especializados como una estrategia ágil y a largo plazo para satisfacer las demandas fluctuantes del mercado, evitando la necesidad de capacitar continuamente al personal permanente.

1.3. Metodologías ágiles y la economía gig

La adopción de metodologías ágiles en el marketing y la publicidad, que enfatizan la flexibilidad, la adaptabilidad y la respuesta rápida a los cambios del mercado, se ve facilitada por la economía del gig (Bedoya y Peláez, 2023). WorkGenius (2025) destaca que los freelancers permiten a los equipos de marketing operar de manera más ágil, facilitando lanzamientos más rápidos, mayor adaptabilidad, acceso a conocimiento especializado y escalabilidad eficiente. Esto permite a las empresas probar proyectos innovadores sin compromisos a largo plazo.

Empíricamente, el mercado global ha visto un auge significativo del trabajo freelance. Se estima que 64 millones de estadounidenses, el 38 % de la fuerza laboral estadounidense, trabajaron como freelance el año 2023, un aumento de 4 millones con respecto a 2022, estos trabajadores freelance aportaron casi 1,3 billones de dólares en ingresos anuales a la economía estadounidense (Segal, 2024). El estudio de Upwork (2023) encontró que el 78% de los freelancers sienten que la tecnología ha facilitado la búsqueda de trabajo. Esta tendencia se refleja también en la industria de la publicidad y el marketing, donde la demanda de especialistas en habilidades digitales específicas a menudo se cubre a través de contratos por proyecto o freelance.

En Chile no existen estadísticas específicas sobre trabajo freelance; la referencia más cercana son las personas ocupadas en plataformas digitales. A junio de 2024, se estiman 289.172 trabajadores en esta categoría, equivalentes al 2,8% de la población ocupada, en comparación con 2020, cuando se registraban 110.933, la cifra se ha multiplicado por 2,6 (INE, 2024).

La Encuesta Bicentenario 2022 muestra un cambio en las preferencias laborales: quienes optan por un trabajo flexible pero inestable aumentaron del 29% en 2013 al 43%, mientras que quienes prefieren estabilidad y jornada fija de 8 horas bajaron del 69% al 54% (Pontificia Universidad Católica de Chile [PUC], 2022). En la misma línea, Talent Trends 2024 indica que un 76% de los trabajadores en Chile prioriza acuerdos híbridos o flexibles, un 42% ya se desempeña bajo esa modalidad, y un 38% ha debido pasar más tiempo en la oficina por políticas internas y reuniones presenciales (Citado por Cámara de Comercio de Santiago, 2024).

1.4. Tecnología, flexibilidad laboral y precarización laboral

Sin embargo, no toda la flexibilidad laboral es inherentemente positiva. Un estudio español llegó a la conclusión que existe una relación directa entre el aumento de la automatización y el aumento de precarización laboral, hay una correlación entre el uso de la automatización y la disminución de las contrataciones en el sector industrial (Pérez, 2024). Otro estudio realizado por Moisá, Moreno y Álvarez (2024) en Colombia, critica cómo la tecnología, mediante plataformas como Rappi, genera ecosistemas de gestión algorítmica que precarizan el trabajo. Se destaca el control y la negación del carácter laboral de los trabajadores, intensificando la precarización en contextos con estructuras laborales ya frágiles. La innovación se instrumentaliza para flexibilizar y desproteger, evidenciando los impactos negativos de la digitalización en los derechos laborales (Henríquez, 2026). La digitalización y las plataformas de la economía del gig pueden facilitar nuevas formas de negocio, pero también pueden erosionar las condiciones de empleo tradicionales, llevando a una mayor incertidumbre, salarios más bajos y falta de beneficios sociales para algunos trabajadores (Baeza y Márquez, 2023). La flexibilidad, en este sentido, puede ser una doble arista, ofreciendo autonomía a algunos, pero imponiendo inestabilidad a otros. Esto subraya la importancia de analizar no solo la cantidad sino también la calidad de las oportunidades laborales en este nuevo ecosistema (Garfinkel, 2025). En la Dirección del Trabajo del Ministerio del Trabajo y Previsión Social de Chile, existen dos perspectivas en cuanto a la flexibilidad laboral, la negativa: “La flexibilidad es sinónimo de políticas de ajuste empresarial para obtener más trabajo por menos costos.” (2024, párr. 3). Y, la parte positiva de la flexibilidad es:

> … hallar un equilibrio entre la libertad de empresa y la libertad de los trabajadores; un equilibrio que permita repartir las ganancias de la flexibilidad entre empleadores y asalariados, para no dejar que espontáneamente las empresas obtengan adecuación y ganancia y los trabajadores sólo inseguridad y menos bienestar y libertad. (Dirección del Trabajo del Ministerio del Trabajo y Previsión Social de Chile (2024, párr. final)

Los autores Arriagada y otros, en su último estudio sobre las plataformas en Chile, concluyen que "A dos años de la entrada en vigor de la ley que regula a las plataformas digitales en el país los trabajadores de ellas no ven cambios significativos en su situación laboral, aunque se ven mejoras." (2024, párr. 1).

1.5. Las Tecnologías Digitales y la Inteligencia Artificial en Chile

De acuerdo a los resultados de Índice Latinoamericano de Inteligencia Artificial (ILIA, 2024), que mide el nivel de preparación de cada país estudiado en relación con la IA, Chile está en el primer lugar del ranking, con 73,07 puntos, seguido de Brasil con 69,30 y Uruguay con 64,98, de un máximo de 100 puntos. Chile está avanzado en la implementación de tecnologías basadas en la IA, y también está orientando sus estrategias hacia la consolidación y expansión de estas tecnologías en todos los sectores de su economía y sociedad (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2024). Cuenta, además, con un entorno favorable que potencia la investigación, el desarrollo y la adopción de tecnologías, promoviendo la innovación y aplicación de IA. De acuerdo con ILIA (2024), podemos decir que Chile se destaca como líder regional en IA con una alta inversión en infraestructura tecnológica, programas de formación, y políticas de apoyo, obteniendo altos puntajes en todas las dimensiones del índice.

De acuerdo al Ranking Mundial de Competitividad Digital del Institute for Management Development (IMD, 2024), en el panorama regional, Chile emerge como la economía latinoamericana con el desempeño más notable, alcanzando el puesto 42 en la clasificación general. Este posicionamiento lo sitúa significativamente por delante de otras economías de la región, como Brasil (57) y Colombia (58), evidenciando un progreso relativo en la implementación de políticas y la inversión en el ecosistema digital. A nivel continental, Chile se consolida como la tercera nación más competitiva digitalmente en América, únicamente superado por las potencias norteamericanas Estados Unidos (4) y Canadá (13).

2. Metodología Utilizada

- Para este escrito se realizó una revisión documental, que implicó una lectura sistemática y crítica de fuentes secundarias de información. Este enfoque fue elegido por su capacidad para explorar un fenómeno complejo a través de la vasta cantidad de datos existentes, sin la necesidad de generar nuevos datos primarios.

2.1. Definición del Objeto de Estudio y Preguntas de Investigación:

- Objeto: Influencia de las tecnologías emergentes en la publicidad chilena y su impacto en las modalidades de trabajo a corto plazo de los publicistas.
- Preguntas Guía: Elaboración de preguntas específicas que orientaron la búsqueda y análisis de la información, como: ¿Cuáles son las tecnologías emergentes más relevantes en la publicidad global y chilena? ¿Cómo estas tecnologías están reconfigurando las tareas y roles de los publicistas? ¿Cuál es la situación actual del mercado laboral para publicistas en Chile en términos de empleo a corto plazo?

2.2. Búsqueda y Recopilación de Fuentes:

- Palabras Clave: Identificación de términos clave en español e inglés (por ejemplo: "publicidad Chile tecnologías emergentes", "Inteligencia Artificial publicidad Chile", "trabajo freelance publicistas Chile", "emerging technologies advertising", "gig economy creative industries").
- Bases de Datos y Motores de Búsqueda: Utilización de recursos académicos (Google Scholar, ResearchGate) y profesionales (sitios web de asociaciones gremiales como ANDA e Interactive Advertising Bureau IAB Chile, consultoras como Deloitte y Statista, publicaciones especializadas como Marketing Directo Latam y Diario Financiero).
- Tipo de Fuentes: Artículos académicos, informes de investigación de mercado, estudios de consultoras, noticias de prensa especializada y documentos de asociaciones industriales, priorizando la variedad para obtener una visión completa.

2.3 Selección y Filtrado de la Información:

- Criterios de Relevancia: Selección de fuentes que abordaran directamente la intersección entre tecnología y empleo en publicidad, con énfasis en el contexto chileno.
- Criterios de Actualidad: Priorización de publicaciones recientes (últimos 5-10 años) para reflejar las tendencias más actuales del fenómeno.
- Criterios de Credibilidad: Evaluación de la reputación de la fuente (autor, editorial, institución) para asegurar la fiabilidad de la información.

2.4. Lectura Crítica y Análisis de Contenido:

- Lectura profunda de las fuentes seleccionadas para identificar ideas principales, argumentos, datos empíricos y conclusiones relevantes.
- Identificación de patrones, tendencias y posibles contradicciones entre las distintas fuentes para una interpretación matizada.
- Extracción de citas textuales y parafraseo de información clave, registrando los datos de la fuente para la correcta citación según las Normas APA.

2.5. Organización y Síntesis de la Información:

- Clasificación de la información recopilada según las secciones del artículo (introducción, antecedentes teóricos, resultados, conclusiones).
- Elaboración de tablas y esquemas conceptuales para organizar datos y facilitar la interpretación visual de tendencias.
- Síntesis de los hallazgos para construir una narrativa coherente y fundamentada que respondiera a las preguntas de investigación.

2.6. Redacción del Artículo:

- Elaboración del borrador del artículo, estructurado en las secciones solicitadas por el propósito del estudio.
- Integración de las citas y referencias bibliográficas según las Normas APA séptima edición.
- Revisión y edición para asegurar claridad, coherencia, precisión y cumplimiento de los requisitos de formato y estilo.

Para complementar la revisión documental, se incorporan hallazgos de un estudio cualitativo exploratorio reciente (Orellana, Núñez y Castillo, 2024), realizado en el marco de un Proyecto de Innovación Docente (PID) en la Universidad de Santiago de Chile. Este estudio, basado en entrevistas a profesionales de agencias de publicidad de Santiago de Chile, provee datos empíricos directos sobre la adopción y el impacto de herramientas de IA generativa en el proceso creativo local, lo que permite enriquecer y sustentar el análisis de la presente investigación. Es importante señalar que los hallazgos de este estudio exploratorio, aunque valiosos, se limitan a la perspectiva de un pequeño grupo de profesionales creativos publicitarios en Santiago y no son representativos de la totalidad de la industria publicitaria en Chile, ni de otros sectores productivos. No obstante, representan un punto de partida fundamental para comprender la adopción de estas tecnologías en el contexto local y pueden servir como base para futuras investigaciones de mayor escala.

3. Análisis e Interpretación de Resultados

La convergencia de tecnologías emergentes y las dinámicas del mercado laboral está redefiniendo el rol y las oportunidades para los y las publicistas chilenos. Los resultados de esta investigación documental revelan una clara tendencia hacia la digitalización y la consecuente flexibilización de las modalidades de empleo.

3.1. Adopción de Tecnologías Emergentes en la Industria Publicitaria Chilena

La industria publicitaria en Chile está adoptando activamente tecnologías que prometen mayor eficiencia, personalización y alcance. De acuerdo con los informes de Adity (2025), se proyectaba que más del 70% de la publicidad digital en Chile se gestionaría mediante plataformas automatizadas en el 2025. Deloitte (2024) predijo que, hacia el segundo semestre del 2025, el 25% de las empresas que utilizan IA genética lanzarían pilotos de IA agente o pruebas de concepto, cifra que aumentará al 50% en 2027. En el contexto chileno, las herramientas de IA generativa han comenzado a ser adoptadas por la industria. El estudio cualitativo de Orellana, Núñez y Castillo, (2024) identificó a Midjourney como la herramienta de generación de imágenes más popular entre los profesionales creativos, debido a su fiabilidad y facilidad de uso. Asimismo, ChatGPT ha demostrado ser una herramienta fundamental en las etapas iniciales de ideación, actuando como un gran descompresor de equipos y un aliado productivo para potenciar las ideas (Rodríguez y otros, 2023).

3.1.1. Inteligencia Artificial y Machine Learning:

La IA está siendo implementada en Chile para diversas aplicaciones de mejora en el ámbito publicitario, con énfasis en la experiencia de cliente, recopilación, análisis de datos y eficiencia. Por ejemplo, al año 2022, un 33% de las grandes empresas chilenas ya utilizaba IA en áreas como marketing, ventas, segmentación de clientes y estrategias de precios y promociones y un 39,6 % adicional tiene planes de implementarla en un futuro cercano, lo que subraya una adopción significativa y creciente (Halpern y Damone, 2023). Por otro lado, la IA se utiliza para la personalización de la publicidad, la optimización de precios y la publicidad programática, permitiendo una mayor precisión en el targeting y la entrega de mensajes (CTRL, 2024; Deloitte, 2024). De acuerdo con los análisis realizados por IAB Chile (2024), hay seis áreas en que la IA está siendo utilizada en diferentes grados en la industria publicitaria chilena:

• Análisis de datos y toma de decisiones: Identificando patrones, tendencias y oportunidades ocultas en los datos, lo que permite tomar decisiones informadas y basadas en datos para optimizar estrategias de marketing.
• Segmentación y orientación precisa: La utilización de algoritmos de aprendizaje automático identifica las características y comportamientos comunes entre los clientes y se pueden crear segmentos más precisos para dirigir las estrategias de comunicación publicitaria.
• Creación y curatoría de contenidos: Es una de las áreas de adopción más aceleradas en la industria, se identifican tres áreas de aplicación: Creación de Contenido Audiovisual con herramientas como Midjourney, DALL-E de OpenAI, Runway, Adobe Firefly y, por medio Generative Fill, DragGan, Flawless y Eleven Labs; Generación de contenido automatizado con plataformas como Persado, Jasper, Adscreative; por último, Influencer marketing con herramientas y capacidades más sofisticadas, influencers virtuales con apariencias realistas y personalidades únicas, mejorando el procesamiento de datos, aumentando eficacia y con más y mejor información con herramientas como CreatorIQ, entre otras.
• Automatización y excelencia operativa: La IA permite automatizar tareas rutinarias y repetitivas, como el envío de correos electrónicos, la gestión de campañas publicitarias y el análisis de datos. Esto libera tiempo y recursos para focalizarse en actividades estratégicas de mayor valor.

• Personalización y experiencia de clientes: La IA permite recopilar y analizar grandes cantidades de datos de los consumidores, lo que brinda una comprensión más profunda de sus preferencias, comportamientos y necesidades. Utilizando esta información se puede ofrecer experiencias personalizadas, contenido relevante y ofertas específicas para cada cliente, mejorando así su satisfacción y lealtad. Ayuda a entregar anuncios más personalizados y relevantes a las audiencias adecuadas, maximizando así el retorno de la inversión en publicidad y mejorando la efectividad de las campañas.
• Chabots y atención al cliente: La IA brinda la capacidad de implementar chatbots y asistentes virtuales para ofrecer soporte al cliente automatizado y en tiempo real. Los chatbots pueden ser entrenados con la base de conocimiento de la empresa, con una alta capacidad conversacional lo que permite proporcionar información rápida y ayudar a los clientes en la resolución de problemas, mejorando y optimizando la satisfacción del cliente (IAB, 2024).

Caso real y de éxito de chatbot: Megamedia, uno de los grupos de medios más influyentes del país, dio un paso innovador al incorporar un chatbot de inteligencia artificial generativa en su sitio de meganoticias, la solución fue desarrollada con Generative AI Application Builder de AWS, y potenciada con Claude 2, lo que permitió brindar respuestas naturales y altamente contextualizadas a sus usuarios (Cartagena, 2024). Para elevar aún más la precisión del modelo, se integró Amazon Kendra, una herramienta que accede y procesa información desde documentos oficiales, asegurando que las respuestas del chatbot sean no solo relevantes, sino también confiables (IAB, 2025).

En el sector retail, grandes cadenas como Falabella, Unimarc y Cencosud han incorporado tecnologías de Machine Learning para anticipar tendencias de consumo, optimizar la gestión de inventarios y ofrecer experiencias de compra personalizadas y Cencosud destaca que la inteligencia artificial permite una "personalización extrema de la experiencia del cliente" (Supermercado al Día, 2025, párr. 7) adaptando ofertas y recomendaciones a las preferencias individuales de cada consumidor. Falabella, por su parte, ha implementado modelos de precios dinámicos y rediseñado el layout de sus tiendas para mejorar márgenes y eficiencia operativa, apoyándose en algoritmos predictivos.

En el ámbito financiero, instituciones como Banco Santander y Banco de Chile están utilizando Machine Learning para fortalecer sus sistemas de detección de fraudes, evaluar riesgos crediticios en tiempo real y diseñar ofertas personalizadas (Moreno, 2024). De acuerdo Pereyra (2025), el uso de algoritmos de aprendizaje automático ha permitido a los bancos chilenos automatizar procesos críticos, como la detección de anomalías en transacciones y la segmentación de clientes según perfiles de riesgo, lo que representa hasta un 25% del impacto total de la IA en el sector financiero.
En el sector aeronáutico, aerolíneas como LATAM (LATAM Airlines Chile, 2025) y Sky (SKY Airline, 2025) han adoptado soluciones basadas en Machine Learning para optimizar sus rutas y mejorar la experiencia del pasajero. LATAM, por ejemplo, firmó un acuerdo con Amadeus y Optym para implementar SkyMAX y SkySYM, herramientas que permiten simular y ajustar itinerarios con mayor precisión, lo que ha incrementado sus ingresos hasta en un 10% y mejorado el desempeño operativo en cinco puntos porcentuales (Technocio, 2019).

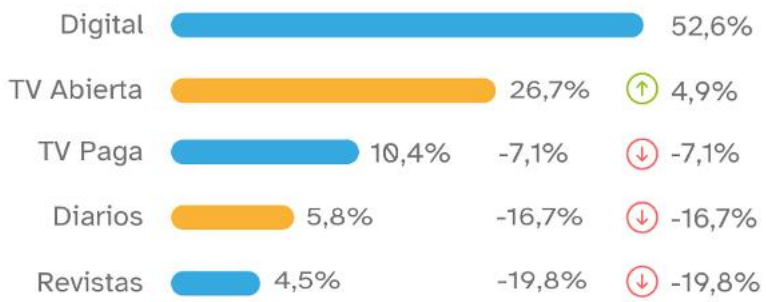
Finalmente, en el sector de telecomunicaciones, Entel ha integrado IA y Machine Learning para mejorar la experiencia del cliente mediante asistentes virtuales, análisis predictivo y automatización de procesos, estas tecnologías permiten anticipar necesidades, reducir tiempos de respuesta y ofrecer soluciones personalizadas, lo que ha fortalecido la fidelización y eficiencia operativa (Moreno, 2024).

3.1.2. Publicidad Programática y Data Analytics.

La publicidad programática está en auge en Chile. En Chile, el 60% de las personas accede a Internet desde dispositivos móviles, lo que impulsa que más del 70% del gasto publicitario se destine a smartphones y tabletas, y para 2028 se proyecta que la publicidad programática represente el 72% de los ingresos digitales (BYYD, 2024). Esto representa una automatización masiva de la compra y venta de espacios publicitarios. El análisis de datos es fundamental, ya que permite comprender el comportamiento del consumidor, optimizar campañas y realizar un targeting preciso (Deloitte, 2024). La IA potencia estas capacidades analíticas.

En mayo de 2025, la inversión publicitaria en Chile creció un 3% alcanzando $82.793 millones, con un acumulado de 3,1% entre enero y mayo, consolidando al entorno digital como eje central de la estrategia nacional (Asociación Agencias de Medios [AAM], 2025). En este periodo, el segmento digital lidera con un 52,6% de participación en el mercado y un alza interanual del 4,1%, superando ampliamente otros formatos tradicionales, lo que se puede observar en el Gráfico 1. Tal predominancia indica no solo un cambio en la asignación presupuestaria, sino también una transformación en las preferencias de los consumidores y la efectividad percibida por los anunciantes. La televisión abierta, con un crecimiento del 4,9%, mantiene su relevancia en el ecosistema mediático, mientras que medios como TV Paga, diarios y revistas evidencian caídas sostenidas, lo que sugiere un desplazamiento del interés hacia plataformas más dinámicas e interactivas.

Gráfico 1: Inversión Publicitaria en Medios



Digital y la televisión dominan el 79,3% de la inversión

Fuente: Asociación Agencias de Medios (AAM). Chile, 2025.

Es relevante destacar que, en conjunto, Digital y Televisión concentran el 79,3% de la inversión total, lo que manifiesta una fuerte polarización del gasto en medios. Esta distribución corrobora la hipótesis de que los anunciantes están privilegiando canales con mayor alcance inmediato y capacidad de segmentación, adaptándose así al comportamiento de una audiencia cada vez más conectada y exigente.

En un escenario donde la toma de decisiones basadas en datos ha transformado industrias enteras, el campo publicitario no ha sido la excepción. La creciente oferta académica chilena en Data Analytics, desde cursos hasta magísteres en instituciones como las universidades, institutos profesionales y centros de formación técnica (Pontificia Universidad Católica de Chile, 2021) refleja la urgencia de integrar competencias analíticas en profesiones tradicionalmente relacionadas a la creatividad como ha sido la publicidad.

Para los y las publicistas, el dominio del análisis de datos permite una lectura más precisa del comportamiento del consumidor, la optimización de campañas y la adaptación estratégica a contextos socioculturales dinámicos. Ya no se trata solo de inspiración creativa, sino de generar mensajes sustentados en patrones, proyecciones y métricas que potencien la efectividad comunicacional.

El ecosistema formativo chileno brinda diversas puertas de entrada a esta evolución profesional, siendo particularmente valioso para quienes buscan complementar su mirada creativa con una lectura cuantitativa y estratégica del entorno. Esta sinergia entre arte y ciencia no solo amplía las oportunidades laborales, sino que redefine el perfil del comunicador contemporáneo (Fundación País Digital, 2023). En la Tabla 1, se puede observar el estado de la oferta académica de instituciones de educación superior relacionadas con el Data Analytics.

Tabla 1: Ofertas Académicas de Data Analytics de Instituciones de Educación Superior. Chile 2025.

Sitio web institucional consultado	Tipo de formación	Modalidad destacada
AIEP	Pregrado/Técnico	Presencial
Desafío Latam	Cursos	Online
Escuela de Comercio y Servicios	Pregrado	Online
Instituto Profesional providencia	Pregrado	Online / híbrida
Instituto Profesional San Sebastián	Diplomados	Online / híbrida
Pontificia Universidad Católica de Chile	Diplomados	Online en vivo
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso	Pregrado / Diplomados	Online / presencial
Universidad Adolfo Ibáñez	Postgrado / Diplomados	Online / híbrida
Universidad Andrés Bello	Pregrado / Postgrado / Diplomado	Online / híbrida
Universidad Autónoma de Chile	Diplomado	Online
Universidad Católica de la Santísima Concepción	Capacitación / Pregrado	Online
Universidad de Chile	Diplomados	Online / híbrida
Universidad de Los Andes	Postgrado	Presencial
Universidad de Santiago de Chile	Diplomado	Presencial
Universidad del Desarrollo	Postgrado / Diplomados	Online / semipresencial
Universidad Diego Portales	Postgrados	Online / híbrida
Universidad Santo Tomás	Diplomado	No presencial
Universidad Técnica Federico Santa María	Pregrado / Diplomado	Presencial
Universidad Tecnológica Metropolitana	Pregrado / Diplomado	Presencial

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Un indicador relevante de la demanda en Data Analytics en Chile es que, a julio de 2025, LinkedIn registraba 593 vacantes en esta área (LinkedIn, 2025).

3.1.3. Automatización y su impacto en la publicitaria tradicional.

La automatización tradicional exige una actualización constante en herramientas operativas, sin necesidad de dominar IA. Esto abre oportunidades para quienes tienen experiencia en medios tradicionales y desean mantenerse vigentes. Para los publicistas novatos, se espera que lleguen con habilidades técnicas en plataformas automatizadas, pero también con sensibilidad creativa y capacidad de adaptación (ALM Corp, 2026). La formación académica comienza a incluir módulos sobre automatización operativa, como se observa en programas del Instituto Profesional Providencia (IPP, 2024) y otras instituciones.

Más allá de la programática, la automatización en la actividad publicitaria y en el marketing digital se enfoca en mejorar la eficiencia, reducir errores y optimizar las interacciones con los clientes (Puente, 2023). En Chile, la automatización publicitaria, sin recurrir a IA ni tecnologías avanzadas, se ha concentrado en la planificación de medios, la gestión de campañas multicanal y el uso de plataformas como AdServer o CRM, aunque no son inteligentes, han transformado el trabajo del publicista al reducir tareas manuales y estandarizar procesos (Adity, 2025). Esta transformación no solo modifica las tareas operativas, sino también los significados que los profesionales atribuyen a su rol en el ecosistema comunicacional es el inicio de una reconfiguración profunda en la identidad profesional del publicista chileno.

Se pueden identificar los siguientes cambios identitarios:

• De creador a gestor de procesos: El/la publicista ya no se define únicamente por su capacidad creativa, sino que, además, por su habilidad para coordinar flujos automatizados, optimizar recursos y garantizar resultados medibles en un proceso de integración creativa. Lo cual genera una identidad más híbrida, donde la creatividad convive con la eficiencia operativa (Fernández, 2026).
• Trayectorias laborales móviles: Según el estudio de Soto (2011), los profesionales chilenos construyen su identidad laboral en torno a experiencias de corto plazo y movilidad dentro de un mercado flexible. En el ámbito publicitario, esto se traduce en una mayor rotación entre agencias, proyectos freelance y roles técnicos, lo que fragmenta la identidad profesional y la vuelve más adaptable.
• Redefinición del prestigio profesional: La automatización ha desplazado el prestigio desde el creativo/creativa estrella hacia perfiles que dominan herramientas operativas y logran resultados cuantificables. Lo que tensiona la identidad tradicional del publicista como narrador cultural, obligándolo a negociar entre arte y técnica (Akmeraner & Pellandin, 2025).
• Vínculos laborales más débiles: La flexibilidad y automatización reducen los vínculos estables con los equipos o marcas, lo que afecta el sentido de pertenencia y continuidad identitaria (Soto, 2011). La identidad se construye más desde la trayectoria individual que desde la afiliación institucional.
Megatime, una empresa chilena con más de 30 años de trayectoria, ha sistematizado datos sobre publicidad emitida en medios tradicionales (Ibarra, 2023). Sus bases permiten estudiar cómo la automatización ha influido en la eficiencia de campañas, especialmente en radio, prensa y vía pública. Entre 2005 y 2015, diversos estudios evidencian que la automatización mejoró la distribución del

avisaje estatal y la compra de espacios publicitarios sin recurrir a IA; en paralelo, el ámbito académico analizó procesos como el product placement y la gestión de pauta televisiva, destacando su impacto en la recordación de marca y la eficiencia operativa (Quintero, 2025).

Podemos afirmar que la automatización ha permitido a las agencias chilenas optimizar procesos clave, reduciendo tiempos de ejecución, estandarizando formatos y fortaleciendo la trazabilidad de las campañas. Este avance ha sido particularmente relevante en medios tradicionales como la prensa escrita y la vía pública, donde la logística de impresión y distribución se ha visto significativamente agilizada (AMM, 2023; Portal Innova, 2023). No obstante, las limitaciones persisten. La automatización convencional, aunque vigente, muestra un alcance restringido frente a las demandas del ecosistema digital. La ausencia de integración con sistemas predictivos o adaptativos obliga a que muchas campañas dependan todavía de una supervisión humana constante, lo que reduce su capacidad de respuesta en entornos altamente dinámicos (Asociación para el Desarrollo de la Experiencia del Cliente [DEC] (2024).

3.1.4. Realidad Aumentada (RA), Realidad Virtual (RV) y Realidad Mixta (RX).

La RA y la RV han comenzado a consolidarse como herramientas estratégicas en el marketing chileno, especialmente en sectores como retail, turismo, educación y bienes raíces (IAB, 2026). Empresas como PeumaLab (2025), IMOVA (2025) y DigitalStudio Chile (2025) han desarrollado experiencias inmersivas para marcas nacionales, permitiendo a los y las publicistas crear campañas más interactivas y memorables. La RA se utiliza para superponer información digital sobre entornos físicos, facilitando demostraciones de productos, activaciones en vía pública y catálogos interactivos (Hayes & Downie, 2026). La RV, en cambio, permite simular entornos completos, aplicados en recorridos virtuales, storytelling inmersivo y capacitación de equipos creativos.

Casos de estudio recientes:

- PeumaLab (2025): implementó experiencias de RA en retail y turismo, integrando catálogos interactivos y activaciones en vía pública.
- MOVA (2025): desarrolló simulaciones VR para Walmart Chile y DHL, aplicadas en procesos de capacitación y logística.
- Walmart Chile (2025): introdujo simulaciones VR para capacitación interna, logrando mejoras en retención de conocimiento y engagement creativo (Cabezón y otros, 2019).

Según el Mapeo XR, RA, RV de Chilecreativo (Cabezón y otros, 2019), se esperaba que el sector de tecnologías inmersivas creciera un 22,2% anual entre 2019 y 2023, con fuerte impacto en industrias creativas como la publicidad. Esto implica:

- Nuevos roles laborales: diseñadores XR, estrategas inmersivos, productores de contenido 360°.
- Demanda de habilidades técnicas: manejo de Unity, Unreal Engine, modelado 3D, narrativa espacial.

- Reconfiguración del perfil del y la publicista: se valora la capacidad de crear experiencias sensoriales fortaleciendo la comunicación visual.
- La evidencia empírica indica que más de 40 empresas chilenas trabajan actualmente en RA, RV y RX, con aplicaciones directas en publicidad, educación y retail Cabezón y otros, 2019).

El reporte de IMOVA (2025) señala mejoras de hasta un 275% en confianza para aplicar nuevas habilidades y un incremento de 10 veces en retención del conocimiento gracias a experiencias VR. A continuación, podemos observar en la Tabla 2, el desarrollo de las tecnologías en el ámbito publicitario chileno y sus posibles implicancias para los profesionales del área.

Tabla 2: Adopción de Tecnologías Emergentes en la Publicidad Chilena y sus Implicaciones

Tecnología	Aplicaciones Principales en Chile	Nivel de Adopción (Estimado)	Implicaciones para Publicistas
Inteligencia Artificial (IA)	Personalización, targeting, optimización de campañas, creación de contenido, automatización de tareas.	Alto y creciente (1/3 grandes empresas usa IA en marketing)	Enfoque en estrategia, análisis de datos, prompts ingenieriles, supervisión de IA, ética.
Publicidad Programática	Compra-venta automatizada de medios, optimización en tiempo real, gestión de audiencias.	Muy Alto (70%+ inversión digital en 2025)	Habilidades en gestión de plataformas, optimización de algoritmos, interpretación de datos programáticos.
Análisis de Datos	Segmentación de audiencias, medición de rendimiento, optimización de ROI, generación de insights.	Muy Alto y Fundamental	Dominio de herramientas analíticas (ej. Google Analytics), capacidad de interpretación de insights.
Automatización	Procesos de marketing, gestión de redes sociales, generación de reportes, email marketing.	Alto y en Expansión	Liberación para tareas estratégicas y creativas, eficiencia en la ejecución de campañas.
Realidad Aumentada (RA) / Virtual (RV) / Realidad Mixta (RX)	Experiencias inmersivas con productos, campañas innovadoras, brand storytelling.	Bajo (en etapas iniciales)	Oportunidad para especialistas en creatividad inmersiva, diseño 3D, desarrollo de experiencias.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.2. Impacto en el Mercado Laboral de los y las Publicistas: De la Transición al Trabajo a Corto Plazo

La adopción de las tecnologías mencionadas en combinación con la presión por la agilidad y la eficiencia, está reconfigurando el mercado laboral para los y las publicistas en Chile, impulsando el trabajo a corto plazo. Esta integración tecnológica está reconfigurando las dinámicas de trabajo. Los profesionales creativos entrevistados en el estudio de Orellana, Núñez y Castillo (2024), señalan que herramientas como Midjourney y Adobe Firefly permiten optimizar los tiempos en tareas rutinarias, como la creación de bocetos de gráficas o storyboards, liberando tiempo para la conceptualización y el desarrollo estratégico. Esto se alinea con la tendencia hacia la agilización de procesos y la flexibilidad, característica de los modelos de trabajo por proyectos. Veamos el siguiente análisis.
3.2.1. Demanda de Habilidades Específicas y Especialización.

La publicidad y el marketing digital en 2025 estuvieron marcados por la innovación tecnológica, la personalización extrema y una conexión más auténtica con los usuarios. La inteligencia artificial transformó procesos mediante herramientas como DeepSeek, que permitieron analizar datos en tiempo real y predecir comportamientos para mejorar la conversión (Silva, 2025). La búsqueda por voz y el marketing conversacional exigieron contenidos adaptados al lenguaje natural. Tecnologías como la realidad aumentada (AR), la realidad virtual (VR) y la Realidad Mixta (RX) potenciaron experiencias de compra más inmersivas, mientras que el vídeo corto y el streaming en vivo continuaron creciendo como formatos clave para generar interacción directa (Coco, 2026).

Los micro-influencers ganaron protagonismo por su autenticidad y cercanía con sus audiencias. Las marcas debieron adoptar estrategias de sostenibilidad y responsabilidad social para conectar con los valores del consumidor moderno. El social commerce facilitó compras dentro de redes sociales como Instagram o TikTok, y la gamificación convirtió la participación en una experiencia lúdica y memorable (Fernández, Fernández, Gutiérrez y López, 2024). El marketing predictivo y el uso de big data permitieron ajustar campañas en tiempo real, ofreciendo recomendaciones automatizadas y segmentadas (De Ledesma, 2024; Cardona, 2024; Publisuites, 2025). En síntesis, las marcas debieron ofrecer experiencias más tecnológicas, transparentes y emocionalmente significativas, alineadas con los deseos y expectativas de una audiencia cada vez más exigente y conectada, haciendo posible la tan necesaria retroalimentación comunicativa.

Las tareas repetitivas fueron automatizadas por la IA, liberando a los y las publicistas para roles más estratégicos, creativos y de análisis (Deloitte, 2024). Esto implicó un cambio de enfoque desde tareas manuales hacia la supervisión y optimización de sistemas.

3.2.2. Aumento del Trabajo Freelance y por Proyectos.

La tendencia global muestra un crecimiento significativo del trabajo gig altamente calificado, con empresas integrando a freelancers en modelos híbridos de staffing (Sandoval, 2024; Warner, 2025). Los freelancers son valorados por su capacidad para ofrecer acceso a conocimientos especializados, escalar recursos de manera eficiente y permitir agilidad en los equipos de marketing adaptación: la fuente destaca las ventajas de los freelancers en publicidad y el marketing para la agilidad y el acceso

al conocimiento (WorkGenius, 2025). Esto permite a las agencias y anunciantes cubrir necesidades puntuales sin comprometerse con contratos a largo plazo. En Chile, es palpable la oferta de empleos para profesionales de diferentes áreas, lo cual indica una demanda activa de talento por proyecto. El dato disponible sobre la cantidad de profesionales freelancers en Chile es del año 2019, y eran 80.000 los registrados (WebFindYou, 2019). La siguiente es una muestra de sitios Web que ofrecen la conexión entre demanda y oferta de profesionales freelancers:

• SoyFreelancer.com es una plataforma de trabajo freelance que conecta a profesionales independientes con empresas y personas que buscan contratar servicios. Áreas relacionadas con la publicidad, el marketing, diseño publicitario, community manager, fotografía publicitaria y optimización SEO, lo cual tiene estrecha relación a SEO, CRM, Redes Sociales, PPC, Ecommerce, Email Marketing y Análisis de Métricas.
• Workana.com, es una plataforma de contratación de freelancers que conecta a empresas con profesionales independientes en diversas áreas como desarrollo, diseño, redacción, marketing y finanzas. Funciona como un mercado donde los clientes pueden publicar proyectos de forma gratuita, especificando los requisitos y el presupuesto. Los freelancers, por su parte, envían sus propuestas, y el cliente selecciona al candidato que mejor se adapte a sus necesidades. Workana es una plataforma de contratación de freelancers que conecta a empresas con profesionales independientes en diversas áreas como desarrollo, diseño, redacción, marketing y finanzas. Funciona como un mercado donde los clientes pueden publicar proyectos de forma gratuita, especificando los requisitos y el presupuesto. Los freelancers, por su parte, envían sus propuestas, y el cliente selecciona al candidato que mejor se adapte a sus necesidades. Una de las características clave de Workana es su sistema de pago protegido, que retiene los fondos en garantía (escrow) hasta que el proyecto se completa y el cliente aprueba el trabajo. Esto proporciona seguridad tanto para el cliente, que se asegura de recibir el trabajo, como para el freelancer, que tiene la garantía de que recibirá su pago.
• El sitio web de freelancermap.com, en su sección de blog sobre "freelance Chile", es una guía completa para quienes desean trabajar de forma independiente en Chile. La guía aborda diversos temas, desde la definición de un freelancer hasta el estado actual del mercado en Chile. También identifica los perfiles profesionales más solicitados, especialmente en áreas de tecnología como TI, desarrollo de software, ciberseguridad y marketing digital. El artículo incluye un análisis de los posibles ingresos, con tarifas promedio por hora y ejemplos de salarios para roles específicos.

3.2.3. Implicaciones Salariales y Contractuales.

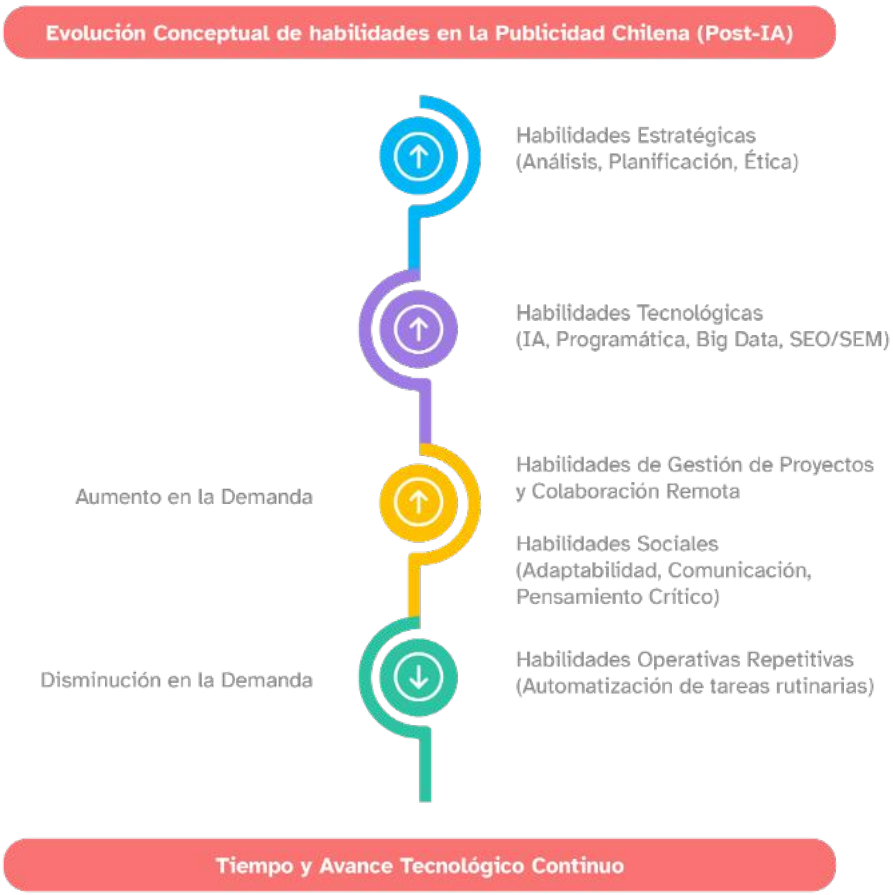
En el contexto chileno, la empleabilidad de los y las publicistas presenta matices relevantes en términos salariales y contractuales. Los ingresos varían significativamente según la experiencia, el tipo de tareas desempeñadas y el nivel de responsabilidad. En el año 2024 los publicistas recién egresados percibían, salario promedio, entre $422.500 y $1.200.000 pesos chilenos mensuales, mientras que aquellos con trayectoria consolidada podrían superar los $1.200.000 pesos chilenos, especialmente en roles estratégicos o de liderazgo (Instituto Profesional Providencia [IPP], 2024).

Sin embargo, esta flexibilidad también conlleva riesgos. La precarización laboral se manifiesta en la falta de beneficios sociales, inestabilidad contractual y ausencia de protección frente a contingencias, muchos profesionales operan bajo el régimen de honorarios, lo que implica autonomía en la

ejecución de tareas, pero exclusión de derechos laborales como cotizaciones previsionales, seguro de salud o vacaciones pagadas (Fundación Carlos Vial Espantoso, 2023).

El marco legal chileno establece una distinción clara entre contratos de trabajo y contratos de prestación de servicios. Los primeros implican subordinación, jornada regulada y acceso a seguridad social; los segundos, mayor autonomía, pero sin garantías laborales (Dirección del Trabajo, 2024). Esta diferenciación impacta directamente en las condiciones de empleabilidad a corto plazo, especialmente en sectores creativos como la publicidad, donde el trabajo freelance y por proyecto es cada vez más común, como hemos analizado en este estudio. En este escenario, resulta fundamental repensar las políticas de protección laboral para profesionales independientes, equilibrando flexibilidad con seguridad social. Es importante señalar, en este sentido, que en nuestro país están obligados a cotizar los trabajadores independientes que, durante el año anterior, hayan emitido boletas de honorarios por un monto bruto igual o superior a cinco ingresos mínimos mensuales (Subsecretaría de Previsión Social, Chile, 2026). Esta obligación busca asegurar el acceso a prestaciones sociales como salud, invalidez y sobrevivencia, y se materializa en la declaración de renta anual. Si bien esta medida representa un avance en términos de cobertura, aún persisten desafíos en torno a la estabilidad, continuidad y equidad de dicha protección, especialmente para quienes desarrollan funciones en condiciones de alta precariedad o informalidad.

Infografía 1: Evolución Conceptual de las Habilidades Demandadas en Publicistas Chilenos



Fuente: Elaboración propia, 2025.

La Infografía 1, ilustra cómo las habilidades puramente operativas o repetitivas están viendo una demanda decreciente debido a la automatización impulsada por la IA y otras tecnologías. En contraste, las habilidades estratégicas, analíticas, tecnológicas, especialmente en IA y programática, de gestión de proyectos y las habilidades sociales, están experimentando un aumento significativo en su demanda. Esto refleja la necesidad de perfiles más especializados y versátiles que a menudo son contratados por proyecto para maximizar la agilidad y la eficiencia.

3.2.4. Abordaje de la dimensión ética y el rol del profesional

A pesar de la creciente automatización, la investigación evidencia que el criterio humano y la capacidad de síntesis del profesional publicista siguen siendo insustituibles (Bravo, 2025). El estudio de Orellana, Núñez y Castillo (2024) destaca que el uso de la IA en las agencias publicitarias se entiende como el trabajo con una dupla creativa y que la habilidad para generar prompts complejos y tomar decisiones finales es más importante que nunca. Esta afirmación sustenta la idea de que la reconfiguración del trabajo publicitario no implica la obsolescencia de los profesionales, sino un cambio en las habilidades requeridas, donde el pensamiento crítico y ético cobran mayor relevancia. A nivel mundial, existe un fuerte consenso que surge desde los principios básicos de la ética publicitaria y que implica que estos deben guiar el desarrollo y uso de sistemas de IA u otros tipos de tecnologías emergentes. Organismos de alcance mundial como la UNESCO y la OECD han impulsado estos lineamientos para asegurar que la automatización de contenidos y la segmentación algorítmica no agudicen las desigualdades ni vulneren derechos fundamentales, pues como se sabe, estos sistemas tienen la capacidad de permitir a los profesionales del marketing comprender en profundidad las actitudes, preferencias y tendencias de los consumidores (Ali, Riaz, & Rashid, 2024).

Desde luego, la búsqueda de la honestidad y la responsabilidad en la publicidad no es nueva. El primer antecedente de autorregulación ética en Europa se remonta a Francia con la creación de la Oficina de Supervisión de Anuncios en 1935, esfuerzo pionero que abrió el camino para que, en 1937, la Cámara de Comercio Internacional (ICC) elaborara el Código Internacional de Práctica Publicitaria (Cámara Internacional de Comercio [ICC], 2024), hoy pilar de la mayoría de los sistemas nacionales de autorregulación. Sin embargo, la irrupción de la inteligencia artificial y las nuevas tecnologías ha venido a tensionar y complejizar este marco tradicional, toda vez que ya no se trata solo de controlar contenidos engañosos o prácticas abusivas, sino de responder a la introducción de agentes tecnológicos que influyen activamente en los procesos de toma de decisiones, reconfigurando las dinámicas comunicacionales actuales (Mordecki, 2026). La relevancia ética del desarrollo de la IA no permanece ajena a este debate, pues el campo de la ética se extiende allí donde se encuentran estos agentes dotados de una supuesta autonomía e inteligencia, es decir, capaces de decidir y actuar racionalmente, bajo ciertos parámetros.

En este contexto, es precisamente el término autonomía el adquiere una relevancia de interés que nos gustaría destacar. Por lo general, esta palabra se ha usado para describir la capacidad de escoger libremente un curso de acción, rasgo que tradicionalmente se ha considerado exclusivo de los seres humanos. Sin embargo, aplicar sin más este concepto, por ejemplo, a los sistemas de IA en publicidad —hablar de agentes autónomos que deciden creatividades, segmentan audiencias o ajustan campañas en tiempo real— resulta problemático, en el sentido que ninguna de estas tecnologías puede aún

dar cuenta de sus propios actos y decisiones del modo en que lo hace una persona, ni asumir responsabilidad moral por sus consecuencias. Según Sergio Marín García, "resulta erróneo calificar a estos dispositivos de autónomos en el sentido ético de la palabra" (2019, p. 10). El autor aclara que estos sistemas no son autónomos, sino automáticos, en el entendido que ejecutan procesos complejos sin supervisión constante, pero siempre dentro de marcos diseñados por humanos. Esta distinción tiene implicaciones directas para la autorregulación publicitaria contemporánea. Medidas como la obligación de informar al público cuando un anuncio es generado por IA, la revisión continua de sesgos en la segmentación o el mantenimiento de supervisión humana en procesos automatizados (Correa y otros, 2023) pueden verse no solo como mecanismos técnicos de control, sino como recordatorios normativos de que la responsabilidad última sigue recayendo en sujetos humanos identificables.

Desde esta perspectiva, la propuesta de que la IA o cualquier otra tecnología emergente no reemplace el juicio crítico del publicista, sino que opere bajo un modelo de supervisión aumentada (Demsar, Ferraro, Sands y Kohn, 2025), adquiere un sentido más profundo y decisivo. Por un lado, refuerza la idea de que no existe, ni debería existir una cesión plena de autonomía a la tecnología en sí, pues si los sistemas son, en rigor, automáticos y no autónomos, entonces la delegación total de decisiones éticamente sensibles en la IA constituiría una forma de evasión de responsabilidad por parte de los profesionales de la publicidad y las organizaciones avisadoras, según las normativas de autorregulación publicitaria y la legislación chilena.

En consecuencia, el marco clásico de autorregulación ética se ve interpelado no solo a actualizar sus principios, sino a replantear sus categorías básicas, lo que implica definir qué se entiende hoy por honestidad cuando la generación de anuncios y la segmentación se apoyan en modelos opacos, o cómo se distribuye la responsabilidad cuando las decisiones son el resultado de cadenas sociotécnicas complejas, donde intervienen anunciantes, agencias, desarrolladores de IA o tecnologías emergentes y plataformas, pero especialmente, revisar qué significa exigir transparencia y rendición de cuentas en un entorno donde habitan sistemas que carecen de responsabilidad moral propia. Abordar estas preguntas supone reconocer que la ética de la publicidad en la era de las tecnologías emergentes no puede limitarse a adaptar mecánicamente códigos previos, sino que requiere una revisión crítica de los conceptos de autonomía, responsabilidad y control, así como de las estructuras institucionales que garantizan que el juicio humano siga siendo efectivamente el centro del proceso publicitario.

En Chile, esta preocupación se concreta de algún modo en la séptima edición del Código Chileno de Ética Publicitaria (CChEP), publicada en 2024 por el Consejo de Autorregulación y Ética Publicitaria (CONAR), que introduce lineamientos específicos para el uso de IA en publicidad y en donde se exige la identificación expresa de contenidos generados por sistemas automáticos, se prohíbe la suplantación de identidades sin consentimiento, se protege el resguardo de datos personales y se obliga a prevenir sesgos en los algoritmos de segmentación, además de reiterar que toda pieza publicitaria producida con IA debe contar con revisión humana y que agencias y anunciantes conservan plena responsabilidad por los efectos de su difusión (CONAR, 2024). En paralelo, el proyecto de ley chileno sobre inteligencia artificial, inspirado en un enfoque similar al de la Unión Europea, clasifica los sistemas según su nivel de riesgo e impone restricciones a usos especialmente sensibles, como los deepfakes, la manipulación emocional sin consentimiento y la recopilación de datos biométricos sin autorización (Latin America Reports, 2025). No obstante, cuando se los contrasta con las capacidades actuales de las tecnologías emergentes, estas medidas aparecen potencialmente insuficientes. Al posibilitar una interacción más refinada y realista, con datos personales detallados, así

como su recopilación y explotación a gran escala, las nuevas tecnologías permiten diseñar entornos persuasivos y, en algunos casos, abiertamente coercitivos, capaces de orientar –o incluso forzar sutilmente– comportamientos no deseados o no plenamente voluntarios, lo que puede afectar no solo en el ámbito comercial, sino también el entorno político y democrático, como ya ha sido estudiado (Alvarado, 2019). En el ámbito publicitario, esto se traduce en campañas hipersegmentadas, experiencias inmersivas y contenidos personalizados que pueden sobrepasar la frontera entre influencia legítima y manipulación encubierta, especialmente cuando se dirigen a grupos vulnerables como niños, adolescentes o personas mayores (Bustos, 2024). Como advierte Unnikrishnan, la capacidad de las tecnologías para generar contenido realista y persuasivo plantea inquietudes sobre el potencial de uso malicioso, incluida la creación de información, narrativas, noticias falsas y contenidos multimedia manipulados que pueden engañar y manipular la opinión pública (2024). El desafío, entonces, para la regulación chilena tanto autorregulatoria como legal, no es solo incorporar advertencias respecto al uso de la IA, las tecnologías emergentes, los deepfakes o los datos biométricos, sino repensar de manera crítica qué entendemos por consentimiento, vulnerabilidad y daño en un ecosistema publicitario donde la frontera entre información, persuasión y manipulación se vuelve crecientemente difusa.

En este plano, la figura del publicista como garante del uso responsable de la IA se vuelve fundamental. Creemos que la reconfiguración del trabajo publicitario en Chile, producto de las nuevas tecnologías, debe asumir que parte del rol profesional del publicista consistirá en poner límites, anticipar usos indeseados y determinar, desde dentro de la industria, qué tipo de ecosistema híbrido, tecnológicamente sofisticado, pero socialmente responsable se quiere construir.

3.3. Síntesis e Interconexión de los Hallazgos

La relación entre las tecnologías emergentes y el aumento del trabajo a corto plazo para los y las publicistas en Chile es multifacética y directa. A continuación, se presentan las cuatro dimensiones clave que permiten comprender cómo la digitalización y la automatización están transformando las estructuras laborales en el ámbito publicitario.

Eficiencia y Optimización de Costos: La inteligencia artificial y la automatización permiten a las agencias y anunciantes optimizar procesos, reduciendo la necesidad de personal fijo en tareas rutinarias. Este cambio impulsa la contratación de talento externo para proyectos específicos, lo que se traduce en una disminución de los costos operativos. Tal dinámica refleja la Teoría de los Costos de Transacción, formulada por Ronald Coase (1988) y posteriormente desarrollada por Oliver Williamson (1985), quienes explicaron que las organizaciones buscan minimizar los costos asociados a la búsqueda, negociación y supervisión de transacciones. En este sentido, la externalización estratégica y el uso de IA son manifestaciones contemporáneas de dicha teoría aplicada al ámbito publicitario.

Agilidad y Especialización: El ritmo acelerado de la innovación tecnológica exige una capacidad de respuesta rápida y el acceso a habilidades altamente especializadas (ej. expertos en IA generativa para campañas, analistas de datos para audiencias específicas) que no siempre están disponibles o son rentables para mantener a tiempo completo. El modelo freelance o por proyecto permite a las

empresas ser ágiles y acceder a estas competencias de forma puntual, lo que se alinea con la visión basada en recursos y las metodologías ágiles.

Fragmentación de Tareas: La digitalización permite la fragmentación de grandes proyectos publicitarios en tareas más pequeñas y gestionables. Esto facilita la externalización de componentes específicos, como el diseño de banners con IA o la optimización de campañas programáticas, a publicistas especializados que trabajan de forma remota o por contrato.

Plataformas Digitales: La existencia de plataformas de freelancing, por ejemplo Workana, actúa como un facilitador clave, conectando la oferta de publicistas especializados con la demanda de proyectos a corto plazo, tanto a nivel nacional como internacional. Estas plataformas reducen los costos de transacción para ambas partes.

En resumen, la digitalización de la publicidad chilena no solo ha transformado las herramientas y los canales, sino que ha redefinido las estructuras de equipo. Las empresas están optando por modelos de talento 'líquidos' que pueden escalar hacia arriba o hacia abajo según las necesidades del proyecto, privilegiando la especialización y la eficiencia, lo que inevitablemente lleva a una mayor prevalencia del trabajo a corto plazo para los publicistas.

4. Conclusiones

La industria publicitaria chilena se encuentra en un punto de inflexión, donde la adopción de tecnologías emergentes está catalizando una transformación profunda no solo en las estrategias publicitarias y de marketing, sino también en la configuración del empleo para los y las publicistas. La Inteligencia Artificial, el análisis de datos, la publicidad programática, las realidades virtuales, aumentada y mixtas, y la automatización están siendo integradas a un ritmo acelerado, impulsando una mayor eficiencia, personalización, relevancia, alcance en el mensaje y capacidad de respuesta en las campañas.

Esta digitalización masiva y la búsqueda de agilidad están directamente correlacionadas con el aumento de las modalidades de trabajo a corto plazo para los y las publicistas chilenos. Basado en la Teoría de los Costos de Transacción, las empresas encuentran más eficiente y rentable externalizar tareas específicas y acceder a habilidades altamente especializadas sin incurrir en los costos y la rigidez de una plantilla fija. Desde la perspectiva de la visión basada en recursos, la contratación de freelancers o profesionales por proyecto permite a las organizaciones adquirir y aprovechar recursos valiosos y escasos, por ejemplo; expertos en IA para publicidad o analistas de datos avanzados, de manera flexible, manteniendo una ventaja competitiva en un mercado en constante evolución. Las metodologías ágiles, por su parte, encuentran en el modelo freelance un aliado fundamental para la rapidez y la adaptabilidad.

Para los y las publicistas chilenos, esta transición implica una redefinición de su rol y de las competencias demandadas. Las habilidades en estrategia digital, análisis de datos, dominio de plataformas programáticas, conocimiento de IA aplicada y capacidad de gestión de proyectos se han vuelto cruciales. Aquellos profesionales que logren adaptarse y especializarse en estas áreas tendrán mayores

oportunidades, ya sea dentro de agencias tradicionales o, cada vez más, bajo el formato de trabajo freelance o por honorarios. Si bien esta flexibilidad puede ofrecer autonomía y diversidad de proyectos, también plantea desafíos relacionados con la estabilidad laboral, la seguridad social y la gestión financiera personal, aspectos que son cruciales para el bienestar de los y las publicistas en esta nueva era.

En última instancia, el futuro del trabajo publicitario en Chile será híbrido, combinando estructuras permanentes más reducidas y estratégicas con una red dinámica de colaboradores especializados y project-based. La capacidad de los y las publicistas de Chile en el contexto de un mundo globalizado y globalizante para abrazar el aprendizaje continuo, desarrollar nuevas competencias tecnológicas y adaptarse a modelos de empleo flexibles será determinante para su éxito y relevancia en una industria en constante reinvención.

5. Referencias bibliográficas

1. Adity. (2025, 23 de abril). Estadísticas de publicidad digital en Chile 2024: Inversión, tendencias y crecimiento del mercado. Asociación de Agencias de Medios AAM. https://www.adity.cl/blog/estadisticas-publicidad-digital-chile-2024/

2. Akmeraner-Kökat, Y., & Pellandini-Simányi, L. (2025). Creativity re-distributed: how digitalisation changes creative advertising practice. Journal of Marketing Management, 41(15–16), 1731–1753. https://doi.org/10.1080/0267257X.2025.2467299

3. Ali, E., Riaz, A., & Rashid, M. (2024). Ethical considerations in the use of artificial intelligence in digital marketing. J*ournal of Peace, Development and Communication, 8*(2), 340–351. https://doi.org/10.36968/JPDC-V08-I02-25

4. Alvarado Salas, V. (2019). Manipulación de información en la era digital de las comunicaciones: ¿A qué se enfrentan los gobiernos latinoamericanos? El caso chileno. Trabajo preparado para su presentación en el X Congreso Latinoamericano de Ciencia Política (ALACIP), organizado por la Asociación Latinoamericana de Ciencia Política, la Asociación Mexicana de Ciencia Política y el Tecnológico de Monterrey, 31 de julio, 1, 2 y 3 de agosto. https://alacip.org/cong19/143-alvarado-19.pdf

5. Arriagada, Arturo y otros. (2024). Vivir como trabajador de plataformas en Chile: Informe 2024. Fairwork Chile. https://www.ciperchile.cl/2024/09/16/vivir-como-trabajador-de-plataformas-en-chile-informe-2024/

6. Asociación Agencias de Medios. AAM. (2023). Anuario 2023. AAM. https://aam.cl/site-media/files/AAM_anuario_2023.pdf

7. Asociación Agencias de Medios. AAM. (2025, mayo). Inversión Publicitaria en Medios. Mayo 2025.

8. Asociación de Agencias de Medios AAM. https://aam.cl/informe-de-inversion-publicitaria-mayo-2025

9. Asociación para el Desarrollo de la Experiencia del Cliente. DEC. (2024). ¿Cómo predecir las necesidades de tus clientes con la automatización predictiva? DEC. https://asociaciondec.org/blog-dec/como-predecir-las-necesidades-de-tus-clientes-con-la-automatizacion-predictiva/68141/

10. Baeza Flores, M. E. y Raymundo Márquez Amaro. (2023). Gig Economy, las plataformas digitales para el trabajo: ¿flexibilidad o precariedad laboral? *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar. 7*(2). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.6211

11. Barney, J. B. (1991). Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. *Journal of Management, 17*(1), 99–120. https://josephmahoney.web.illinois.edu/BA545_Fall%202022/Barney%20(1991).pdf

12. Bedoya D., Cristian y Peláez L, Juan. (2023). Gestión de Recursos Humanos en la Gig Economy: ¿hacia una nueva configuración? Entramado, julio-diciembre, 2023 vol. 19, núm. 2 e-9530 p. 1-14 https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.9530

13. Bravo, Camila. (2025, 5 de marzo). IA y creatividad: ¿Está la inteligencia artificial reemplazando a los creativos en marketing? Adity. https://www.adity.cl/blog/ia-y-creatividad/

14. Bustos, Helen. (2024, 31 de diciembre). 7 campañas polémicas que han marcado al mundo del marketing en 2024: Mr. Beast, Nocilla y más. MKD Marketing Directo. https://blog.hubspot.es/marketing/hipersegmentacion?utm_source=copilot.com

15. BYYD. (2024, 22 de enero). Publicidad programática en Chile: Tendencias e insights del mercado móvil. https://www.byyd.me/es/blog/2024/01/publicidad-programatica-en-chile/#:~:text=Publicidad%20Program%C3%A1tica%20en%20Am%C3%A9rica%20Latina:%20Una%20breve%20descripci%C3%B3n%20general,la%20publicidad%20program%C3%A1tica%20en%20Chile.

16. Cabezón Papic, Isidora y otros. (2019, septiembre). Foco Industrias Creativas Realidad virtual en Chile. Chile Creativo. Corfo. https://chilecreativo.cl/wp-content/uploads/2022/08/I-Mapeo-XR.pdf

17. Cámara de Comercio de Santiago. CCS. (2024, 13 de noviembre). Comité de Personas CCS explora la evolución del mercado laboral y la brecha de expectativas entre empleadores y trabajadores. https://www.ccs.cl/2024/11/13/comite-de-personas-ccs-explora-la-evolucion-del-mercado-laboral-y-la-brecha-de-expectativas-entre-empleadores-y-trabajadores/

18. Cámara Internacional de Comercio. ICC. (2024). Código de Publicidad y de Comunicaciones de Marketing de la ICC. Representa los estándares. Cámara de Comercio Internacional. https://iccwbo.org/wp-content/uploads/sites/3/2024/11/ICC_2024_MarketingCode_SPANISH.pdf

19. Cardona, Laia. (2024, 10 de diciembre). Las 10 tendencias en marketing digital que están por venir en 2025. Cyberclick. https://www.cyberclick.es/numerical-blog/las-tendencias-de-marketing-digital

20. Cartagena, Daniela. (2024). Chatbot Dato Útil. ARKHO. https://www.arkho.io/caso-mega

21. Coase, R. H. (1988). The Nature of the Firm: Origin. *Journal of Law, Economics, & Organization,* Vol. 4, No. 1, pp. 3-17. https://www.jstor.org/stable/765011

22. Coco, Mariano. (2026, 30 de enero). Tendencias de marketing 2026: estrategias clave para anticipar el futuro digital. Punto Rojo Blog. https://puntorojo.com/blog/tendencias-de-marketing-2026-estrategias-clave-para-anticipar-el-futuro-digital

23. CONAR. (2024). *Código Chileno de Ética Publicitaria* (7ª ed.). Consejo de Autorregulación y Ética Publicitaria. https://www.conar.cl/wp-content/uploads/2024/12/CCHEP7-2024.pdf

24. Correa, N. K., Galvao, C., Santos, J. W., Galvao, L., Terem, E., & de Oliveira, N. (2023). Worldwide AI ethics: A review of 200 guidelines and recommendations for AI governance. *Patterns, 4,* 100857. https://doi.org/10.1016/j.patter.2023.100857

25. CTRL. ControlPublicidad. (2024, 3 de noviembre). Publicidad programática: Eficacia impulsada por la IA. https://controlpublicidad.com/empresas-y-negocios-publicidad/publicidad-programatica-eficacia-impulsada-por-la-ia/

26. De Ledesma, Teresa. (2024, 4 de diciembre). Estas son las 10 tendencias de marketing para 2025. Kantar 2025. https://www.kantar.com/es/inspiracion/marcas/tendencias-de-marketing-para-2025

27. Dejnak, Magdalena. (2026, 9 de febrero). Publicidad programática: Definición y 8 ejemplos para inspirarse. Landingi. https://landingi.com/es/publicidad-digital/publicidad-programatica/

28. Deloitte. (2024). Embracing change and gearing up for the future. Key trends for marketing leaders and CMOs to harness growth in 2025. Deloitte Digital. https://www.deloittedigital.com/nl/en/insights/perspective/marketing-trends-2025.html

29. Demsar, V., Ferraro, C., Sands, S., & Kohn, A. (2025). Harmony or Discord? The Intersection of Generative AI and Human Creativity in Advertising. Journal of Advertising Research, 65(2), 150–166. https://doi.org/10.1080/00218499.2025.2464305

30. DigitalStudio Chile. (2025). Realidad Virtual y Multimedia Interactiva. https://www.digitalstudio.

31. Dirección del Trabajo. (2024). Opinión: Flexibilidad, Empleo y Productividad. Mitos y Verdades. Ministerio del Trabajo y Previsión Social. Chile. https://www.dt.gob.cl/portal/1626/w3-article-66282.html

32. Duoclaboral. (2020, 19 de mayo). ¿Cómo ser Freelance? DuocUC. https://duoclaboral.cl/noticias/como-ser-freelance/238

33. Eksioglu, E. (2024, 23 de septiembre). Los desafíos de las plataformas de freelancers para una verdadera transformación del mercado laboral. Entrepreneur en español. https://www.entrepreneur.com/es/emprendedores/los-desafios-de-las-plataformas-de-freelancers-para-una/480239

34. Fernández, Silvia. (2026, 15 de mayo). Creatividad atrapada: el nuevo modelo creativo enfrenta a las marcas a sus propias contradicciones. El Publicista. Reportajes. https://www.elpublicista.es/reportajes/nuevo-modelo-creativo-enfrenta-marcas-propias-contradicciones

35. Fernández-Gómez, E., Fernández-Vázquez, J., Gutiérrez-Martínez, B., & López-Bolás, A. (2024). Micro-influencers: percepción sobre la relación con sus seguidores y acciones comerciales que incrementan su participación. *Cuadernos.Info.* 57: 226–246. https://doi.org/10.7764/cdi.57.63765

36. Fundación Carlos Vial Espantoso. (2023, 6 de diciembre). Beneficios y riesgos de la flexibilidad laboral. https://fundacioncarlosvial.cl/beneficios-y-riesgos-de-la-flexibilidad-laboral/#:~:text=En%20cuanto%20a%20los%20beneficios,desplazamientos%20al%20trabajo%5B3%5D

37. Fundación País Digital. (2023). Futuro de la Educación en Chile. Innovación, tecnología y habilidades del siglo XXI. www.futurodelaeducacion.cl. https://media.paisdigital.org/wp-content/uploads/2024/01/02212122/FUTURO-DE-LA-EDUCACION-EN-CHILE_Estudio-Junio2023.pdf

38. Galván San Román, Susana. (2026, abril). Un cambio de modelo que afecta al ecosistema publicitario. NewixMedia. https://newixmedia.com/2022/07/18/un-cambio-de-modelo-que-afecta-al-ecosistema-publicitario/

39. Garfinkel, Melina. (2025, 9 de junio). Ser freelance y salud mental: El lado oscuro del trabajo flexible. Neuroclass.com. https://neuro-class.com/ser-freelance-y-salud-mental-el-lado-oscuro-del-trabajo-flexible/

40. Halpern, Pablo y Damone, Francesca. (2023, 8 de mayo). Percepciones acerca de la adopción de IA: riesgos para la reputación corporativa. Universidad de los Andes. ESE Business School. https://ese.cl/Archivos/Otros/2023/mayo/Informe%20Adopcion%20IA-CRC-%20ESE.pdf

41. Hayes, Molly & Downie, Amanda. (2026). ¿Qué es la realidad aumentada? IBM. https://www.ibm.com/es-es/think/topics/augmented-reality

42. Henríquez, Rodrigo. (2026). Experiencias y reflexiones sobre inteligencia artificial y trabajo. Elementos para el diálogo social en Chile. Aporte al Debate Laboral. N°48. Dirección del Trabajo. Chile. https://www.dt.gob.cl/portal/1629/articles-129086_archivo_01.pdf

43. Ibarra, Valeria. (2023, 11 de marzo). La disputa entre los socios de Megatime que sacude a la industria de la TV. El Diario Financiero. https://www.df.cl/df-mas/por-dentro/la-disputa-entre-los-socios-de-megatime-que-sacude-a-la-industria-de-la-tv

44. ILIA. (2024). Índice Latinoamericano de Inteligencia Artificial. ILIA 2024. Centro Nacional de Inteligencia Artificial. CENIA. https://indicelatam.cl/wp-content/uploads/2025/01/ILIA_2024_020125_compressed.pdf

45. IMD. Institute for Management Development. (2024). IMD World Digital Competitiveness Ranking 2024. World Competitiveness Center. The digital divide: risks and opportunities. https://imd.widen.net/s/xvhldkrrkw/20241111-wcc-digital-report-2024-wip

46. IMOVA. (2025). Soluciones XR para empresas. https://imova.cl/

47. IMT. Instituto Mexicano de Teleservicios. (2025, 31 de octubre). La revolución de la IA redefine las oportunidades profesionales en México. Contact Forum. IMT. https://contactforum.com.mx/noticias/la-revolucion-de-la-ia-redefine-las-oportunidades-profesionales-en-mexico/

48. INE. Instituto Nacional de Estadísticas. Chile. (2024, 31 de julio). Separata técnica. Encuesta nacional de empleo. https://www.ine.gob.cl/docs/default-source/ocupacion-y-desocupacion/publicaciones-y-anuarios/separatas/rectificacion/rectificacion_ene_2024.pdf

49. Interactive Advertising Bureau. IAB. Chile. (2024). Tendencias en la industria digital. https://www.iab.cl/wp-content/uploads/2024/03/Informe-Tendencias-Mar.24-Final.pdf

50. Interactive Advertising Bureau. IAB. Chile. (2025). Tendencias 2025. Comité de Tendencias: Research de IAB Chile. https://www.iab.cl/wp-content/uploads/2025/06/Tendencias-2025.pdf

51. Interactive Advertising Bureau. IAB. Chile. (2026). Tendencias Marketing Digital 2026. Comité Editorial AIB Chile. https://iab.cl/d/Tendencias2026-IABChile.pdf

52. IPP. Instituto Profesional Providencia. (2024, 21 de agosto). ¿Cuánto gana un publicista en Chile?

53. Instituto Profesional Providencia. https://ipp.cl/general/cuanto-gana-un-publicista-en-chile/

54. LATAM Airlines Chile. (2025, 10 de septiembre). Sala de Prensa. LATAM estrena pionera inteligencia artificial para planificar viajes. https://www.latamairlines.com/cl/es/prensa/comunicados/

55. LATAM-estrena-pionera-inteligencia-artificial-para-planificar-viajes

56. Latin America Reports. (2025, septembre 9). Balancing innovation and ethics: Chile faces national debate as proposed bill to regulate AI use advances. *Latin America Reports*. https://www.latinamericareports.com/balancing-innovation-and-ethics-chile-faces-national-debate-as-proposed-bill-to-regulate-ai-use-advances/12244/

57. Lavri, O. (2023, 23 march). *Navigating the Rising Gig Economy and Its Impact on Work*. Recuperado de https://www.talentneuron.com/blog/navigating-the-rising-gig-economy-and-its-impact-on-work#:~:text=Skilled%2Dworker%20shortages%20and%20the,fundamental%20understanding%20of%20employment%20itself

58. Linkedin. (2025, julio). Empleos de Data analytics en Chile. https://cl.linkedin.com/jobs/data-analytics-empleos?position=1&pageNum=0

59. Lustig, C.; Rintel, S.; Scult, L., and Suri, S. (2020, may). Stuck in the middle with you: The transaction costs of corporate employees hiring freelancers. Proc. ACM Hum.-Comput. Interact. 4, CSCW1, Article 37, 28 pages. https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/stuck-in-the-middle-with-you-the-transaction-costs-of-corporate-employees-hiring-freelancers/

60. Marín García, S. (2019). *Ética e inteligencia artificial* (Cuadernos de la Cátedra CaixaBank de Responsabilidad Social Corporativa, No. 42). https://dx.doi.org/10.15581/018.ST-522

61. Moisá Elicabide, Laura C., Moreno Reyes, Nicolás A., & Álvarez Osorio, Sebastián. (2024). *La precarización laboral de la innovación, el caso de Rappi en Colombia*. Estudios sociológicos, 42, e2707. https://doi.org/10.24201/es.2024v42.e2707

61. Mordecki, Daniel. (2026, 4 de mayo). Regular la IA no es prohibir (II). La Diaria. https://ladiaria.com.uy/opinion/articulo/2026/5/regular-la-ia-no-es-prohibir-ii/

62. Moreno, Paula. (2024). El impacto del Machine Learning en las industrias de Chile. Universidad del Desarrollo. https://bootcampvirtual.udd.cl/blog/aplicaciones-de-machine-learning-en-la-industria-chilena/

63. OECD. Organisation for Economic Co-operation and Development. (2024). Framework for Anticipatory Governance of Emerging Technologies. *OECD Science, Technology and Industry Policy Papers*, No. 165. https://doi.org/10.1787/0248ead5-en

64. Orellana M., Ramón, Núñez N., David, Castillo B., Sebastián. (2024, noviembre). La Inteligencia Artificial en la Industria Publicitaria y los Desafíos para la Enseñanza del Pensamiento Creativo en los y las Futuras Profesionales de la Publicidad. En Tecnología y Sociedad. Inteligencia Artificial en la docencia y la investigación. (Vol. 5, pp. 95-116). Facultad Tecnológica. Universidad de Santiago de Chile.

65. Pereyra Portugal, Pablo. (2025, 8 mayo). IA generativa y machine learning: Los nuevos arquitectos de la banca en Chile. Diario Constitucional. https://www.diarioconstitucional.cl/cartas-al-director/ia-generativa-y-machine-learning-los-nuevos-arquitectos-de-la-banca-en-chile-este-2025/

66. Pérez Alonso, Samuel J. (2024). Automatización: precariedad laboral y el futuro del trabajo. Universidad de Oviedo. https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/74840/TFG_SamuelJosePerezAlonso.pdf?sequence=4&isAllowed=y

67. PeumaLab. (2025). Transformación digital y experiencias inmersivas. https://peumalab.cl/

68. Pontificia Universidad Católica de Chile. (2022). Resultados Encuesta Nacional Bicentenario UC 2022. https://encuestabicentenario.uc.cl/publicaciones/resultados-encuesta-nacional-bicentenario-uc-2022/

69. Pontificia Universidad Católica de Chile. (2021). La educación superior se digitaliza con carreras de Ciencia de Datos, desarrollo de apps y Ciberseguridad. Escuela de Ingeniería. https://educacionprofesional.ing.uc.cl/la-educacion-superior-se-digitaliza-con-carreras-de-ciencia-de-datos-desarrollo-de-apps-y-ciberseguridad/

70. Portal Innova. (2023, 21 de octubre). El mundo digital llega hasta la vía pública: nueva forma de publicidad disruptiva hace su aparición en Chile. Grupo Prensa Digital. https://portalinnova.cl/el-mundo-digital-llega-hasta-la-via-publica-nueva-forma-de-publicidad-disruptiva-hace-su-aparicion-en-chile/

71. Publisuites. (2025, 2 de febrero). 10 tendencias clave en marketing digital para 2025. https://www.publisuites.com/blog/tendencias-clave-marketing-digital-2025/

72. Puente, M. (2023, 14 de marzo). *El boom de la automatización en el marketing digital: ¿cómo aprovecharla?* Recuperado de https://marketing4ecommerce.cl/el-boom-de-la-automatizacion-en-el-marketing-digital-como-aprovecharla/

73. Quintero Bonilla, Karla. (2025, 20 de junio). Evidencia que impulsa: el rol crítico de los datos confiables. Museo de la Publicidad y la propaganda. Universidad Diego Portales. https://museopublicidad.udp.cl/contenido/evidencia-que-impulsa-el-rol-critico-de-los-datos-confiables/

74. Rodríguez A., Y., Parra G., Ezra F., Zurita A., Kathia, Jezreel M., Miranda & Bonilla C., David. (2023). ChatGPT: La inteligencia artificial como herramienta de apoyo al desarrollo de las competencias STEM en los procesos de aprendizaje de los estudiantes. *ReCIBE. Revista electrónica de Computación, Informática, Biomédica y Electrónica*, 12(1). https://www.redalyc.org/journal/5122/512275598006/

75. Sandoval, Antonella. (2024, 17 de septiembre). El auge del trabajo freelance: una nueva constante en el panorama laboral. Latin Cloud. https://latincloud.com/blog/trabajo-freelance-nueva-panorama-laboral/

76. Segal, E. (2024, 14 May). What To Know About The Freelance Workforce As It Grows And Changes. Forbes. https://www.forbes.com/sites/edwardsegal/2024/05/14/how-and-why-the-freelance-workforce-continues-to-grow-and-change/

77. Silva, Amparo. (2025, 15 de septiembre). Transformación digital en marketing: automatización sin perder el toque humano. Amsoft. https://www.amsoft.cl/transformacion-digital-marketing-automatizacion-toque-humano/

78. SKY Airline. (2025, 12 de noviembre). La IA al servicio de la sostenibilidad. Noticias. https://blog.skyairline.com/la-ia-al-servicio-de-la-sostenibilidad/

79. Soto, Álvaro. (2011). Narrativas de Profesionales Chilenos Sobre sus Trayectorias Laborales: La Construcción de Identidades en el Trabajo. Psykhe (Santiago), 20(1), 15-27. https://dx.doi.org/10.4067/S0718-22282011000100002

80. Subsecretaría de Previsión Social. Chile. (2026, 5 de enero). Cotización de trabajadores que emiten boletas de honorarios. Chile Atiende. https://www.chileatiende.gob.cl/fichas/12016-cotizacion-de-trabajadores-que-emiten-boletas-de-honorarios

81. Supermercado al Día. (2025, abril 29). Las tendencias de compra y lo que viene para el negocio de los supermercados en Chile, según Cencosud, Unimarc y Falabella. https://supermercadoaldia.cl/2025/04/29/las-tendencias-de-compra-y-lo-que-viene-para-el-negocio-de-los-supermercados-en-chile-segun-cencosud-unimarc-y-falabella/

82. Technocio. (2019, 13 mayo). LATAM Airlines implementa tecnología para planeación de rutas. https://technocio.com/latam-airlines-implementa-tecnologia-para-planeacion-rutas/

83. UNESCO. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2024). Chile lanza una política nacional de IA y presenta un proyecto de ley sobre IA siguiendo las recomendaciones de la UNESCO. https://www.unesco.org/es/articles/chile-lanza-una-politica-nacional-de-ia-y-presenta-un-proyecto-de-ley-sobre-ia-siguiendo-las

84. Unnikrishnan, A. (2024). Analyzing the impact of emerging technologies on intellectual property rights (IPR): A comprehensive study on the challenges and opportunities in the digital age. *Law and World, 10*(1), 66-79. https://doi.org/10.36475/10.1.6

85. Upwork. (2023, 12 december). *Freelance Forward 2023*. https://www.upwork.com/press/releases/freelance-forward-2023

86. Warner, Adam. (2025, 25 de abril). Estadísticas de freelance: crecimiento de la economía gig 2025. Website Planet. https://www.websiteplanet.com/es/blog/estadisticas-de-freelance-crecimiento-de-la-economia/

87. WebFindYou. (2019, 27 de septiembre). ¿Cuáles son los empleos para freelancers más demandados en Chile? https://www.webfindyou.cl/blog/cuales-son-los-empleos-para-freelancers-mas-demandados-en-chile/

88. Williamson, Oliver. E. (1985). *The Economic Institutions of Capitalism: Firms, Markets, Relational Contracting*. Free Press.

89. Workana. (s.f.). *Búsqueda de empleo para publicistas en Chile*. Recuperado de https://www.workana.com/hire/freelancers/chile/publicistas

90. WorkGenius. (2025, 30 january). *Building a Digital Marketing Strategy with Freelancers: Trends & Benchmarks*. https://www.workgenius.com/blog/digitales-marketing-durch-freelancer-aufbauen-trends-und-benchmarks/

PERCEPCIÓN DEL MENSAJE PUBLICITARIO EN ENTORNOS DE REALIDAD AUMENTADA: UN ESTUDIO MIXTO SOBRE EXPERIENCIA DEL USUARIO

PERCEPTION OF ADVERTISING MESSAGES IN AUGMENTED REALITY ENVIRONMENTS: A MIXED-METHODS STUDY ON USER EXPERIENCE

Rodrigo Fredes Maldonado[1], **David Núñez Núñez**[2]

[1] *Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile (rodrigo.fredes@usach.cl)*

[2] *Departamento de Publicidad e Imagen, Facultad Tecnológica, Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile (david.nunez@usach.cl)*

https://doi.org/10.17613/mjgp9-v4612

Resumen

Este estudio analiza la manera en que la calidad de la experiencia de usuario (UX) en publicidad con Realidad Aumentada (RA) influye en la percepción del mensaje publicitario. Se concibe la UX a partir de tres dimensiones —usabilidad, interactividad y narrativa— y la percepción del mensaje en términos de efectividad y recuerdo, incorporando además las actitudes informativa, de novedad y de entretenimiento como moduladores. Se aplicó un diseño mixto descriptivo–correlacional con complemento cualitativo y semiótico, junto con un análisis icónicodiegético de piezas de RA (filtros, tryons, apps y activaciones). Los resultados cuantitativos muestran niveles moderadosaltos de UX y asociaciones significativas entre UX y percepción del mensaje, destacando la narrativa como la dimensión más vinculada a la efectividad y al recuerdo, mientras que la actitud informativa presenta la correlación más alta con la efectividad. El análisis cualitativo revela que la agencia significativa del usuario, la claridad operativa (affordances visibles) y la coherencia narrativa de la escena son mecanismos clave que convierten la interacción en significado comunicacional. Se concluye que la RA sólo alcanza su potencial persuasivo cuando el diseño experiencial integra usabilidad que reduce fricción, interactividad con propósito y micronarrativas legibles, ofreciendo lineamientos aplicables para el diseño y pretest de campañas inmersivas orientadas a la comprensión, valoración y recuerdo del mensaje publicitario.

Palabras clave: Realidad aumentada; Experiencia de usuario; Publicidad inmersiva; Narrativa interactiva; Efectividad publicitaria

Abstract:

This study analyzes how the quality of user experience (UX) in Augmented Reality (AR) advertising influences the perception of the advertising message. UX is conceptualized through three dimensions—usability, interactivity, and narrative—while message perception is assessed in terms of effectiveness and recall. In addition, informative, novelty, and entertainment attitudes are incorporated as moderating factors. A mixed descriptive–correlational research design was applied, complemented by qualitative and semiotic analysis, together with an iconic-diegetic analysis of AR applications, including filters, try-ons, apps, and activations. The quantitative results show moderate-to-high levels of UX and significant associations between UX and message perception, with narrative emerging as the dimension most strongly associated with effectiveness and recall, while informative attitude presents the highest correlation with effectiveness. The qualitative analysis reveals that meaningful user agency, operational clarity (visible affordances), and narrative coherence within the scene are key mechanisms that transform interaction into communicational meaning. It is concluded that AR reaches its persuasive potential only when experiential design integrates usability that reduces friction, purposeful interactivity, and readable micro-narratives. These findings provide applicable guidelines for the design and pre-testing of immersive campaigns aimed at enhancing the comprehension, evaluation, and recall of advertising messages.

Keywords: Augmented Reality; User Experience; Immersive Advertising; Interactive Narrative; Advertising Effectiveness.

1. Introducción

La publicidad contemporánea opera en un entorno crecientemente saturado de estímulos, plataformas y formatos, donde la mera captación de la atención ya no garantiza un impacto comunicacional si la experiencia en sí no conduce a un significado particular. En este contexto, la competencia entre marcas se desplaza desde ser vistas hacia ser vividas, es decir, hacia la capacidad de articular experiencias relevantes en las que el público no sólo reciba información, sino que construya sentido a partir de ella. El desafío para la comunicación publicitaria no se limita, por tanto, a innovar en soportes, sino a comprender cómo las nuevas formas de interacción mediada configuran la relación entre las personas, las marcas y los mensajes.

La Realidad Aumentada (RA) emerge en este escenario como una tecnología nueva que, entendida en términos amplios, integra señales captadas del mundo real con objetos gráficos tridimensionales, haciéndolos corresponder para construir "nuevos mundos coherentes, complementados y enriquecidos" donde coexisten objetos físicos y virtuales en un mismo espacio (Heras & Villarreal, 2004, p. 4). Esta capacidad de superponer capas digitales sobre el entorno físico para reformular el mundo y presentar versiones reestructuradas de la realidad, ha impulsado aplicaciones en ámbitos como la educación, el arte, el entretenimiento, los museos, la presentación de productos y las narrativas interactivas (Heras & Villarreal, 2004). En el campo del marketing y la comunicación comercial, dicha lógica abre la posibilidad de diseñar experiencias situadas en las que el usuario deja de ser únicamente espectador para participar activamente en la construcción del mensaje.

En este contexto, el auge global de la RA en los últimos años ha llevado a que numerosos actores de la industria inviertan en aplicaciones específicas de esta tecnología. Empresas como Amazon, IKEA o Nintendo han incorporado la RA para atraer el interés de los consumidores y fortalecer sus estrategias de marketing y promoción de marca (Lin & Huang, 2024). En paralelo, grandes corporaciones como Apple, Google o Mercedes Benz la han integrado en procesos de personalización de productos y servicios, dejando en evidencia que se trata de una tendencia con proyección de futuro y que está contribuyendo a transformar la competencia en diversos mercados (Bajaña-Mendieta et al., 2017). Este desplazamiento tecnológico sitúa en el centro del debate el concepto de experiencia de usuario (User eXperience, UX), entendido como la experiencia global que tiene una persona cuando interactúa con un producto tecnológico (Córdoba-Cely, 2013). Si bien inicialmente la evaluación de dicha experiencia se centraba en atributos de eficacia y eficiencia, con la usabilidad como indicador principal, el desarrollo de entornos inmersivos e interactivos obliga a ampliar la mirada hacia dimensiones como la interactividad, la emoción, la narrativa y la coherencia del recorrido experiencial.

2. El problema de la saturación

Nos enfrentamos a un escenario comunicacional marcado, como se señaló, por la sobreabundancia de estímulos publicitarios, donde la multiplicidad de mensajes amenaza la eficacia misma de la comunicación persuasiva. La publicidad ha crecido de manera exponencial en todo el mundo y las inversiones aumentan año con año, en una lucha por sobrevivir en mercados que exigen constante innovación e inversión en mercadotecnia (Priego et al., 2021). Sin embargo, este crecimiento sostenido

ha derivado en el fenómeno de la saturación publicitaria, entendida como el exceso de anuncios en determinados medios y plataformas, lo que genera rechazo e indiferencia en el público y termina por perjudicar la efectividad de las campañas y, en última instancia, las ventas. Estudios señalan que gran parte de los internautas, por ejemplo, asocia la saturación con sentimientos desagradables y la percibe como una molestia a evitar, adoptando conductas defensivas como abandonar páginas con exceso de publicidad (Priego et al., 2021).

En este contexto, uno de los grandes problemas de la publicidad convencional es su falta de recuerdo, consecuencia directa de la saturación. De ahí que se plantee como necesidad estratégica sacar los mensajes de los "largos túneles publicitarios convencionales", mediante la innovación en formatos que impliquen no sólo cambios de soportes, sino también una transición del monólogo del anunciante al diálogo con el consumidor (Del Pino, 2007, p. 300). La Realidad Aumentada se ha posicionado precisamente como uno de esos formatos emergentes que prometen romper con la saturación, al ofrecer experiencias interactivas e inmersivas novedosas. No obstante, la sola incorporación de RA en campañas publicitarias no garantiza per se una mejor comunicación. En este sentido, el problema disciplinar se sitúa en comprender cómo la calidad de la experiencia de usuario (UX) en estos entornos incide en la percepción del mensaje publicitario, de modo que el mensaje sea realmente comprendido, valorado y recordado. La falta de evidencia empírica específica sobre esta relación –entre calidad de UX en RA publicitaria y percepción del mensaje–, como se verá en la revisión del estado del arte, configura un vacío en el campo de la comunicación, especialmente en Chile, lo que limita la capacidad de orientar estratégicamente el diseño de campañas inmersivas centradas en el usuario.

El objetivo de esta investigación, entonces, es analizar cómo la calidad de la experiencia de usuario en experiencias publicitarias de Realidad Aumentada influye en la percepción del mensaje publicitario. Para ello, se propone caracterizar el nivel de UX en este tipo de experiencias a partir de tres dimensiones principales: Usabilidad (claridad operativa, presencia de señales visibles y feedback inmediato), Interactividad (grado de agencia del usuario, respuesta del sistema y alineación de las acciones con el propósito comunicacional) y Narrativa (coherencia icónico-diegética y legibilidad de la secuencia de acciones y contenidos). Sobre esta base, se buscará identificar patrones consistentes en el modo en que estas dimensiones ordenan el procesamiento del mensaje —reduciendo fricción y liberando atención (usabilidad), otorgando agencia con sentido (interactividad) y organizando el significado en microsecuencias claras y memorables (narrativa)—, así como el papel de los atributos informativos, de novedad y de entretenimiento como apoyos actitudinales que potencian el efecto comunicacional cuando se encuentran adecuadamente alineados. Con ello, se aspira a generar lineamientos que orienten decisiones de diseño en campañas de RA (por ejemplo, cuándo aumentar la agencia del usuario, cómo ordenar la secuencia narrativa o qué elementos hacer más visibles) para optimizar la comprensión, valoración y recuerdo del mensaje publicitario.

3. Algunas experiencias previas

La investigación internacional sobre publicidad con Realidad Aumentada converge en que los efectos persuasivos dependen del diseño experiencial. En contextos móviles —como filtros sociales, try-ons y empaques con activación RA— se reportan mejoras en actitudes y evaluaciones de marca

cuando la experiencia es clara, fluida y con sentido para el usuario. A este respecto, es importante mencionar la investigación de Yaoyuneyong et al. (2016) quienes integran la presencia, el placer y la utilidad como determinantes de respuestas favorables en RA móvil. Por su parte, Rauschnabel et al. (2018) demuestran que la inspiración del consumidor actúa como mediador del efecto de las aplicaciones móviles de RA sobre las respuestas de marca. Finalmente, dar cuenta de una revisión sistemática de Du et al. (2022), los que sintetizan dos décadas de hallazgos, subrayando que la RA móvil es altamente pertinente para fines de comunicación y marketing. Leída desde los constructos de este estudio, esta evidencia es coherente con un marco de UX tridimensional —usabilidad, interactividad, narrativa— que media la percepción del mensaje en términos de efectividad y recuerdo. En América Latina, la evidencia empírica refuerza el potencial del medio en múltiples categorías. En Perú, Pizarro (2019) determinó que en el contexto del retail la RA incide positivamente en la decisión de compra, sugiriendo que la combinación entre utilidad percibida y novedad facilita la evaluación de la oferta. En México, Saucedo Rivas (2017) caracterizó la RA como un formato publicitario atractivo para millennials, destacando su capacidad para articular información con experiencia. En Colombia, Puentes Castañeda & Bohórquez (2019) realizaron una comparación experimental entre avisos tradicionales y con RA, encontrando una mayor recordación y diferencias emotivas a favor de la RA. En Brasil, por su parte, Reges & Costa (2023) reportaron mediante ecuaciones estructurales que el uso de try-ons en RA incrementa la satisfacción, la certeza de elección y la intención de compra. En el ámbito chileno, Labra (2020) desarrolló un estudio experimental que sugiere que la implementación y la fricción de uso modulan la respuesta del usuario, favoreciendo las aplicaciones sobre los códigos QR, aunque su investigación no abordó entornos digitales ni la UX integral.
A continuación, se presenta una síntesis comparativa de los estudios analizados:

Tabla 1. Comparación de estudios previos sobre RA publicitaria

Estudio / Fuente	País	Formato	Método	Variables	Vacíos detectados
Yaoyuneyong et al. (2016)	EE. UU.	RA móvil	Cuantitativo	Presencia, placer, utilidad, actitud	No aborda UX ni narrativa.
Rauschnabel et al. (2018)	Alemania	RA móvil	Cuantitativo	Inspiración, respuestas de marca	No estudia percepción del mensaje.
Pizarro (2019)	Perú	RA retail	Cuantitativo	Intención de compra	No profundiza en experiencia subjetiva.
Labra (2020)	Chile	RA impresa	Cuantitativo	Entretenimiento, novedad, informativa	No aborda RA digital ni UX.
Du et al. (2022)	Intl.	Diversos	Rev. Sistemática	Actitudes y diseño de experiencia	Falta instrumentación estándar de UX.
Reges & Costa (2023)	Brasil	RA retail	Cuantitativo	Satisfacción, certeza de elección	No aborda percepción ni narrativa.

Fuente: elaboración propia.

En conjunto, estos trabajos validan el potencial persuasivo de la RA en la región; sin embargo, se concentran principalmente en enfoques cuantitativos y en formatos específicos, con escasa instrumentalización explícita de la calidad de la experiencia (usabilidad, interactividad, narrativa) y poca triangulación cualitativa/semiótica que explique el cómo se construye el sentido del mensaje durante la interacción.

4. La realidad aumentada como soporte publicitario

En términos teóricos, la Realidad Aumentada (RA) y la Realidad Virtual (RV) son tecnologías inmersivas paralelas que transforman el entorno de manera distinta. En lo específico, la RA superpone elementos digitales sobre el mundo físico, enriqueciéndolo sin reemplazarlo, mientras que la RV genera un entorno completamente digital que sustituye la realidad material. Ambas, junto con la Realidad Mixta (RM), se inscriben en el marco más amplio de la Realidad Extendida (RX), concepto paraguas que agrupa todas las formas de interacción que combinan entornos reales y virtuales. A modo de distinción, la RV "sumerge al usuario dentro de un entorno completamente sintético, sin tener consciencia del mundo real que lo rodea", en tanto que la RA "permite al usuario ver el mundo real, en el que se superponen o con el que se componen objetos virtuales" (González et al., 2013). La RA, por tanto, no sustituye la realidad, sino que la complementa, en el sentido que genera capas de información virtual que deben estar correctamente alineadas con la imagen del entorno real para lograr una sensación de integración coherente (González et al., 2013; Heras & Villarreal, 2004).

Estas propiedades convierten a la RA en un medio idóneo para diseñar experiencias híbridas e interactivas con alto potencial para el marketing y la publicidad. Al complementar y amplificar la percepción del mundo real con información relevante (González et al., 2013), la RA puede facilitar tareas de exploración, comparación y decisión, lo que la ha posicionado progresivamente como una estrategia de valor en el entorno de marketing. En las plataformas sociales, por ejemplo, los filtros de RA han masificado este formato al combinar componentes lúdicos, narrativos e identitarios que facilitan el branding y la circulación orgánica del contenido. En este entorno, se produce una comunicación bidireccional entre usuarios y marcas, toda vez que las marcas deben interactuar con su audiencia y ofrecer contenido relevante para sostener una conversación con su público objetivo (Hidalgo-Barrazueta & Cueva-Costales, 2023).

4.1. La experiencia de usuario

Sin embargo, la Realidad Aumentada sólo alcanza su potencial comunicacional cuando se entiende como experiencia de usuario y no solo como despliegue tecnológico. Es importante hacer notar, que desde el campo de los sistemas de información, la "calidad de experiencia" ha desplazado los enfoques centrados exclusivamente en la utilidad y la facilidad de uso, incorporando de manera explícita emociones y experiencias estéticas como valores que determinan la calidad de un producto o servicio (Córdoba-Cely, 2013). La aceptación tecnológica se fundamenta, así, en la creación de experiencias sensibles que abarcan dimensiones cognitivas y funcionales, pero también estéticas y emocionales. Esta mirada es especialmente pertinente en RA, donde el usuario no solo ejecuta una tarea, sino que interpreta un artefacto interactivo en clave multifacética, lo que incluye sus aspectos estéticos, significativos y afectivos (Desmet & Hekkert, 2007). En términos específicos, señalar que la experiencia estética se vincula con el deleite sensorial del objeto —su claridad, limpieza, simetría o novedad visual—; la experiencia significativa con las asociaciones cognitivas y el sentido que se construye; y la experiencia afectiva con las emociones emergentes de esa articulación (Córdoba-Cely, 2013).

Aplicado al marketing y la publicidad, esto implica que las campañas en RA no se evalúan únicamente por funcionar bien, sino por cómo orquestan estos niveles de experiencia. En términos de experiencia de usuario, esto supone articular entonces, en un mismo recorrido, claridad operativa, implicación emocional y construcción de significado. La presente investigación se sitúa precisamente en este cruce, al proponer el análisis de la calidad de la experiencia de usuario en RA a partir de tres ejes centrales —usabilidad, interactividad y narrativa— entendidos como organizadores del modo en que el mensaje publicitario es procesado, comprendido y recordado.

4.1.1. Usabilidad

En el marco de la experiencia de usuario en RA, la usabilidad constituye el primer umbral para que cualquier dimensión estética, emocional o narrativa llegue efectivamente a operar. Desde los estudios de Interacción Humano–Computador, la usabilidad se entiende como la capacidad de un sistema de ser comprendido, aprendido, usado y resultar atractivo en condiciones específicas de uso (Ramírez & Rojas, 2012), apoyándose en factores como la facilidad de aprendizaje, la efectividad de uso y la satisfacción con que las personas logran sus tareas (Bevan, 2003). Bajo la norma ISO 9241-11 (2018), por su parte, la usabilidad se refiere al grado en que la interfaz permite alcanzar objetivos con eficacia, eficiencia y satisfacción. Se trata de un mecanismo que reduce la fricción y la carga cognitiva cuando la interfaz hace visibles las señales de uso (affordances) y entrega feedback inmediato, desplazando la atención hacia el significado del mensaje. En RA publicitaria, estas tareas pueden ser tan básicas como activar un filtro, explorar un producto en 3D o completar una breve secuencia interactiva vinculada a una marca. Si el usuario invierte demasiado tiempo en descifrar qué hacer o dónde está una funcionalidad, el grado de usabilidad se reduce, y con ello se erosiona la atención disponible para procesar el mensaje, de modo que la interfaz se convierte entonces en fricción, no en puente.

4.1.2. Interactividad

En las experiencias de RA publicitaria, la interactividad constituye el segundo pilar de la experiencia de usuario, una vez asegurada la usabilidad básica. Si esta última reduce la fricción operativa, la interactividad define qué puede hacer el usuario con el sistema y con qué sentido. Estebanell entiende la interactividad como la relación comunicativa entre un usuario/actor y un sistema, cuyo grado viene dado por los recursos que permiten establecer un proceso de actuación participativa-comunicativa con los materiales. Desde la perspectiva técnica, Bettetini (1995, en Estebanell, 2002) destaca tres rasgos: la pluridireccionalidad del flujo de información, el papel activo del usuario en la selección de lo que requiere y el ritmo particular de la comunicación. Bajo esta lógica, la interactividad se concibe como un "diálogo entre el hombre y la máquina" que puede producir resultados textuales o experienciales no completamente previsibles, siempre que el sistema ofrezca amplias posibilidades de acción y un tiempo de respuesta reducido. Finalmente, y tomando como base los conceptos de Steuer (1992) y Liu & Shrum (2002), agregar que la interactividad alude a la comunicación bidireccional y a la agencia significativa del usuario frente a la respuesta del sistema. De este modo, la acción (probar, ajustar, decidir) debe estar alineada con el propósito comunicacional para que la participación sea relevante para la propuesta de valor.

4.1.3. Narrativa

En las experiencias de RA publicitaria, la narrativa funciona como el eje que da forma y sentido a lo que la usabilidad y la interactividad hacen posible. Lovato define las narrativas inmersivas como aquellas en las que el usuario asume un rol protagónico dentro de una historia que reacciona a sus movimientos y decisiones, obligándolo a implicarse corporalmente para avanzar en el relato en un entorno vinculado –en mayor o menor medida– al espacio real que lo rodea (Lovato, 2019). Siguiendo a Garrett (2011) y la gramática del diseño visual de Kress & van Leeuwen (2006), la narrativa en este plano se entiende como la coherencia icónico-diegética en microsecuencias legibles (inicio–acción–resultado). Es importante hacer notar que incluso en formatos breves como filtros o try-ons, una historia mínima aumenta la claridad y memoria del mensaje. Si se observa desde la UX, estas aportaciones permiten entender la narrativa no solo como secuencia de acontecimientos, sino como organización del recorrido experiencial, al guiar cómo se introducen los elementos de marca, en qué orden se despliegan las acciones, qué microdecisiones se le proponen al usuario y cómo cada una de ellas encadena feedback, significados y afectos.

5. Metodología

La investigación adoptó un enfoque mixto descriptivo–correlacional con complemento cualitativo y semiótico, centrado en experiencias publicitarias digitales con RA (filtros y efectos sociales, tryons, apps de marca y activaciones QR), entendidas como medio de comunicación y no como hardware o RA puramente lúdica. Se conceptualizó la UX en tres dimensiones (usabilidad, interactividad y narrativa) y la percepción del mensaje en efectividad y recuerdo, incorporando además actitudes informativa, novedad y entretenimiento como moduladores analíticos.

Figura 1: Marco conceptual del estudio: Usabilidad, Interactividad y Narrativa → Percepción del mensaje.



(Fuente: Elaboración propia, 2025)

Estas variables se midieron mediante una encuesta online con ítems tipo Likert de 5 puntos aplicada a una muestra no probabilística por conveniencia de n = 130 personas adultas residentes en Chile con experiencia reciente en RA publicitaria. El cuestionario mostró alta consistencia interna (α > 0,77). El análisis cuantitativo incluyó descriptivos, α de Cronbach y correlaciones de Pearson entre UX, percepción y actitudes.

Tabla 2. Estructura del instrumento por dimensiones e indicadores.

Dimensión	Indicador	Nº de ítems	Escala de respuesta
Usabilidad	Facilidad de interacción	3	Likert 1–5 (1 = totalmente en desacuerdo; 5 = totalmente de acuerdo)
Interactividad	Control del usuario	3	Likert 1–5 (1 = totalmente en desacuerdo; 5 = totalmente de acuerdo)
Narrativa	Claridad del mensaje	3	Likert 1–5 (1 = totalmente en desacuerdo; 5 = totalmente de acuerdo)
Entretenimiento	Nivel de diversión	3	Likert 1–5 (1 = totalmente en desacuerdo; 5 = totalmente de acuerdo)
Novedad	Percepción de innovación	3	Likert 1–5 (1 = totalmente en desacuerdo; 5 = totalmente de acuerdo)
Informativa	Valor informativo	3	Likert 1–5 (1 = totalmente en desacuerdo; 5 = totalmente de acuerdo)
Efectividad	Impacto del mensaje	3	Likert 1–5 (1 = totalmente en desacuerdo; 5 = totalmente de acuerdo)
Recuerdo	Recordación publicitaria	3	Likert 1–5 (1 = totalmente en desacuerdo; 5 = totalmente de acuerdo)

(Fuente: Elaboración propia, 2025)

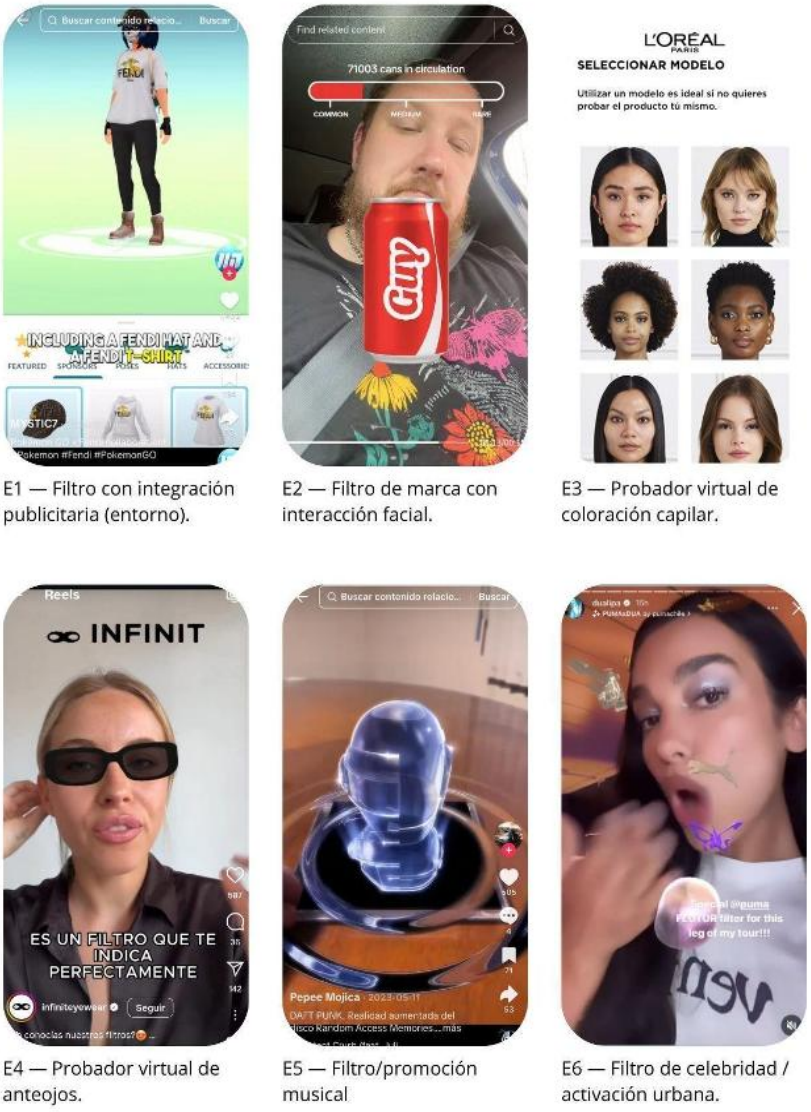
Tabla 3. Matriz de operacionalización de variables

Dimensión	Indicador	Ítem de medición
Usabilidad	Facilidad de interacción	Fue fácil interactuar con la experiencia de RA.
Interactividad	Control del usuario	Pude controlar la experiencia de RA según mis expectativas.
Narrativa	Claridad del mensaje	La narrativa o historia que me mostró la RA fue clara y coherente.
Entretenimiento	Nivel de diversión	La experiencia RA me pareció entretenida.
Novedad	Percepción de innovación	Sentí que la RA era novedosa e innovadora.
Informativa	Valor informativo	La RA me proporcionó información útil sobre el producto/marca.
Efectividad	Impacto del mensaje	El mensaje publicitario transmitido por RA fue efectivo.
Recuerdo	Recordación publicitaria	Recordé claramente la marca tras usar la experiencia de RA.

(Fuente: Elaboración propia, 2025)

El componente cualitativo se desarrolló mediante un análisis semiótico de un corpus intencional de piezas de RA (filtros, probadores virtuales, apps y activaciones públicas) elegido por máxima variación, trazabilidad y accesibilidad. La lectura icónicodiegética examinó escena, progresión inicio–acción–resultado, affordances visibles y anclaje marcario, vinculando estos recursos con los mecanismos emergentes en los discursos. La triangulación entre resultados estadísticos y análisis visual permitió explicar cómo la calidad de la UX se traduce en efectividad y recuerdo del mensaje, asegurando rigor mediante validez de contenido, fiabilidad interna, coherencia teóricometodológica y resguardo ético (consentimiento informado, anonimato y almacenamiento seguro de datos).

Figura 2. Mosaico de casos E1–E6 (capturas referenciales).



E1 — Filtro con integración publicitaria (entorno).

E2 — Filtro de marca con interacción facial.

E3 — Probador virtual de coloración capilar.

E4 — Probador virtual de anteojos.

E5 — Filtro/promoción musical

E6 — Filtro de celebridad / activación urbana.

(Fuente: Elaboración propia, 2025)

Es importante señalar que el uso de un muestreo no probabilístico por conveniencia limita la capacidad de generalizar los resultados a la población general. No obstante, este procedimiento resulta pertinente y riguroso, según los criterios de Hernández et al. (2014), dado que se trata de un fenómeno emergente y de baja incidencia donde el interés primordial es captar vivencias específicas y profundizar en tendencias y mecanismos de sentido.

Por otro lado, el diseño es de tipo transversal, lo que implica que las correlaciones observadas describen asociaciones consistentes pero no establecen causalidad directa. Esta condición se compensa mediante la triangulación explicativa propia del enfoque mixto, la cual articula el análisis cualitativo y semiótico para fortalecer la interpretación de los hallazgos. De este modo, el estudio logra pasar del patrón numérico a la comprensión de los mecanismos (agencia, narrativa y usabilidad) que configuran la percepción del mensaje publicitario.

6. Resultados

Esta sección presenta los resultados del componente cuantitativo aplicado a n = 130 personas con experiencia reciente en publicidad con Realidad Aumentada (RA), y articula su interpretación con los hallazgos cualitativos y la lectura semiótico-visual. Como se señaló, el objetivo es describir los niveles observados en las variables del estudio, estimar la asociación entre la UX (usabilidad, interactividad, narrativa) y la percepción del mensaje (efectividad, recuerdo), y explicar los mecanismos que conectan las decisiones de diseño con los resultados comunicacionales. Se reportan estadísticos descriptivos, correlaciones de Pearson y consistencia interna (α de Cronbach) para las escalas.

Tabla 4. Estadísticos descriptivos de las variables (n = 130)

Variable	M	SD
UX_Usabilidad	3,77	1,07
UX_Interactividad	3,68	1,1
UX_Narrativa	3,74	1,08
Act_Entretenimiento	3,51	1,11
Act_Novedad	3,47	1,12
Act_Informativa	3,65	1,08
Per_Efectividad	3,55	1,06
Per_Recuerdo	3,48	1,12

(Fuente: Elaboración propia, 2025)

Las tres dimensiones de UX alcanzan niveles moderados-altos: Usabilidad (M = 3,77, SD = 1,07), Interactividad (M = 3,68, SD = 1,10) y Narrativa (M = 3,74, SD = 1,08). En el grupo de actitudes, Informativa alcanza la media más alta (M = 3,65, SD = 1,08), seguida de Entretenimiento (M = 3,51, SD = 1,11) y Novedad (M = 3,47, SD = 1,12). La percepción del mensaje muestra valores sobre el punto medio, Efectividad (M = 3,55, SD = 1,06) y Recuerdo (M = 3,48, SD = 1,12).

Tabla 5. Matriz de correlaciones de Pearson entre variables (n = 130)

	UX_Usab.	UX_Inter.	UX_Narr.	Act_Entre.	Act_Nove.	Act_Info.	Per_Efec.	Per_Rec.
UX_Usabilidad	1	0,77	0,78	0,51	0,47	0,43	0,45	0,38
UX_Interactividad	0,77	1	0,77	0,42	0,36	0,37	0,48	0,46
UX_Narrativa	0,78	0,77	1	0,5	0,49	0,48	0,55	0,48
Act_Entretenimiento	0,51	0,42	0,5	1	0,85	0,69	0,56	0,49
Act_Novedad	0,47	0,36	0,49	0,85	1	0,73	0,52	0,5
Act_Informativa	0,43	0,37	0,48	0,69	0,73	1	0,63	0,57
Per_Efectividad	0,45	0,48	0,55	0,56	0,52	0,63	1	0,73
Per_Recuerdo	0,38	0,46	0,48	0,49	0,5	0,57	0,73	1

(Fuente: Elaboración propia, 2025)

Correlaciones entre UX, actitudes y percepción del mensaje. La matriz de correlaciones evidencia asociaciones significativas ($p < .01$) en todos los cruces relevantes. Se destacan cuatro bloques interpretativos:

1. UX → Percepción del mensaje.

- Narrativa–Efectividad: r = 0,55 (asociación más alta de UX con percepción).

- Narrativa–Recuerdo: r = 0,48.
- Interactividad–Efectividad: r = 0,48; Interactividad–Recuerdo: r = 0,46.
- Usabilidad–Efectividad: r = 0,45; Usabilidad–Recuerdo: r = 0,38.

2. Actitudes → Percepción.

- Informativa–Efectividad: r = 0,63 (la asociación más alta del conjunto).
- Informativa–Recuerdo: r = 0,57.
- Novedad–Efectividad: r = 0,52; Novedad–Recuerdo: r = 0,50.
  Entretenimiento–Efectividad: r = 0,56; Entretenimiento–Recuerdo: r = 0,49.

3. Consistencia entre dimensiones de UX.

- Usabilidad–Interactividad: r = 0,77; Usabilidad–Narrativa: r = 0,78; Interactividad–Narrativa: asociada positivamente.

4. Vinculación entre resultados de percepción.

- Efectividad–Recuerdo: r = 0,73.

Tabla 6. Alfas de Cronbach de las escalas (n = 130)

Variable	α
UX_Usabilidad	0,84
UX_Interactividad	0,82
UX_Narrativa	0,83
Act_Entretenimiento	0,79
Act_Novedad	0,77
Act_Informativa	0,81
Per_Efectividad	0,8
Per_Recuerdo	0,78

(Fuente: Elaboración propia, 2025

Todas las escalas superan el umbral recomendado de α ≥ 0,70, situándose en rangos buenos a muy buenos: Usabilidad α = 0,84, Interactividad α = 0,82, Narrativa α = 0,83, Entretenimiento α = 0,79, Novedad α = 0,77, Informativa α = 0,81, Efectividad α = 0,80, Recuerdo α = 0,78. La consistencia interna respalda el uso de promedios por constructo y la lectura comparada de relaciones entre escalas.)

7. Análisis e interpretación

Los resultados sitúan a la narrativa como el eje más fuerte de efectividad del mensaje publicitario en RA (r = 0,55), por encima incluso de usabilidad e interactividad. Este peso se entiende si se considera que, en experiencias inmersivas, lo decisivo no es solo ver contenidos, sino recorrer micro-secuencias legibles de inicio–acción–resultado que organicen la atención y el sentido. Tal como plantea Jaramillo-Puertas et al., (2023), la potencia de las narrativas radica en la coherencia entre historia, imagen y sonido, porque esa articulación es la que captura la atención, impulsa la proyección de una marca o producto y facilita difundir un mensaje o "programar una idea" en la mente del espectador (Jaramillo-Puertas et al., 2023, p. 313). Como señala Lovato, la RA se encuentra crecientemente naturalizada en la vida cotidiana —desde GPS hasta filtros sociales— y, en sus aspectos narrativos, permite entender mejor el entorno, acceder a más información y repensar los espacios que se habitan (Lovato, 2019). Cuando estas capas narrativas se alinean con la experiencia del usuario, la RA es capaz de construir un relato espacial en el que la persona se reconoce situada, es decir, lo que ve, hace y siente guarda una lógica que conecta su contexto físico con la propuesta de marca. Los coeficientes obtenidos (narrativa–efectividad r = 0,55; narrativa–recuerdo r = 0,48) indican precisamente que, cuando esa lógica está bien resuelta —coherencia historia-imagen-sonido, progresión clara de acciones, integración orgánica del anclaje marcario—, se incrementan tanto la claridad y valoración del mensaje como su memorabilidad. A la inversa, una RA con alta espectacularidad pero baja narrativa tiende a dispersar la atención, toda vez que el usuario recuerda la experiencia como evento aislado, pero no necesariamente el mensaje o la marca que debía articularla.

Por otro lado, los resultados muestran que la interactividad mantiene asociaciones moderadas-altas con la percepción del mensaje (hasta r = 0,48 con efectividad y r = 0,46 con recuerdo), pero solo cuando la acción propuesta al usuario tiene una consecuencia comunicacional. No basta con tocar o mover algo, la decisión debe modificar un aspecto relevante de la propuesta (color, medida, vista, configuración del producto) y el sistema debe responder de inmediato con feedback visible, de lo contrario, la interacción se agota como gesto lúdico y produce un recuerdo más bien efímero. Desde la perspectiva de la interactividad como relación comunicativa, Estebanell (2002) subraya que esta solo adquiere sentido cuando el código simbólico que emplea el material es comprendido por el usuario y cuando el intercambio perceptivo se integra de manera significativa en sus aprendizajes previos. La RA introduce nuevos códigos y estructuras no lineales que obligan a desarrollar estrategias interpretativas específicas, lo que supone que si estas acciones ayudan a entender mejor el producto o la situación, pueden incluso modificar habilidades cognitivas y posibilidades de aprendizaje. En línea con esto, Heras & Villarreal (2004) señala que nuestra percepción del mundo es siempre una reconstrucción contextual y que la RA puede desglosar aspectos normalmente ocultos o complejos, haciendo visibles dimensiones relevantes de la realidad mediante modelos simplificados.

Por otra parte, la investigación realizada muestra que la usabilidad sostiene estructuralmente a las otras dimensiones de UX, al presentar asociaciones moderadas con la percepción del mensaje (usabilidad–efectividad r = 0,45; usabilidad–recuerdo r = 0,38) y, al mismo tiempo, correlaciones muy altas con interactividad y narrativa (r = 0,78 dentro de la propia UX). Esto sugiere que, cuando la interfaz es clara, las personas tienden a percibir también mayor control sobre la acción y mayor coherencia del relato. Desde la teoría de la experiencia de usuario, el affordance se entiende como la relación entre la percepción del usuario y las características formales del producto, es decir, lo que el objeto deja ver sobre cómo debe usarse antes incluso de ser manipulado (Córdoba-Cely, 2013).

En RA, esa primera lectura perceptiva —iconos, botones, indicadores espaciales— resulta decisiva, en el sentido de que si los affordances y signifiers son visibles, el usuario puede anticipar qué hacer sin esfuerzo excesivo. En términos de usabilidad, esto implica que el diseño de RA debe minimizar el tramo de descifrado de la interfaz, lo que implica que cuanto menos tiempo se invierte en entender qué hacer, más recursos cognitivos quedan disponibles para procesar el contenido publicitario. En contextos comunicacionales, incluso cuando la acción motriz no se traduce de inmediato en compra —como sucede en un anuncio o filtro—, sí se convierte en una respuesta mental o actitudinal hacia la marca. De ahí que los resultados respalden la idea de que affordances claros, lenguaje comprensible y retroalimentación inmediata no solo mejoran la fluidez de la interacción, sino que habilitan que la interactividad y la narrativa cumplan su rol, relativo a organizar el sentido de la experiencia y reforzar la efectividad y el recuerdo del mensaje.

Siguiendo con el análisis, el bloque actitudinal refuerza la idea de que la RA publicitaria sólo se vuelve comunicativamente potente cuando combina claridad cognitiva y estímulo afectivo. La dimensión Informativa emerge como el modulador más fuerte de efectividad ($r = 0{,}63$), haciendo ver que cuando el contenido explicita qué se aprende o confirma —qué problema resuelve el producto, qué beneficio añade, qué duda despeja—, la evaluación del mensaje se eleva. La Novedad, por su parte, se asocia de manera notable con el recuerdo ($r = 0{,}50$), entendiéndose como innovación con propósito, no como el mero truco visual, lo que favorece que la experiencia permanezca en la memoria. El Entretenimiento actúa como soporte afectivo que hace la interacción más agradable, pero no sustituye la necesidad de comprensión, es decir, si se privilegia sólo el juego, sin valor informativo ni estructura narrativa clara, la pieza puede ser divertida pero poco efectiva.

Los hallazgos cualitativos, por su parte, profundizan y matizan el patrón cuantitativo antes revisado. La agencia significativa aparece como condición central, toda vez que las y los participantes valoran que la interacción les permita probar o validar algo relevante (probarse un atributo, comparar opciones), inscribiéndose dentro de la propuesta y apropiándose del mensaje, lo que lo vuelve más memorable. Las experiencias mejor evaluadas combinan esta agencia con coherencia diegética y micro-narrativas legibles, apoyadas en una usabilidad visible (affordances claros, pocos pasos, feedback inmediato).

Desde la lectura semiótico-visual a las piezas publicitarias, los resultados muestran que la narrativa también se juega en la estructura de la escena. La composición y la jerarquía visual inciden directamente en la legibilidad del mensaje, lo que quiere decir que situar el objeto de interés en zonas de máxima atención (regla de tercios o foco central), dejar espacio de respiro y reducir competidores visuales facilita que el usuario identifique qué cambia tras su acción. Del mismo modo, la progresión temporal —animaciones y transiciones— debe hacer visible la consecuencia de la agencia, en el entendido que un cambio de color o textura con morphing suave, acompañado de una breve confirmación textual o sonora, integra acción y significado, mientras que transiciones abruptas o poco informadas cortan la micro-historia y debilitan la comprensión. A esto se suma el trabajo sobre simbolismos afectivos y territorio de marca, lo que implica que texturas, ritmos de movimiento y paletas alineadas con la identidad consolidan el reconocimiento sin romper la diégesis, y el logo-marca funciona mejor como firma al cierre o en zonas no disruptivas que como irrupción constante. Creemos que la narrativa no es solo guion o texto, es puesta en escena. Cuando lo que ocurre en el cuadro cuenta claramente la transformación que gatilla la acción del usuario, el mensaje se interpreta y se recuerda con mayor fuerza.

8. Conclusiones

La investigación demuestra que la calidad de la experiencia de usuario en RA —operacionalizada en usabilidad, interactividad y narrativa— se asocia de manera consistente y robusta con la percepción del mensaje publicitario, cumpliendo el objetivo general planteado. El componente cuantitativo (n = 130) mostró niveles moderados–altos en UX y correlaciones significativas con efectividad y recuerdo, destacando la narrativa como dimensión más vinculada a la efectividad, mientras que interactividad y usabilidad sostuvieron tanto la evaluación como la memoria publicitaria en patrones estables, respaldados por una buena consistencia interna de las escalas ($\alpha \geq 0{,}77$). El componente cualitativo y la lectura semiótico-visual permitieron profundizar este hallazgo al describir que además la agencia significativa —probar, comparar, validar algo relevante para la persona—, la señalización visible mediante affordances claros, la coherencia diegética de la escena y un anclaje marcario integrado (no intrusivo) emergen como mecanismos centrales que convierten la interacción en significado comunicacional, y no en simple efecto tecnológico.

Estos resultados dialogan con el marco teórico revisado y lo precisan desde la comunicación publicitaria. Por un lado, confirman que la RA puede reducir carga cognitiva y riesgo percibido al integrar visualización de productos en contextos reales y ofrecer más detalles pertinentes, lo que favorece decisiones más confiadas, mayor satisfacción y participación del usuario. Por otro, se alinean con la idea de que las nuevas narrativas en RA generan experiencias más atractivas, estéticas, innovadoras e interactivas, donde el receptor construye conocimiento e implica activamente su atención, combinando disfrute y expectativa de novedad (Sosa-Fernández et at., 2023). Sin embargo, el estudio muestra que estos potenciales solo se realizan plenamente cuando la UX está bien diseñada, es decir, cuando la usabilidad libera recursos cognitivos, la interactividad otorga agencia con propósito y la narrativa organiza la experiencia en microsecuencias legibles que orientan hacia el mensaje de marca.

A partir de lo anterior, los hallazgos permiten traducir la relación entre UX y percepción del mensaje en un conjunto de recomendaciones aplicadas para el diseño y el pre-test de experiencias de RA orientadas a visibilidad y recordación de marca. En primer lugar, diseñar micro-narrativas legibles —con inicio, acción y resultado claramente visibles en escena— y evitar overlays intrusivos favorece que el usuario siga la transformación gatillada por su gesto y la asocie con la propuesta de marca. En segundo lugar, asegurar agencia con propósito —que cada interacción cambie algo relevante, como un try-on, una comparación o un ajuste significativo— alinea la RA con las motivaciones utilitarias del consumidor, vinculadas a conveniencia, selección y personalización (Dos Santos, 2022), al tiempo que activa motivaciones hedonistas relacionadas con disfrute, exploración y participación en el proceso. Tercero, hacer visible la operabilidad mediante affordances claros, micro-copys funcionales, feedback inmediato y economía de pasos reduce la fricción y potencia el valor informativo integrado en la experiencia.

Al mismo tiempo, las recomendaciones destacan que la novedad y el entretenimiento deben ponerse al servicio del mensaje y de la construcción de marca. Usar la innovación estética o técnica para amplificar la comprensión y el recuerdo —y no para competir con el objeto de interés— permite que la RA contribuya a la conciencia de marca en sus dos dimensiones, relativas al reconocimiento (identificar la marca cuando se nombra) y, sobre todo, al recuerdo (asociarla activamente a una

categoría de producto), que exige mayor esfuerzo cognitivo (Hidalgo-Barrazueta & Cueva-Costales, 2023). En este sentido, las pautas propuestas (micro-narrativas claras, agencia con propósito, operabilidad visible, valor informativo prioritario, novedad alineada y marca integrada) operan como checklist para iteraciones de diseño y pre-tests con usuarios que cuando se cumplen, la RA no solo mejora la experiencia de decisión —sumando beneficios de facilidad de uso, accesibilidad, interactividad y documentación del producto (Dos Santos, 2022)—, sino que también incrementa compromiso y participación, fortaleciendo la visibilidad y la recordación de marca en un entorno comunicacional saturado.

En términos de proyección, los resultados abren una serie de oportunidades de investigación que pueden fortalecer de manera decisiva el campo de la publicidad inmersiva. Una primera línea apunta a diseños experimentales que comparen formatos de RA y niveles diferenciados de UX con asignación controlada, lo que permitiría estimar efectos causales sobre efectividad y recuerdo y no solo asociaciones. En paralelo, la incorporación sistemática de telemetría de interacción —tiempos, errores, rutas, eventos clave— complementaría el autorreporte y habilitaría modelos más finos sobre cómo las micro-fricciones y los puntos de deleite impactan en las métricas comunicacionales. Para la disciplina publicitaria, esto significa avanzar desde la mera intuición creativa hacia un diseño de experiencias de RA empíricamente fundamentado, capaz de demostrar qué decisiones incrementan realmente la visibilidad y la recordación de marca.

Otra línea estratégica consiste en desarrollar protocolos de pre-test estandarizados específicos para RA publicitaria, incluyendo índices de legibilidad narrativa e información significativa, así como criterios de usabilidad adaptados a entornos híbridos físico-digitales. Estos instrumentos podrían articularse con estudios de segmentación de audiencias y contextos —edad, familiaridad tecnológica, objetivos de uso, móvil vs. punto de venta, ocio vs. consideración de compra— para ajustar la experiencia a distintos perfiles y momentos del proceso de compra. Finalmente, un benchmark comparativo entre industrias (moda, belleza, entretenimiento, CPG, entre otras) permitiría mapear territorios y gramáticas visuales, identificando patrones transferibles y errores recurrentes. Nos parece claro constatar que no basta con tener o usar productos con realidad aumentada, toda vez que es la calidad del diseño experiencial —usabilidad que despeja fricción, interactividad con consecuencia y narrativa que organiza el sentido— la que convierte la interacción en significado comunicacional, elevando de forma tangible la efectividad y el recuerdo del mensaje publicitario y ofreciendo a la práctica profesional un marco más riguroso para la toma de decisiones creativas y de planificación.

9. Referencias bibliográficas

1. Bajaña-Mendieta, I., Zúñiga-Paredes, A., Can-Sing, C., Meza-Cruz, F., & Puris-Cáceres, A. (2017). La realidad aumentada en la publicidad, prospectiva para el mercado ecuatoriano. *Revista Ciencia UNEMI, 10*(23), 148–157.

2. Bevan, N. (2003). UsabilityNet methods for user centred design. In C. Stephanidis (Ed.), Human-computer interaction: Theory and practice (Part 1) (Vol. 1, pp. 434–438). Lawrence Erlbaum.

Córdoba-Celis, C. (2013). La experiencia de usuario: De la utilidad al afecto. *Iconofacto, 9*(12), 56–70

3. Del Pino, C. (2007). El anunciante en la era de la saturación publicitaria: Nuevas herramientas de comunicación. *Ámbitos, 16*, 299–309.

4. Desmet, P., & Hekkert, P. (2007). Framework of product experience. International Journal of Design, 1(1).

5. Dos Santos Vitória, F. B. (2022). La realidad aumentada y la experiencia de compra del consumidor en el sector de la moda [Trabajo de fin de máster, Universidad Camilo José Cela]. Máster Universitario en Marketing Digital, Comunicación y Redes Sociales.

6. Du, J., Liu, D., & Wang, R. (2022). Augmented reality in marketing: A systematic review (2000–2021). *Journal of Business Research, 145*, 637–653.

7. Estebanell Minguell, M. (2002). Interactividad e interacción. *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa, 1*(1), 23–32.

8. Garrett, J. J. (2011). The elements of user experience: User-centered design for the web and beyond (2nd ed.). New Riders.

9. González Morcillo, C., Vallejo Fernández, D., Albusac Jiménez, J., & Castro Sánchez, J. (2013). Realidad aumentada: Un enfoque práctico con ARToolkit y Blender [e-book]. Cáceres: Consorcio Identic.

10. Heras Lara, L., & Villarreal Benítez, J. L. (2004). La realidad aumentada: Una tecnología en espera de usuarios. *Revista Digital Universitaria, 5*(7), 1-9.

11. Hidalgo-Barrazueta, A. del P., & Cueva-Costales, A. J. (2023). Uso de la realidad aumentada como herramienta para incrementar la visibilidad de la marca Yuquitos en Instagram en la ciudad de Loja. Digital Publisher, 8(3-1), 427–440. https://doi.org/10.33386/593dp.2023.3-1.1876

12. Jaramillo-Puertas, K., Endara-Chimborazo, J. C., Albuja-Donoso, A. E., & Parra-López, R. A. (2023). La realidad virtual y aumentada en la narrativa audiovisual. CIENCIAMATRIA: Revista Interdisciplinaria de Humanidades, Educación, Ciencia y Tecnología, 9(2, Ed. esp. II), 310–323

13. Kress, G., & van Leeuwen, T. (2006). Reading images: The grammar of visual design (2nd ed.). Routledge.

14. Labra, R. (2020). Publicidad impresa con realidad aumentada: Análisis actitudinal comparativo entre códigos QR y RA-App [Tesis de pregrado, Universidad de Santiago de Chile].

15. Lin, K.-Y., & Huang, T. K. (2024). Shopping in the digital world: How augmented reality mobile applications trigger customer engagement. *Technology in Society, 77*, Article 102816.

16. Liu, Y., & Shrum, L. J. (2002). What is interactivity and is it always such a good thing? Implications of definition, person, and situation for the influence of interactivity on advertising effectiveness. *Journal of Advertising, 31(4)*, 53–64. https://doi.org/10.1080/00913367.2002.10673685

17. Lovato, A. (2019). Diseño narrativo para AR y VR en proyectos transmedia de no ficción. Ponencia presentada en el XXI Congreso de la Red de Carreras de Comunicación Social y Periodismo, Escuela de Ciencias de la Comunicación, Facultad de Humanidades, Universidad Nacional de Salta (UNSa), Salta, Argentina.

18. Pizarro, L. (2019). Realidad aumentada y decisión de compra en el retail peruano: Caso Saga Falabella [Tesis de maestría, Universidad de Lima].

19. Priego Reyes, R., Martínez Prats, G., & Rodríguez Ocaña, M. A. (2021). La publicidad digital y el desafío de la saturación publicitaria para el empresario. *Face, 21(2)*, 14–21.

20. Puentes Castañeda, A. M., & Bohórquez, J. (2019). Realidad aumentada en publicidad: Efectos en recuerdo y percepción emotiva. *Revista Comunicación, 27(3)*, 45–60.

21. Ramírez Hernández, A., & Rojas Cruz, Y. (2012). La usabilidad: Un acercamiento a su utilización en la UCI. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas, 5(1),* 1–10.

22. Rauschnabel, P. A., Felix, R., & Hinsch, C. (2018). Augmented reality marketing: How mobile AR-apps can improve brands through inspiration. *Journal of Retailing and Consumer Services, 49*, 43–53. https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2018.05.003

23. Reges, A., & Costa, F. (2023). Try-on AR and consumer decision-making: A structural equation model. *Revista Brasileira de Marketing, 22(1)*, 1–22.

24. Saucedo Rivas, J. (2017). La realidad aumentada como formato publicitario para millennials. Revista de Comunicación, 16(2), 123–140.

25. Sosa-Fernández, R. P., Calvete-Lorenzo, S., & Rozados-Lorenzo, A. (2023). Pantalla aumentada, triple narrativa y el rol del usuario: Un estudio de caso. *Revista de Comunicación, 22(2)*, 475–494.

26. Steuer, J. (1992). Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. *Journal of Communication, 42(4)*, 73–93.

27. Yaoyuneyong, G., Foster, J., Johnson, E., & Johnson, P. (2016). Augmented reality marketing: Consumer preferences for design and message content. *Journal of Internet Commerce, 15(2)*, 120–139. https://doi.org/10.1080/15332861.2016.1163949

BIOLOGÍA DEL HABITAR: NEUROARQUITECTURA Y TECNOLOGÍAS EMERGENTES PARA EL BIENESTAR HUMANO

BIOLOGY OF HABITATION: NEUROARCHITECTURE AND EMERGING TECHNOLOGIES FOR HUMAN WELL-BEING

Verónica Aravena Ortega[1]

[1]*Departamento de Tecnologías Industriales, Facultad Tecnológica Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile (veronica.aravena.or@usach.cl)*

https://doi.org/10.17613/8dpvr-t8p15

Resumen

El presente capítulo explora la intersección entre tecnología, neuroarquitectura y bienestar, postulando que el entorno construido es un agente biológico activo que modula la fisiología y la salud mental humana. Partiendo de una crítica a la disociación histórica entre tecnología y naturaleza, el texto propone un retorno a la concepción de la tecnología como una extensión de la biología, destinada a facilitar la homeostasis. Se introduce el concepto de "biología del habitar" para explicar la necesidad de una congruencia estructural entre el organismo y su medio, que hoy es predominantemente artificial. A través de una revisión sistemática de literatura, se presenta evidencia empírica obtenida con herramientas de neuroimagen (EEG, fMRI) y monitoreo biométrico, que demuestra cómo elementos arquitectónicos específicos impactan directamente en la actividad cerebral, los estados cognitivos y las respuestas fisiológicas de estrés. Finalmente, se aboga por un cambio de paradigma hacia un Diseño Basado en Evidencia (DBE), donde la tecnología cuantifica el bienestar, posicionando a la neuroarquitectura como una herramienta preventiva y ética esencial para la salud pública contemporánea.

Palabras Clave: Neuroarquitectura, Diseño Basado en Evidencia, Tecnologías de monitoreo, Biología del Habitar.

Abstract:

This chapter explores the intersection of technology, neuroarchitecture, and wellbeing, positing that the built environment is an active biological agent that modulates human physiology and mental health. Starting with a critique of the historical dissociation between technology and nature, the text proposes a return to conceiving technology as an extension of biology, aimed at facilitating homeostasis. The concept of the "biology of inhabiting" is introduced to explain the need for structural congruence between the organism and its environment—which is currently predominantly artificial. Through a systematic literature review, the chapter presents empirical evidence obtained via neuroimaging tools (EEG, fMRI) and biometric monitoring, demonstrating how specific architectural elements directly impact brain activity, cognitive states, and physiological stress responses. Finally, it advocates for a paradigm shift toward Evidence-Based Design (EBD), where technology quantifies wellbeing, positioning neuroarchitecture as an essential preventive and ethical tool for contemporary public health.

Keywords: Neuroarchitecture, Evidence-Based Design, Monitoring Technologies, Biology of Inhabiting.

1. Introducción

Cuando se habla de Tecnología, inmediatamente aparecen en el imaginario colectivo las imágenes de ciencia ficción, que evocan a escenas futuristas, donde nuestra mente se va rápidamente a las imágenes de ciudades verticales, donde las líneas son definidas por las luces de neón y la monumentalidad de Blade Runner de Ridley Scott (1982) donde lo artificial domina el paisaje, o la eficiencia de la automatización y caos del tráfico aéreo de Nueva York, del Quinto Elemento de Luc Besson (1997). Estas imágenes de un futuro que nos facilitan la vida, han cimentado la idea de que la evolución tecnológica implica una separación de lo natural. Ciudades de acero, hormigón y cristal que se elevan a kilómetros sobre el suelo, desconectadas de la tierra y del ritmo biológico humano.

Esta percepción genera una distancia entre la experiencia humana cotidiana y nuestro entorno natural. Si corremos el velo de la ciencia ficción y volvemos a la esencia, recordamos que la tecnología surge de una necesidad básica de conservación. Como demuestra Richard Wrangham (2009) en sus estudios sobre la evolución humana, hitos como el uso y control del fuego no fueron simples descubrimientos, sino adaptaciones tecnológicas esenciales que permitieron moldear nuestra biología y aseguraron nuestra supervivencia, lo que fue trascendental para nuestra historia evolutiva.

Gracias al fuego tuvimos abrigo y fuimos capaces de comenzar a cocinar y crear nuevas y mejores herramientas, siendo una de las primeras tecnologías complejas. Como argumenta José Ortega y Gasset (1939) en su Meditación de la técnica, el ser humano no se conforma con simplemente estar o sobrevivir en el medio natural, sino que utiliza la técnica para adaptar el entorno a sus necesidades y alcanzar el bienestar, reconociendo que la tecnología se crea para nuestro propio beneficio, no como una fuerza ajena, sino como el aliado que busca la armonía de nuestro vivir.

La innovación tecnológica, debe entenderse desde su raíz, recordando que su origen histórico y antropológico, entendido por autores como Leroi-Gourhan (1964) como la externalización de nuestras capacidades biológicas para interactuar mejor con el medio. Considerando que su propósito ha sido siempre hacer nuestra vida más llevadera, lo que la hace mucho más cercana.

El desarrollo de tecnologías emergentes debe seguir esta lógica, hacer de nuestra existencia una experiencia más llevadera y amable, que nos permita desarrollarnos en un estado de homeostasis. Este propósito se alinea con lo que el neurocientífico Antonio Damasio (2018) define como el "imperativo homeostático", argumentando que las creaciones culturales y tecnológicas no son meros artificios, sino extensiones biológicas destinadas a regular nuestra vida, reducir el sufrimiento y promover el florecimiento humano.

De manera complementaria Humberto Maturana (1990) sostiene que lo define a una especie es un modo de vida, una configuración de relaciones cambiantes entre organismo y medio, que comienza con la concepción del organismo y termina con su muerte, y que se conserva generación tras generación, como un genotipo ontogénico, como modo de vivir en un medio.

Hoy día, identificamos a nuestro medio, no necesariamente como el medio natural, sino más bien como un entorno construido. Según el estudio de Klepeis et al. (2001), en la sociedad contemporánea pasamos más del 90% de nuestro tiempo en espacios interiores. Este entorno artificial, como

nuestros hogares, oficinas, escuelas, universidades y ciudades, se han convertido en nuestro nuevo medio natural. Hemos transformado nuestro ecosistema a un hábitat artificial, un cambio de paradigma con implicaciones para nuestra biología. Las consecuencias de esta transformación se hicieron especialmente evidentes durante la pandemia de COVID-19, cuando el aislamiento y las condiciones del entorno construido impactaron significativamente en la salud mental de las personas. Si nuestro modo de vivir actual ocurre en su mayoría dentro de entornos construidos, la arquitectura no es solo un refugio o un contenedor, sino que pasa a ser el factor determinante de nuestro fenotipo ontogénico contemporáneo.

La tecnología aplicada al entorno debe permitir desarrollarnos en un estado de homeostasis integral, recuperando el equilibrio entre las dimensiones física, emocional e intelectual. Juhani Pallasmaa (1996) plantea que el entorno construido tiene la tarea ética de mediar nuestra relación con el mundo, integrando no solo la eficiencia funcional, sino también nuestra dimensión espiritual y sensorial, ofreciendo un refugio existencial frente al ritmo de la vida contemporánea. "La tarea de la arquitectura y la tecnología es mediar entre el mundo y nuestro ser, proporcionando un horizonte de significado y equilibrio existencial."

La propuesta de este capítulo es exponer cómo el análisis de la biología del habitar se convierte en un aspecto fundamental para el bienestar en el entorno construido. A lo largo del texto, se revisarán estudios de casos donde se analiza cómo afecta a nuestro cerebro el entono construido y cómo la tecnología se presenta como una herramienta para poder cuantificarla. Se pretende dar a conocer distintas herramientas tecnológicas que pueden aplicarse en el diseño de estos espacios, considerando su impacto transformador como una oportunidad para el abordaje del problema de salud mental en nuestro país. La urgencia de este enfoque se hace evidente al observar la crisis de salud mental que afecta a Chile, donde, según el Termómetro de la Salud Mental ACHS-UC (2024), uno de cada cuatro chilenos presenta síntomas de problemas de salud mental. Esta cifra, sumada a los datos de la SUSESO (2023), que posicionan a los trastornos mentales como la principal causa de licencias médicas, subraya la necesidad de explorar nuevas estrategias de intervención. En este contexto, la arquitectura y el diseño de interiores, tradicionalmente centrados en la estética y la funcionalidad, emergen como disciplinas con un potencial terapéutico y preventivo aún no explotado. Entendiendo que los entornos construidos abarcan todo el espectro de lo que significa el habitar y son capaces de modular nuestros estados de ánimo, se hace muy importante explorar estos temas como una vía que pueda mejorar nuestra calidad de vida y cohesión social. Se espera que este estudio pueda ser un aporte para entender la importancia de diseñar entornos que no solo sean bellos, sino que también sostengan y fomenten el bienestar de quienes los habitan, apoyados por la tecnología.

En este contexto la neuroarquitectura nos ofrece el marco teórico y metodológico para lograr este objetivo Al integrar los conocimientos de la neurociencia, la psicología ambiental y la arquitectura, podemos empezar a diseñar no solo en función de la estética o la funcionalidad, sino también desde el impacto que los espacios tienen en nuestro cerebro, nuestras emociones y nuestro comportamiento.

1. Desarrollo

1.1. Antecedentes Teóricos y Empíricos, La Biología del Habitar

El entorno construido puede ser un motor que propicie el bienestar mediante incorporación de IA y del uso de tecnologías emergentes en el origen del desarrollo del diseño. Para esto es necesario establecer un marco conceptual que vincule nuestra biología con los espacios que habitamos. La biología del habitar, se nutre de la teoría de sistemas y se valida con la evidencia neurocientífica. Su principal postulado es que existe una relación inseparable y codependiente entre un organismo y su medio, y que el bienestar depende de la sinergia en esta relación.

Tradicionalmente, la arquitectura se ha entendido como la creación de contenedores para la actividad humana, que responden a una función y a la eficiencia. Así lo planteaban los principales precursores del Movimiento Moderno, como Le Corbusier quien se refería a la vivienda como la "Máquina del habitar" o Louis Sullivan, cuya máxima "la forma sigue la función", sugiere que la obra es validada mientras se resuelvan los aspectos funcionales y mecánicos, dejando en segundo plano la dimensión humana y psicológica, y sin considerar el impacto que el espacio ejerce en nuestra biología.

1.2. El Fundamento Ontológico, Autopoiesis y Modo de Vida

El fundamento de la biología del habitar se encuentra en el concepto de autopoiesis, desarrollado por los biólogos chilenos Humberto Maturana y Francisco Varela (1980), quienes definen a los seres vivos como sistemas autopoiéticos, es decir, redes de procesos que se producen y mantienen a sí mismas de forma continua. Una característica esencial de estos sistemas es que existen en una congruencia estructural con su entorno, un acoplamiento que Maturana denomina "modo de vida" (Maturana, 2001). Este modo de vida no es otra cosa que la configuración dinámica de relaciones que un organismo establece con su medio para conservar su autopoiesis, es decir, para seguir viviendo.

Cuando se produce una contradicción o perturbación en esta congruencia, en donde algo no fluye como debiese, surgen el malestar o la enfermedad. Si el entorno no provee las condiciones básicas necesarias para que el organismo conserve su organización, su integridad se ve amenazada y por lo tanto afectada.

Hoy en día, hemos trasladado nuestra vida diaria a un entorno predominantemente artificial, lo que hace necesario hacernos la siguiente pregunta; ¿están nuestros entornos construidos diseñados en congruencia con nuestra estructura biológica? Si la respuesta es negativa ¿podría el malestar que experimenta la sociedad contemporánea, desde el estrés crónico hasta la ansiedad, ser al menos en parte, una consecuencia de esta disonancia en nuestro modo de habitar?

1.3. La Validación Neurocientífica, El Entorno Reflejado en el Cerebro

La neurociencia nos permite validar empíricamente como el entorno influye en el ser humano, logrando medir objetivamente los efectos que el entorno construido tiene en el cerebro, lo que hoy considera la neuroarquitectura como propósito al diseñar.

Esto ha sido posible gracias al cruce de la neurociencia a través del estudio de la percepción y la cognición. Cómo plantea Assem et al. (2023) la percepción es la posibilidad de reconocer, visualizar y escuchar el entorno construido, mientras que la cognición es el proceso mental que nos permite comprenderlo a través del pensamiento y la experiencia, a partir de la información que se obtiene de él. De esta manera, el modo de vida, (Maturana, 2001) tiene una correlación directa con la cognición.

La percepción depende de la cognición, la que nos permite identificar cómo nos vemos afectados por nuestro entorno, a través de la información que obtenemos de él. Y somos capaces de comprenderla a través de los estímulos ambientales que activan nuestros sentidos. Esta afectación permite identificar una relación directa entre comportamiento humano, entorno y proceso emocional, lo que nos lleva a la psicología cognitiva.

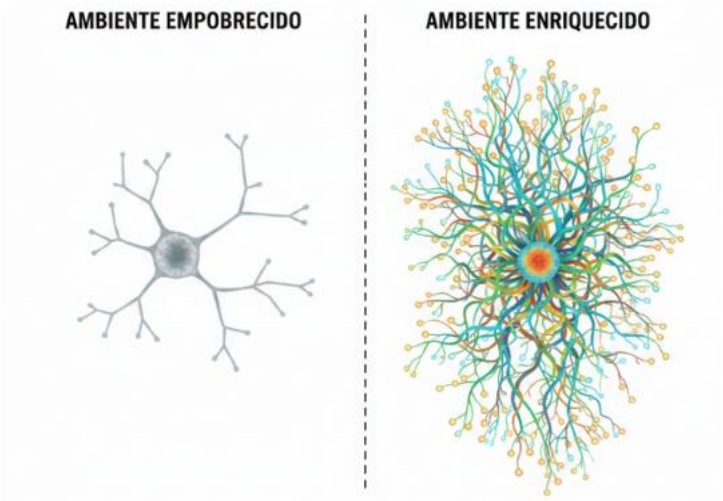
Cuando los humanos están sujetos a ciertas emociones, ciertas partes de sus cerebros pueden activarse en respuesta a los estímulos del entorno. En este sentido, Assem et al. (2023), señalan que "el sistema nervioso periférico se activa cuando se experimentan emociones de placer/displacer", "mientras que el procesamiento de emociones o imágenes mentales de agrado se asocian con la actividad de la amígdala en el cerebro". De manera complementaria, según el estudio de Khaleghimoghaddam et al. (2022), demostró que existe un vínculo entre la experiencia ambiental y la activación cerebral. Entre sus hallazgos observaron que "durante una experiencia arquitectónica, el flujo sanguíneo aumentó en ciertas regiones como el lóbulo frontal, el lóbulo occipital, el fusiforme y el occipital medio, cambios que se correlacionaron con variaciones en estados afectivos positivos y negativos".

Para crear ambientes interiores que exijan el bienestar humano, es importante estudiar la relación entre los estímulos ambientales en el entorno y la neurociencia. En este contexto, las tecnologías de neuroimagen nos permiten observar en tiempo real cómo diferentes configuraciones espaciales son capaces de modular nuestra actividad neuronal. Un ejemplo es el uso del electroencefalograma (EEG). Estudios recientes han demostrado que la exposición a distintos ambientes genera patrones de ondas cerebrales claramente diferenciables. La investigación de García-Salinas et al. (2025) utilizo entornos de realidad virtual para exponer a los participantes, a tres entornos con y sin elementos biofílicos, mientras se registraba su EEG. Los resultados revelaron que la simple presencia de elementos biofílicos produce una supresión de las ondas alfa y un incremento de las ondas theta en la corteza occipital, los que están asociados con estados de relajación y restauración de la atención. Otros trabajos como el de Djebbara et al. (2022), han mostrado que incluso la escala y proporción de un espacio interior modulan las oscilaciones de alta frecuencia del EEG, afectando la carga cognitiva.

Estudios pioneros en este tema como el de Diamond, Krech y Rosenzweig (1964) sobre la plasticidad cerebral en entornos enriquecidos, analizaron los cerebros de ratas en entornos enriquecidos y empobrecidos, separándolos en dos grupos. Los resultados demostraron que los especímenes expuestos a entornos físicamente enriquecidos, desarrollaron una corteza cerebral más gruesa y una mayor densidad de conexiones sinápticas en comparación con aquellos confinados en entornos

empobrecidos. Esta correlación entre espacio y biología no solo es posible de apreciar en la actividad eléctrica momentánea, sino que tiene consecuencias estructurales a largo plazo.

Figura 1. Representación esquemática de la plasticidad neuronal en ambiente empobrecido v/s mayor arborización dendrítica en un ambiente enriquecido.



Elaboración propia basado en los hallazgos de Diamond et al. (1964).

Este hallazgo trasciende la biología animal para plantear una advertencia crítica al diseño arquitectónico contemporáneo, planteándolo como un factor que influye directamente en la neurofisiología del bienestar. El concepto del entorno enriquecido adquiere una nueva dimensión al inducir cambios medibles a nivel neurológico, fisiológico y conductual (Assem et al., 2023). Habitar espacios monótonos, carentes de estímulos sensoriales adecuados o biológicamente incongruentes, podría estar inhibiendo nuestro potencial cognitivo y plástico.

Frente a esta perspectiva, el Diseño Homeostático, gracias el uso de herramientas tecnológicas y principios de neuroarquitectura, nos permite generar un acoplamiento estructural dinámico entre el entorno construido y el habitante, favoreciendo la regulación fisiológica, cognitiva y emocional del organismo. Desde esta perspectiva, la tecnología nos ofrece la manera de verificar si estamos construyendo jaulas empobrecidas o verdaderos ecosistemas enriquecidos para el desarrollo humano.

1.4. El Entorno como Agente Biológico Activo

La unión de la teoría autopoiética y la evidencia neurocientífica nos obliga a redefinir nuestra concepción del espacio. Como concluyen García-Salinas et al. (2025, p. 1), "el entorno no es un contenedor neutro, es un agente biológico activo". Esta afirmación es el pilar de la biología del habitar. Los entornos construidos son participantes activos en la regulación de nuestra homeostasis. Interactúan con nuestro sistema nervioso, modulan nuestras emociones, influyen en nuestro comportamiento social y, en última instancia, condicionan nuestro bienestar y a la larga influyen incluso en nuestras relaciones interpersonales.

Si el entorno es un agente biológico activo, entonces el diseño debe ser una práctica informada por la biología. A continuación, se busca establecer una metodología que permita aplicar sistemáticamente este conocimiento a través del Diseño Basado en Evidencia.

2. Metodología, Recopilación de antecedentes hacia el Diseño Basado en Evidencia

La presente investigación se define como un estudio de carácter cualitativo con un diseño no experimental de tipo documental, adoptando la metodología de revisión sistemática de literatura científica, que consistió en seleccionar estudios que cumplieran con dos criterios de inclusión, primero estar basados en experimentos reales con participantes humanos y segundo, que el análisis del bienestar se haya realizado mediante dispositivos digitales o herramientas tecnológicas de medición objetiva.

El objetivo es fundamentar un enfoque de Diseño Basado en Evidencia (Evidence-Based Design), proceso definido por AHEAD (2024) como la toma de decisiones sobre el entorno construido basándose en investigaciones creíbles para lograr los mejores resultados posibles.

Este enfoque tiene su origen histórico en los estudios de Roger Ulrich (1984), quien demostró empíricamente que las vistas a la naturaleza aceleraban la recuperación postoperatoria de los pacientes de cirugía de vesícula, quienes requieren además menos analgésicos potentes que aquellos con vistas a una pared de ladrillo.

Ilustración 2 Recreación de las condiciones visuales del estudio de Ulrich (1984).



Elaboración propia.

El procedimiento metodológico de este capítulo se estructuró en tres fases:

1. **Fase Exploratoria**: Revisión de marcos teóricos sobre Neurociencia y Arquitectura.
2. **Fase de Selección**: Aplicación de criterios de inclusión; experimentos con humanos, uso de sensores digitales, publicaciones arbitradas.
3. **Fase Correlacional-Sintética**: Sistematización de resultados mediante una matriz comparativa que permita establecer relaciones causales entre los estímulos arquitectónicos y las respuestas neurofisiológicas.

Para el análisis, se recopilaron estudios (referencia Assem et al., 2023, entre otros) que utilizaran tecnologías de medición objetiva, clasificadas en la Tabla 1 según el sistema biológico que monitorean (sistema nervioso central o autónomo), que cumplieran con la metodología propuesta y se consideró de manera indistinta si los entornos interiores construidos eran físicos o entornos virtuales en donde los participantes se exponían a una experiencia inmersiva.

Tabla 1. Herramientas Tecnológicas de Monitoreo empleadas en estudios

Tabla 1: Herramientas Tecnológicas de Monitoreo	
Miden Actividad Cerebral (Sistema Nervioso Central)	
Nombre	**Descripción**
Electroencefalograma (EEG)	Detecta la actividad eléctrica de las neuronas mediante electrodos en el cuero cabelludo, permitiendo ver cuándo ocurre un cambio de atención o relajación con precisión temporal.
Imágenes por Resonancia Magnética Funcional (fMRI)	Detecta los cambios en el flujo sanguíneo del cerebro, permitiendo ver dónde ocurre la emoción con precisión espacial.
Miden la actividad Fisiológica (Sistema Nervioso Autónomo)	
Nombre	**Descripción**
Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (HRV)	Detecta la variación de tiempo entre latido y latido. Una HRV alta indica relajación y adaptabilidad; una HRV baja indica estrés o fatiga.
Frecuencia Cardíaca (HR)	Detecta la velocidad de los latidos del corazón (pulsaciones por minuto). Aumenta ante amenazas o excitación.
Presión arterial (PA)	Detecta la fuerza de la sangre contra las paredes de las arterias. Su reducción es un indicador clave de recuperación física y relajación (efecto restaurador).
Biomarcador de Cortisol (Nivel de Cortisol)	Se mide en saliva o sangre. Es la reconocida hormona del estrés, su disminución confirma químicamente que el cuerpo ha dejado el estado de alerta.
Respuesta galvánica de la piel (GSR también conocida como EDA)	Detecta la conductancia eléctrica de la piel provocada por la sudoración microscópica. Es el indicador más directo de excitación emocional (*arousal*) o estrés

Fuente: Elaboración propia.

3. Principales Resultados

En el estudio de Assem et al. (2023), los investigadores buscaban verificar como se daba el bienestar humano en relación con los cuatro pilares fundamentales que plantea la neuroarquitectura, (físico, emocional, intelectual y social) durante su interacción con el espacio. Los experimentos lograron verificar que la exposición a uno o más elementos en el entorno interior impactó a los humanos tanto en entornos virtuales como físicos.

Tomando como referencia la sistematización de Assem et al. (2023) para identificar los elementos de diseño arquitectónico que afectan a los usuarios, se complementó la información cruzando los elementos de diseño con los tipos de tecnología de monitoreo de actividad cerebral utilizada y la tecnología de monitoreo para mostrar la respuesta fisiológica en cada uno de los estudios analizados. Se genero una matriz que correlaciona la actividad cerebral y la respuesta fisiológica, detallando el muestreo de los participantes y los hallazgos clave que se lograron extraer de los experimentos. Se incorporó una columna para indicar los mecanismos donde se define cómo lo procesa el cerebro, (Pilar NeuroArq) y otra columna donde se define el impacto que mejora en la vida del usuario, (Pilar Bienestar), identificando los resultados que son posibles de revisar en la Tabla 2. Para la elaboración de esta Tabla 2, se seleccionaron estos estudios por representar la validación empírica de distintas variables arquitectónicas luz, forma, materia y patrón, respondiendo además a los criterios de inclusión planteados en la fase de selección.

Tabla 2. Matriz Comparativa de Resultados de Estudios Analizados.

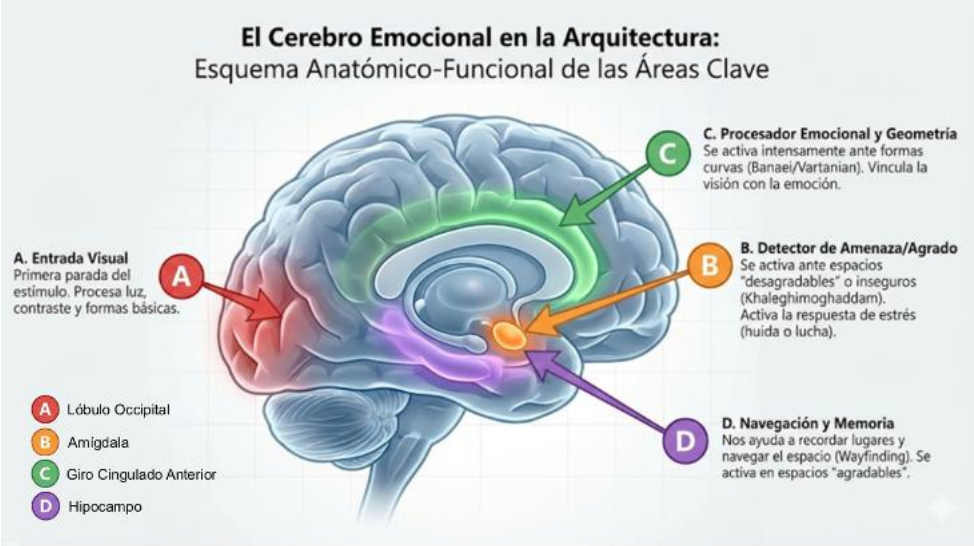
Tabla 2: Relación entre Neuroarquitectura y Bienestar (Evidencia Biométrica)							
Estudio (Artículo)	**Sujetos de Estudio**	**Elemento ARQ (Estímulo)**	**Pilar NeuroArq (Mecanismo)**	**Pilar Bienestar (Impacto)**	**Tec. Monitoreo actividad Cerebral (SNC)**	**Tec. Monitoreo actividad Fisiológica (SNA)**	**Hallazgo Clave (Evidencia)**
Banaei et al. (2017)	Estudiantes Universitarios (Adultos sanos, n=16)	Geometría Interior (Curvas vs. Rectas)	Emocional	Emocional	EEG (Ondas Theta)	N/A	Las curvas activan el Cíngulo Anterior, reduciendo el estrés visual y mejorando el confort emocional.
Chamilothori et al. (2019)	Adultos Jóvenes (Voluntarios sanos, n=80)	Patrones de Luz (Fachadas paramétricas)	Fisiológico	Físico	N/A	**HRV** (Var. Cardíaca) **GSR** (Piel)	Los patrones de sombra influyen en la excitación autónoma (arousal) sin que el usuario sea consciente.
Chamilothori et al. (2022)	256 participantes (Suiza y Grecia)	Patrones de fachada y luz natural en RV	Fisiológico	Social	N/A	**GSR** (Conductancia de la piel) Frecuencia Cardíaca	La geometría irregular (natural) y la luz solar reducen el estrés fisiológico en contextos sociales.Inducción de estados de calma, preferencia por la complejidad visual similar a la naturaleza.
Yin et al. (2018)	Trabajadores/Estudiantes (Entorno oficina, n=28)	Diseño Biofílico (Plantas en interior)	Fisiológico	Físico	N/A	**GSR** (Piel) **PA** (Presión Art.)	La biofilia acelera la recuperación física (baja el pulso y presión) tras el estrés cognitivo.
Vartanian et al. (2013)	No Expertos (Sin formación en Arq., n=18)	Volumetría (Techos altos y curvatura)	Conductual	Social	fMRI (Resonancia)	N/A	La arquitectura modula la decisión de "Aproximación vs. Evitación", prerrequisito para la interacción social.
Khaleghimoghaddam (2022)	Adultos Sanos (Hombres y Mujeres, n=24)	Cualidad Estética (Agradable vs. Desagradable)	Emocional	Emocional	fMRI (Resonancia)	N/A	Espacios desagradables activan la Amígdala (miedo). La "fealdad" se procesa biológicamente como amenaza.
Shemesh et al. (2016)	Estudiantes (No arquitectos, n=36)	Simetría y Geometría (Patrones matemáticos)	Cognitivo	Intelectual	EEG (Análisis Señal)	N/A	El cerebro procesa la geometría con patrones únicos. Las curvas mantienen mayor "interés" cognitivo.
Assem et al. (2023)	Múltiples Cohortes (Revisión Sistemática)	Materialidad (Madera y texturas)	Fisiológico	Físico	Revisión	Cortisol HR (Pulso)	El contacto con madera reduce automáticamente los niveles de cortisol y frecuencia cardíaca.
García-Salinas et al. (2025)	17 participantes sanos en inmersión RV	Entornos virtuales biofílicos (naturaleza) vs. entornos construidos cerrados	Cognitivo	Emocional	EEG (Electroencefalograma en reposo)	N/A	La actividad cerebral presenta firmas espectrales únicas ante entornos biofílicos, permitiendo diferenciar objetivamente la respuesta frente a la naturaleza versus el espacio construido.

Fuente Elaboración propia.

Haciendo una revisión de los antecedentes que entrega la Tabla 2, es posible identificar que la tecnología nos permite confirmar que la arquitectura no es inocua, sino que efectivamente genera cambios en nosotros, y no es necesario ser expertos en arquitectura para notar esto. Esto puede observarse en los estudios de Vartanian et al. (2013) o Shemesh et al. (2016), donde utilizaron sujetos no expertos y que no eran estudiantes de arquitectura. Sus hallazgos sugieren que estas respuestas neurológicas son innatas y universales, y no dependen de la formación académica del observador.

Al haber utilizado distintas herramientas de monitoreo, desde el functional Magnetic Resonance Imaging, (fMRI) o imagen por resonancia magnética funcional hasta el Respuesta Galvánica de la Piel (GSR), se demuestra que el impacto del entorno es sistémico, comienza con una activación cerebral (Pilar NeuroArq) y desencadena en efectos en la salud física y conductual (Pilar Bienestar)

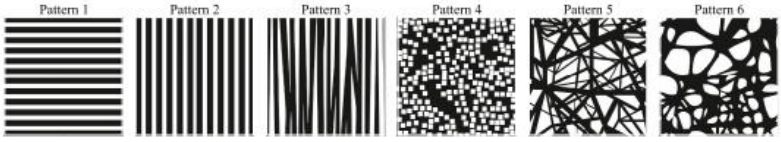
Figura 3. Esquema indicando zonas del cerebro activadas.



Elaboración propia.

Los resultados de Chamilothori et al. (2022), quienes investigaron mediante realidad virtual y sensores de conductancia de la piel (GSR) la respuesta humana ante diferentes patrones de fachadas y luz natural, resultan especialmente relevantes. El estudio evidencio que los participantes mostraron una preferencia significativa por patrones geométricos complejos e irregulares (Patrones 5 y 6 de ilustración 4) sobre los simples o repetitivos. Esta complejidad organizada e irregular corresponde a una característica propia de las formas naturales, particularmente de los llamados fractales, en contraste con la rigidez de las geometrías euclidianas artificiales. Asimismo, el estudio demostró que la interacción con estas geometrías, en contextos sociales bajo luz solar directa, redujo la excitación fisiológica asociada al estrés, sugiriendo que el cerebro humano reconoce y responde favorablemente ante patrones que evocan la estructura visual de la naturaleza.

Figura 4. Patrones a los que fueron expuestos los participantes del estudio Chamilothori et al. (2022)



Un hallazgo transversal que resulta revelador en la revisión de los distintos estudios es la tendencia sistemática de los participantes a exhibir respuestas neurofisiológicas positivas ante entornos que evocan a la naturaleza o replican sus lógicas geométricas. Esto se evidencia claramente al cruzar los resultados de Yin et al. (2018), Vartanian et al. (2013), Banaei et al. (2017), Chamilothori et al. (2022) y García-Salinas et al. (2025).

En estos casos, fue posible determinar que el diseño que evoca la naturaleza favorece el bienestar, con el diseño biofílico con la presencia de madera y vegetación, la iluminación solar dinámica con patrones complejos y la utilización de geometrías curvas. Yin et al. (2018) demostraron que la materialidad natural activa el sistema nervioso parasimpático, facilitando la relajación y restauración fisiológica. En cuanto a la geometría, Vartanian et al. (2013) comprobaron que las curvas activan áreas de recompensa emocional, hallazgo reforzado por Banaei et al. (2017), quienes validaron que dichas formas generan mayor confort emocional que las aristas afiladas. Chamilothori et al. (2022) evidenciaron que los patrones de luz complejos y fractales bajan los niveles de estrés (arousal) en contextos sociales, y García-Salinas et al. (2025) demostraron que la exposición a elementos biofílicos provoca una firma neuronal distintiva, como la supresión de alfa occipital y el aumento de theta, indicando un estado simultáneo de relajación y atención restaurada.

Estos datos sugieren que estos elementos son esenciales para generar entornos construidos enriquecidos, capaces de potenciar la plasticidad neuronal. Resulta llamativo, y a la vez biológicamente lógico, que aquello que evoca a la naturaleza nos haga sentir mejor. Esto confirma que nuestro cerebro, evolutivamente esculpido en el medio natural, sigue interpretando las señales de la naturaleza como indicadores de seguridad y homeostasis, incluso cuando estas se presentan dentro de un entorno artificial contemporáneo.

Esta evidencia cobra un sentido al analizar el estudio de Assem et al. (2023), quienes buscaron comprender cómo se articula el bienestar humano a través de los cuatro pilares fundamentales de la neuroarquitectura: físico, emocional, intelectual y social. En este marco: En este marco, los hallazgos de los estudios previamente citadaos pueden comprenderse como manifestaciones concretas de cada una de estas dimensiones, La respuesta parasimpática ante la madera descrita por Yin et al. (2018) contribuyente al bienestar físico. La activación de zonas cerebrales asociadas a la recompensa frente a las curvas, observada por Vartanian et al. (2013), fortalece el bienestar emocional. Del mismo modo la reducción del estrés en contextos de interacción social bajo luz natural, evidenciada por Chamilothori et al. (2022), fortalece el bienestar social. Finalmente, la restauración atencional asociada al incremento de ondas theta en entornos biofílicos, reportada por García-Salinas et al. (2025), sustenta el bienestar intelectual.

Figura 5. Infografía que grafica la validación neurocientífica de los 4 pilares del Bienestar planteados por Assem et al. (2023), articulando los distintos estudios analizados.



Elaboración propia.

Los experimentos de Assem et al. (2023) lograron verificar que la exposición a estos elementos en el entorno interior impacta a los seres humanos de manera consistente tanto en entornos virtuales inmersivos como en los físicos. Esto no solo valida la eficacia de los estímulos naturales y geométricos discutidos, sino que ratifica a las tecnologías de simulación como herramientas fidedignas para predecir el impacto biológico del diseño antes de su construcción.

4. Conclusiones

Gracias a la revisión de la evidencia empírica presentada en los estudios analizados, es posible confirmar el postulado central de la biología del habitar, el entorno no constituye un escenario pasivo, sino un agente biológico activo, tal como plantea García-Salinas et al. (2025, p. 1). Esta idea se distancia de la visión modernista de la vivienda entendida como una "máquina de habitar" desconectada del usuario, ya que los resultados demuestran que existe una correlación estructural continua entre el usuario y el espacio. La evidencia de estudios como los de Khaleghimoghaddam et al. (2022) y Assem et al. (2023) confirma que la fealdad o la falta de naturalidad no son solo preferencias estéticas, sino detonantes de respuestas de amenaza en la amígdala y elevaciones en los niveles de cortisol. Esto sugiere que habitar es un proceso biológico de interacción constante donde el diseño modula directamente nuestra fisiología. Si se consideran las cifras de salud mental en Chile (ACHS-UC, 2024), esta investigación concluye que la arquitectura resulta muy prometedora en un rol terapéutico y preventivo aun no explotado. Al demostrarse que el diseño biofílico y la geometría espacial pueden inducir estados de restauración cognitiva y reducción del estrés fisiológico, el diseño de interiores puede convertirse en una cuestión de salud pública. En este sentido, diseñar espacios que favorezcan la homeostasis no constituye un lujo, sino una necesidad ética para mitigar el estrés crónico de la vida urbana contemporánea. De este modo, se puede concluir que los espacios construidos son agentes capaces de promover la salud mental y bienestar humano.

Este estudio evidencia un cambio de paradigma metodológico en concíbela manera de concebir la arquitectura, gracias a la incorporación de tecnologías biométricas como (EEG, fMRI, y GSR). Si bien al momento de realizar un proyecto de diseño, se consideraban variables relacionadas con el entorno, la luz, el clima, los tipos de usuarios e incluso medios para lograr construcciones sustentables, hoy incorporan nuevas variables, esto permitirá desarrollar proyectos sostenibles y coherentes con el bienestar humano. Uno de los aportes relevantes de este estudio, es la posibilidad de objetivar lo subjetivo y cuantificar lo cualificable, gracias al uso de tecnologías de monitoreo, transformando sensaciones etéreas en datos biométricos tangibles. La capacidad de medir cómo una curva activa el cíngulo anterior (Vartanian et al., 2013) o cómo la madera reduce la frecuencia cardíaca (Assem et al., 2023), otorga al diseño arquitectónico un rigor científico inédito. En este contexto, la tecnología pasa a convertirse en una herramienta que nos permite reconectar con nuestras necesidades biológicas más profundas y dejade aparecer como una imagen distópica propia de la ciencia ficción de la que hablábamos en el comienzo del este capítulo.

Finalmente, podemos concluir que es de suma importancia transitar desde un diseño funcional/estético hacia un Diseño Basado en Evidencia. La Tabla 2, demuestra que existen parámetros de diseño específicos como la iluminación dinámica, geometrías curvas y texturas naturales, que generan bienestar medible. Por lo tanto, el desarrollo de la neuroarquitectura, como disciplina debe aplicarse como normativa y criterio proyectual, que debe ir apoyada por las tecnologías que la nutren. El futuro de la disciplina radica en crear entornos que sean biológicamente sostenibles, donde la validación del proyecto no solo dependa de su estabilidad estructural y económica, sino de su capacidad para sostener y enriquecer la vida humana a nivel neuronal y fisiológico.

En definitiva, si aceptamos que somos seres autopoiéticos, tal como lo planteaban Maturana y Varela (1984), determinados por nuestra estructura, pero acoplados a nuestro medio, la arquitectura del futuro no puede permitirse ignorar al cerebro que la habita. La tecnología nos ha dado los ojos para ver lo invisible, ahora es tarea del diseño construir la armonía.

4. Referencias Bibliográficas

1. ACHS-UC. (2024). Termómetro de la Salud Mental en Chile. Asociación Chilena de Seguridad y Universidad Católica de Chile. https://www.achs.cl/centro-de-trabajo/termometro-de-la-salud-mental

2. AHEAD. (2024). The definition of Evidence-Based Design. Accreditation of Healthcare Engineering and Design.

3. Assem, H. M., Khodeir, L. M., & Fathy, F. (2023). Designing for human wellbeing: The integration of neuroarchitecture in design - A systematic review. Ain Shams Engineering Journal, 14(102102). https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.102102

4. Banaei, M., Hatami, J., Yazdanfar, A., & Gramann, K. (2017). Walking through architectural spaces: The impact of interior forms on human brain dynamics. *Frontiers in Human Neuroscience, 11*, 477. https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00477

5. Besson, L. (director). (1997). The Fifth Element [Película]. Gaumont.

6. Chamilothori, K., Chinazzo, G., Rodrigues, J., Dan-Glauser, E. S., Wienold, J., & Andersen, M. (2019). Subjective and physiological responses to façade and sunlight pattern geometry in virtual reality. *Building and Environment, 150,* 144–155. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.009

7. Chamilothori, K., Wienold, J., Moscoso, C., Matusiak, B., & Andersen, M. (2022). Subjective and physiological responses towards daylit spaces with contemporary façade patterns in virtual reality: Influence of sky type, space function, and latitude. *Journal of Environmental Psychology, 82*, Article 101839. https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2022.101839

8. Damasio, A. (2018). El extraño orden de las cosas: La vida, los sentimientos y la creación de las culturas. Editorial Ariel.

9. Diamond, M. C., Krech, D., & Rosenzweig, M. R. (1964). The effects of an enriched environment on the histology of the rat cerebral cortex. *Journal of Comparative Neurology, 123(1)*, 111–119.

10. Djebbara, Z., Fich, L. B., Petrini, L., & Gramann, K. (2022). Sensorimotor brain dynamics reflect architectural affordances. Proceedings of the National Academy of Sciences, 119(19). https://doi.org/10.1073/pnas.2201744119

11. García-Salinas,J; Wróblewska , A; Kucewicz, M. (2025). Detection of EEG Activity in Response to the Surrounding Environment: A Neuro-Architecture Study. *Brain Sciences, 15(10),* 1103. https://www.mdpi.com/2076-3425/15/10/1103

12. Khaleghimoghaddam, N., Bala, H. A., Özmen, G., & Öztürk, Ş. (2022). Neuroscience and architecture: What does the brain tell to an emotional experience of architecture via a functional MR study? Frontiers of Architectural Research, 11, 877–890. https://doi.org/10.1016/j.foar.2022.02.007

13. Klepeis, N. E., Nelson, W. C., Ott, W. R., Robinson, J. P., Tsang, A. M., Switzer, P., ... & Engelmann, W. H. (2001). The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology, 11(3)*, 231–252.

14. Leroi-Gourhan, A. (1964). Le Geste et la Parole: Technique et Langage. Albin Michel.

15. Maturana, H. (1990). Emociones y lenguaje en educación y política. Centro de Estudios del Desarrollo.

16. Maturana, H. (2001). Cognição, ciência e vida cotidiana. Organização Cristina Magro e Victor Paredes. Editora UFMG.

17. Maturana, H., & Varela, F. (1980). Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living. D. Reidel Publishing Company.

18. Maturana, H., & Varela, F. (1984). El árbol del conocimiento: Las bases biológicas del entendimiento humano. Editorial Universitaria.

19. Ortega y Gasset, J. (1939). Meditación de la técnica. Revista de Occidente.

20. Pallasmaa, J. (1996). The Eyes of the Skin: Architecture and the Senses. John Wiley & Sons.

21. Scott, R. (director). (1982). Blade Runner [Película]. Warner Bros.

22. Shemesh, A., Talmon, R., Karp, O., Amir, I., Bar, M., & Grobman, Y. J. (2016). Affective response to architecture - investigating human reaction to spaces with different geometry. *Architectural Science Review, 60(2),* 116–125.

23. SUSESO. (2023). Informe Anual de Seguridad y Salud en el Trabajo. Superintendencia de Seguridad Social, Gobierno de Chile.

24. Ulrich, R. S. (1984). View through a window may influence recovery from surgery. *Science, 224(4647)*, 420–421.

25. Vartanian, O., Navarrete, G., Chatterjee, A., Fich, L. B., Leder, H., Modroño, C., ... & Skov, M. (2013). Impact of contour on aesthetic judgments and approach-avoidance decisions in architecture. Proceedings of the National Academy of Sciences, 110(Supplement 2), 10446–10453.

26. Wrangham, R. (2009). Catching Fire: How Cooking Made Us Human. Basic Books.

27. Yin, J., Zhu, S., MacNaughton, P., Allen, J. G., & Spengler, J. D. (2018). Physiological and cognitive performance of exposure to biophilic indoor environment. *Building and Environment, 132,* 255–262.

PEQUEÑAS TECNOLOGÍAS, GRANDES APOYOS: TECNOLOGÍA WEARABLE CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA NIÑOS Y NIÑAS AUTISTAS

SMALL TECHNOLOGIES, BIG SUPPORT: AI-POWERED WEARABLE TECHNOLOGY FOR AUTISTIC CHILDREN

Cristóbal Moreno Muñoz[1], **Daniela Avello Sáez**[2]

[1]*Departamento de Tecnologías de Gestión, Facultad Tecnológica, Universidad de Santiago de Chile (cristobal.moreno.m@usach.cl)*

[2]*Departamento de Ciencias de la Salud, Facultad de Medicina, Pontificia Universidad Católica de Chile (daniela.avello@uc.cl)*

https://doi.org/10.17613/nw9y0-d1w97

Resumen

El presente estudio se sustenta en una revisión narrativa estructurada, con el objetivo de establecer el estado actual de las tecnologías emergentes basadas en inteligencia artificial y dispositivos wearables en el acompañamiento de niñas y niños autistas y entregar recomendaciones para su integración responsable en la vida cotidiana. El avance de estas herramientas combina sensores biométricos, algoritmos de aprendizaje automático y plataformas interactivas para abrir nuevas posibilidades para monitorear en tiempo real variables fisiológicas y conductuales y facilitar intervenciones personalizadas en contextos educativos y terapéuticos. Los hallazgos principales en la literatura reciente identifican cinco dimensiones clave para orientar su implementación: el monitoreo fisiológico y comportamental; la interacción y el aprendizaje social mediante dispositivos como lentes inteligentes; la personalización y adaptabilidad de las respuestas tecnológicas; la protección de la privacidad y seguridad de los datos; y el entrenamiento técnico necesario para educadores y cuidadores. Estas tecnologías muestran un alto potencial para apoyar el desarrollo socioemocional, la gestión emocional y la autonomía de niños y niñas autistas, así como para contribuir a la detección temprana y el fomento de su independencia y autonomía. No obstante, su uso exige considerar límites y desafíos, entre ellos la necesidad de diseños empáticos y cómodos, sensibles a las particularidades sensoriales de los usuarios, y procesos de validación continua que incluyan ensayos controlados y evaluaciones de impacto a largo plazo. La evidencia destaca, además, el valor del diseño participativo centrado en el usuario para asegurar soluciones pertinentes y respetuosas de la diversidad sensorial propia de autismo.

Palabras clave: Tecnología wearable; Inteligencia Artificial (IA); Trastorno del Espectro Autista (TEA).

Abstract:

This study is based on a structured narrative review, with the aim of establishing the current state of emerging technologies based on artificial intelligence and wearable devices in support of autistic children and present recommendations for its responsible integration in daily life. The advancement of these tools combines biometric sensors, machine learning algorithms, and interactive platforms to expand new possibilities for real-time monitoring of physiological and behavioral variables and facilitating personalized interventions in educational and therapeutic contexts. The main findings in the recent literature identify five key dimensions to guide its implementation: physiological and behavioral monitoring; social interaction and learning through devices such as smart glasses; the personalization and adaptability of technological responses; the protection of data privacy and security; and the necessary technical training for educators and caregivers. These technologies show high potential to support socio-emotional development, emotional management and autonomy of autistic children, as well as to contribute to early detection and the promotion of their independence and autonomy. However, its use requires considering limits and challenges, including the need for empathetic and comfortable designs, sensitive to the sensory particularities of users, and continuous validation processes that include controlled trials and long-term impact evaluations. The evidence also highlights the value of user-centered participatory design to ensure relevant solutions that respect the sensory diversity of autism.

Keywords: Wearable Technology; Artificial Intelligence (AI); autism spectrum disorder (ASD).

1. INTRODUCCIÓN

El trastorno del espectro autista (TEA) corresponde a un conjunto de condiciones del neurodesarrollo asociadas al desarrollo cerebral y caracterizadas, entre otros aspectos, por diferencias en la comunicación social, la interacción y patrones conductuales restringidos o repetitivos. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), estas características pueden expresarse de manera heterogénea, con necesidades diversas a lo largo del ciclo vital. En la niñez, con frecuencia se observan desafíos vinculados a la regulación emocional y la autonomía en sus rutinas cotidianas, lo que puede afectar la participación en entornos educativos y la dinámica familiar.

La hipersensibilidad a estímulos auditivos, visuales o táctiles puede generar ansiedad y comportamientos disruptivos, mientras que las dificultades en la comunicación y el reconocimiento de expresiones faciales limitan la socialización y la participación en entornos educativos. A ello se puede sumar la rigidez en las rutinas y la planificación, que afecta la capacidad de adaptación a cambios inesperados, lo cual tiene un impacto negativo sobre su bienestar y la dinámica familiar.

El desarrollo de tecnologías emergentes basadas en inteligencia artificial (IA) y dispositivos wearables ha transformado de manera significativa los campos de la salud, la educación y la inclusión social. Según Álvarez et al. (2020), la tecnología wearable o "vestible", se puede entender como "dispositivos electrónicos capaces de incorporarse en el cuerpo de una persona, con el fin de obtener información de manera continua" (99). A esta definición, Koo et al. (2018) agregan que estos aparatos electrónicos, dirigidos a personas autistas, deben ser diseñados para ser usados cómodamente y están equipados con "sensores para monitorizar parámetros fisiológicos y conductuales, proporcionando una recopilación de datos y retroalimentación en tiempo real y discreta para apoyar la salud, la comunicación y la autorregulación en personas con trastornos del espectro autista" (38).

Estos avances ofrecen nuevas oportunidades para abordar las necesidades de grupos específicas, entre ellas niñas y niños autistas mediante la combinación de sensores biométricos, algoritmos de aprendizaje automático y plataformas interactivas permite monitorear variables fisiológicas y conductuales en tiempo real, generando intervenciones personalizadas que pueden contribuir al desarrollo socioemocional y conductual.

El objetivo de este trabajo busca determinar el estado actual de las tecnologías emergentes basadas en inteligencia artificial y dispositivos wearables en el acompañamiento de niñas y niños autistas para responder a la pregunta: ¿Qué recomendaciones de uso deben guiar la implementación segura de wearables con inteligencia artificial en niñas y niños con TEA? Con ello se busca aportar a la discusión sobre cómo las tecnologías emergentes pueden integrarse de manera responsable en la vida cotidiana, contribuyendo a la inclusión y al fortalecimiento de prácticas educativas y terapéuticas en el marco de la sociedad digital contemporánea.

2. Antecedentes Teóricos

La literatura reciente identifica cinco dimensiones fundamentales que orientan la implementación de wearables en este ámbito que corresponden al monitoreo fisiológico y comportamental, mediante indicadores como la variabilidad de la frecuencia cardíaca o la actividad electrodermal; la interacción y el aprendizaje social, apoyados en dispositivos como gafas inteligentes con realidad aumentada; la personalización y adaptabilidad, que permiten ajustar las respuestas tecnológicas a las necesidades individuales; la privacidad y seguridad de los datos, asegurando un manejo ético y transparente de la información; y el entrenamiento y soporte técnico, indispensables para que educadores y cuidadores utilicen estas herramientas de manera efectiva.

Figura 1. Interacción entre tecnología wearable-usuario y retroalimentación para cuidadores



Nota: La figura 1 representa la interacción de la tecnología usable, a modo de reloj inteligente, capaz de recopilar datos fisiológicos y de comportamiento del usuario para entregarlos a sus cuidadores a través de un app en un teléfono inteligente. Esta imagen fue elaborada por los autores con la herramienta de generación de imágenes IA de Gemini, Google.

La Figura 1 representa cómo cuidadores de niños y niñas autistas pueden monitorear reacciones fisiológicas y de comportamiento del usuario y poner esta información en función de un registro médico, educativo o terapéutico que permita responder de manera más asertiva a las necesidades del usuario.

No obstante, el rápido avance tecnológico exige reconocer los límites y alcances de estas aplicaciones. La implementación debe considerar diseños empáticos y cómodos, sensibles a las particularidades sensoriales de los niños, así como procesos de validación continua que incluyan ensayos controlados y evaluaciones de impacto a largo plazo para llegar a consolidarse como instrumentos seguros y sostenibles para apoyar el desarrollo integral de niñas y niños con TEA.

3. Metodología

El presente estudio se sustenta en una revisión narrativa estructurada con el fin de identificar el rol de las tecnologías emergentes basadas en inteligencia artificial (IA) y dispositivos wearables en el acompañamiento de niñas y niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA). La elección de este enfoque responde a la necesidad de una flexibilidad metodológica y de un análisis crítico contextualizado, dado que se trata de un campo en rápida evolución, donde los hallazgos científicos y las aplicaciones tecnológicas se encuentran en constante transformación.

A diferencia de las revisiones sistemáticas estandarizadas, el uso de este diseño busca integrar literatura heterogénea, incluyendo estudios empíricos, ensayos clínicos, reportes técnicos, con el fin de identificar tendencias, dimensiones emergentes y vacíos de investigación.

Esto se debe a que las tecnologías wearables con IA aplicadas al TEA aún carecen de consensos estables, lo que exige un abordaje flexible que capture tanto avances como limitaciones, por lo cual no interesan solo aplicaciones tecnológicas, sino también implicancias éticas, pedagógicas y sociales, que consideren la diversidad de experiencias neurodivergentes y aportes desde la informática, la psicología, la educación y la bioingeniería, y diseño de producto.

3.1. Diseño Metodológico

1.Selección de fuentes: se consultaron bases de datos Scopus y WoS, publicadas en los últimos diez años.

a.Criterios de inclusión: estudios que aborden el uso de dispositivos wearables con integración de IA en contextos educativos, terapéuticos o clínicos vinculados al TEA.
b.Criterios de exclusión: literatura centrada exclusivamente en aplicaciones médicas sin relación con procesos de aprendizaje o acompañamiento socioemocional.

2.Ejes de análisis: se organizaron los hallazgos en torno a cinco dimensiones identificadas en la literatura reciente:

a.Monitoreo fisiológico y comportamental
b.Interacción y aprendizaje social
c.Personalización y adaptabilidad
d.Privacidad y seguridad de los datos
e.Entrenamiento y soporte técnico

3.Síntesis crítica: se realizó un análisis narrativo que contrasta beneficios potenciales con limitaciones y las principales funciones de las categorías identificadas: detección temprana, gestión emocional, fomento de independencia y autonomía; y la importancia del diseño participativo.

4. Resultados

4.1. Vínculos entre tecnología wearable y tecnologías de apoyo (Asistencia tecnológica) para neurodivergencias

Cabe recordar que tanto la tecnología wearable como la asistencia tecnológica o tecnologías de apoyo (AT) buscan conectar forma y función para mejorar la vida cotidiana de las personas. El caso específico de la tecnología wearable se refiere a dispositivos que se llevan en el cuerpo (muñeca, torso, cabeza) para capturar señales fisiológicas y/o entregar retroalimentación sensorial en tiempo real. Enfocado en el autismo, las tecnologías que destacan son el monitoreo de estrés (FC, HRV, EDA), la captura de actividad/psicomotricidad y microintervenciones just-in-time o "justo a tiempo" basadas en analítica predictiva. Por otra parte, la AT engloba un mundo mayor de cualquier sistema que aumenta, mantiene o mejora capacidades funcionales (comunicación, autorregulación, seguridad, independencia). Incluye wearables, pero también software AAC, apoyos sensoriales no vestibles y soluciones de seguimiento/alerta al desplazarse. Con esto en mente, podríamos entender que ambas tecnologías buscan cumplir la función de apoyar, pero la tecnología wearable implica un formato de usabilidad sobre el cuerpo, con sensores específicos que incorporan lo biométrico para funciones específicas, mientras que la AT puede ser un apoyo externo al cuerpo.

4.2. Tipos de wearables y sus funciones

4.2.1. Detección temprana para obtención de diagnóstico y recursos

Pandya et al. (2024) ofrecen una visión completa de los avances en la investigación del autismo impulsados por la inteligencia artificial, el aprendizaje automático y las tecnologías de neuroimagen. Estos avances particulares se enfocan en cómo estas herramientas analizan marcadores conductuales y biológicos a través del seguimiento ocular, las expresiones faciales, las habilidades motoras, la resonancia magnética, la resonancia magnética (fMRI) y el EEG para mejorar el diagnóstico precoz y profundizar en la comprensión del TEA. Los investigadores hacen hincapié en la importancia de la integración multimodal de datos y en el reconocimiento de desafíos como la calidad y la interpretabilidad de estos datos. En cuanto a la proyección de esta tecnología, se reconoce el potencial de la IA para mejorar no solo la detección temprana sino el tratamiento personalizado y las futuras líneas de investigación en autismo específicamente al manipular algoritmos de IA para enfocarse en Redes Neuronales Convolucionales (CNN) para análisis de imágenes, las Redes Neuronales Recurrentes (RNN), la Memoria a Corto Plazo Largo (LSTM) para datos de series temporales y los modelos transformadores para la comprensión del lenguaje son valiosos en la investigación sobre el autismo. Estos sistema reducen los sesgos y errores humanos, analizando rigurosamente datos como la neuroimagen y el vídeo, lo que mejora la fiabilidad del diagnóstico. También permiten el aprendizaje y la adaptación continuos, facilitando estrategias de tratamiento personalizadas.

De forma similar, Sohl et al. (2022) presentan un estudio observacional prospectivo que evalúa la integración de un dispositivo diagnóstico basado en IA en el Modelo de Atención Primaria del Autismo ECHO para ayudar a los clínicos a diagnosticar niños y niñas de 18 a 72 meses. El estudio de Sohl et al (2022) implicó 100 pacientes y 15 profesionales en diversos entornos de EE. UU., centrándose en la viabilidad en el mundo real, la precisión del dispositivo y la satisfacción del usuario.

La recopilación de datos incluyó cuestionarios para cuidadores, análisis de registro audiovisual, evaluaciones de profesionales y resultados de dispositivos, con el objetivo de reducir el tiempo de diagnóstico e inicio del tratamiento, considerando las disigualdades en el acceso y los posibles sesgos. Welch et al. (2022) exploran la aplicación de dispositivos portátiles werables, combinados con inteligencia artificial, en la psiquiatría infantil y adolescente, centrándose en trastornos del neurodesarrollo y psiquiátricos vinculados al autismo pero también al déficit de atención/hiperactividad (TDAH) y discapacidades intelectuales. Estos estudios utilizan principalmente sensores fisiológicos como ECG, EEG, acelerómetros y monitores de conductancia cutánea para recopilar pasivamente datos sobre funciones autónomas y motoras, permitiendo un diagnóstico temprano, predicción conductual y seguimiento del tratamiento. A pesar de los hallazgos prometedores, incluyendo la capacidad de diferenciar a los individuos en riesgo y monitorizar los efectos terapéuticos, la investigación está limitada por tamaños de muestra pequeños, heterogeneidad metodológica y la falta de ensayos aleatorizados a gran escala.

4.2.2. Gestión emocional para fomentar la comunicación y expresión en contextos de educación y actividades deportivas

Por otra parte, Nuske et al. (2022) denotaron intervenciones y evaluaciones fisiológicas relacionadas con el TEA, enfatizando el uso de monitores cardiovasculares portátiles para medir el estrés y la excitación. En su investigación, destacaron estudios sobre la variabilidad de la frecuencia cardíaca, la regulación emocional y la aplicación de tecnologías móviles y portátiles para apoyar a personas autistas. Un estudio específico evaluó la viabilidad y comodidad de dos monitores inalámbricos de frecuencia cardíaca, Polar y My Fuse, en niños con autismo, encontrando que ambos dispositivos son eficaces para rastrear respuestas al estrés, siendo My Fuse generalmente más cómodo para ese grupo etario. Se probaron monitores cardiovasculares portátiles, específicamente el Polar y el My Fuse, en niños con autismo y en niños en desarrollo típico durante el reposo y tareas leves que inducen estrés. Ambos monitores superaron los umbrales de calidad de robustez de los datos. En la condición de estrés relativo al reposo, la frecuencia cardíaca aumentó y la variabilidad disminuyó significativamente en ambos monitores en niños con autismo, lo que indica su eficacia para seguir el estrés fisiológico o las respuestas de activación. Aunque se encontró que el monitor polar resultaba menos cómodo para niños con autismo en comparación con los niños con desarrollo típico, las puntuaciones generales de confort indicaron que todos los niños encontraron cómodos a los monitores en promedio. Esto sugiere que ciertos monitores cardiovasculares portátiles de consumo pueden usarse con niños con autismo para rastrear eficazmente las respuestas al estrés en entornos comunitarios.

En esta misma categoría, Ab Malik et al. (2023) presentan un modelo de tecnología portátil híbrida diseñado específicamente para ayudar a niños y niñas autistas a gestionar conductas desafiantes como las rabietas y la agresividad. El modelo se centra en dispositivos de muñeca personalizados según las preferencias de usuarios e incorporan elementos de diseño persuasivos, calmantes y empáticos. Al revisar investigaciones previas, los autores identificaron componentes esenciales y principios de diseño para ayudar a los desarrolladores a crear herramientas de intervención efectivas destinadas a reducir dificultades conductuales y mejorar la vida diaria de los niños con autismo. Los principios clave de diseño recomendados para dispositivos portátiles destinados a ayudar a los niños con autismo a gestionar los desafíos conductuales incluyen la integración de principios de diseño tecnológico persuasivo, calmado y empático con el diseño básico de la tecnología portátil.

De forma más particular, Arbili et al. (2025) han denotado que los sensores portátiles se pueden integrar en los Planes Educativos Individualizados (IEP) para mejorar la regulación emocional de los niños con TEA durante las actividades deportivas pueden lograr diversos aportes como: proporcionar monitorización en tiempo real de los indicadores de estrés fisiológico (por ejemplo, variabilidad de la frecuencia cardíaca) para detectar ansiedad o malestar, permitiendo intervenciones oportunas para prevenir crisis o riesgos para la seguridad; generar recomendaciones personalizadas de actividades basadas en datos sensoriales alineados con los objetivos del IEP y el perfil sensorial del niño, como aumentar la participación en actividades estructuradas en equipo si el niño se mantiene tranquilo, o sugerir deportes de baja sensibilidad si se detecta mucho estrés durante juegos ruidosos; establecer objetivos realistas y medibles de IEP relacionados con la actividad física y la regulación emocional, por ejemplo, mantener la variabilidad de la frecuencia cardíaca dentro de un rango saludable durante los deportes de equipo; presentar monitorización continua del progreso hacia los objetivos del IEP mediante datos de sensores longitudinales, permitiendo la adaptación de las intervenciones a las necesidades cambiantes del niño; y, finalmente garantizar la colaboración entre los equipos del IEP y los expertos tecnológicos para interpretar eficazmente los datos de los sensores e integrarlos en el IEP.

A ello, se suman los estudios de Sun et al. (2023), que investigaron los efectos de un programa de entrenamiento de mini-baloncesto de 12 semanas en niños autistas, centrándose en mejoras en los trastornos de la comunicación social y los síntomas principales. Utilizando técnicas de aprendizaje automático supervisado, especialmente algoritmos de bosque aleatorio, los investigadores analizaron datos clínicos, conductuales, de aptitud física y estructurales cerebrales previos a la intervención para predecir las respuestas individuales a la intervención. Los modelos demostraron una precisión predictiva moderada, identificando predictores clave como comportamientos repetitivos de referencia, fuerza muscular, agilidad y volumen de sustancia gris en regiones cerebrales específicas. Los hallazgos destacan el potencial del aprendizaje automático para personalizar intervenciones basadas en ejercicio en niños con TEA, aunque limitaciones como el tamaño reducido de la muestra y el enfoque en una sola intervención sugieren la necesidad de más investigación. Los modelos de aprendizaje automático, específicamente los modelos de bosque aleatorio (RF), pudieron predecir el resultado de la alteración de la comunicación social con una varianza explicada media del 30,58% y clasificar los grupos de resultados con síntomas principales con una precisión media del 66,12% tras el programa de entrenamiento de mini-baloncesto (MBTP) en niños con TEA.

En cuanto a intervenciones como Superpower Glass y el Juego de Adivinar Emociones, diseñadas para mejorar las habilidades sociales y el reconocimiento emocional en niños con trastorno del espectro autista (TEA), Voss et al. (2019) denotaron que estas herramientas puedan potenciar terapias conductuales estándar, como la ABA, para mejorar significativamente los resultados de socialización medidos según Escalas Adaptativas de Comportamiento de Vineland (VABS-II). Estos hallazgos respaldan el potencial de las mejoras digitales y caseras de las terapias tradicionales en el TEA para mejorar las habilidades de comunicación social. El uso de dispositivos de IA portátiles, específicamente la intervención Superpower Glass, mostró una mejora significativa en las puntuaciones de socialización en niños con TEA en comparación con la terapia conductual por sí sola. Los niños atendidos en casa con la intervención portátil mostraron una mejora media de 4,58 puntos en la subescala de socialización de la Escala de Conductas Adaptativas de Vineland, comparable a las mejoras observadas con la terapia estándar de atención. Esto indica que la intervención digital portátil puede mejorar el comportamiento social más allá de la terapia conductual por sí sola.

En sintonía con ello, Kotsi et al. (2025) destacaron la promesa en las intervenciones basadas en IA en el apoyo a estudiantes autistas, principalmente a través de herramientas digitales como robots sociales, lentes inteligentes, realidad aumentada y aplicaciones móviles. Estas intervenciones se centran principalmente en mejorar las habilidades sociales, el desarrollo emocional y las funciones cognitivas mediante métodos de enseñanza interactivos, basados en juegos y sistemáticos.

Figura 2. Ejemplo de uso de lentes inteligentes



Nota. La Figura 2 retrata un estudiante autista frente a una profesora en un entorno de sala de clases. El niño usa tecnología wearable, en forma de lentes inteligentes, y sonríe al ver una imagen, proyectada de los lentes, que le informa sobre el contexto emocional de la situación. Esta imagen fue creada con la herramienta de generación de imágenes de IA de Gemini, Google.

La Figura 2 demuestra un ejemplo del apoyo creado por la inteligencia artificial en tecnología wearable, en el uso de lentes inteligentes en la sala de clases. En este contexto, los lentes le permiten al estudiante recibir información de su entorno al interpretar la emoción reflejada en el rostro de su profesora y así poder reaccionar apropiadamente.

Aunque los estudios informan de resultados positivos como una mejora en el reconocimiento emocional, la interacción social y la participación, persisten desafíos como tamaños reducidos de muestra, concentración geográfica, preocupaciones éticas y la falta de datos a largo plazo y metodologías estandarizadas. Se necesita más investigación para optimizar las aplicaciones de IA, abordar cuestiones éticas y ampliar la educación inclusiva para TEA y otras discapacidades. Las herramientas apoyadas por IA impactan positivamente en el desarrollo de habilidades sociales y emocionales en estudiantes con TEA, mejorando sus habilidades de interacción social y comunicación, ayudándoles a comprender los estados emocionales y mentales de los demás, y facilitando la comunicación, especialmente en estudiantes no verbales o con limitaciones del habla. Estas herramientas incluyen robots sociales y plataformas digitales que simulan escenarios sociales y proporcionan práctica interactiva, algo invaluable para los estudiantes con TEA. Además, las aplicaciones de IA monitorizan y analizan aspectos conductuales, emocionales y sociales, ofreciendo información que orienta a intervenciones más efectivas.

A estos logros, Li et al. (2024) suman posibles beneficios de la IA, como el aprendizaje personalizado, mayor interacción y participación, retroalimentación en tiempo real y un mayor apoyo al profeso-

rado, abarcando simultáneamente desafíos importantes como preocupaciones éticas, privacidad de datos, sesgos, sensibilidad cultural y lingüística, y cuestiones de accesibilidad.

De forma similar, Cervantes et al. (2024) analizan la aplicación de la inteligencia artificial y tecnologías digitales, como tutores virtuales, chatbots, realidad virtual y robótica, para apoyar a niños y niñas autistas. Destacan el potencial de estas herramientas impulsadas por IA para mejorar habilidades cognitivas y sociales, fomentar la motivación y promover una educación inclusiva a través de entornos de aprendizaje personalizados y adaptativos. La investigación también aborda consideraciones éticas, preocupaciones sobre la privacidad y la necesidad de un desarrollo adicional para optimizar la eficacia de estas tecnologías. Los hallazgos provienen de trabajos académicos afiliados a instituciones internacionales y forman parte de próximas publicaciones y conferencias académicas.

En cuanto al diseño de los wearables Keshav et al. (2017) evaluaron la tolerabilidad y la experiencia de usuario del Sistema Brain Power Autism System (BPAS), gafas inteligentes de realidad aumentada diseñadas para apoyar la comunicación social en personas con TEA. La investigación, que involucró a 21 participantes, encontró que el 91% toleraba el uso del dispositivo en diversas medidas. Aunque los niños no verbales y más pequeños con puntuaciones más altas de discapacidad social mostraron menos tolerancia inicial, la mayoría de los usuarios verbales encontraron el dispositivo cómodo, y los cuidadores informaron de respuestas positivas, lo que sugiere el potencial de las gafas inteligentes de RA como herramientas escalables para intervenciones sociales.

4.2.3. Percepción del entorno para mejorar la independencia y autonomía

Arbili et al. (2025) exploraron el uso de tecnologías de sensores portátiles para mejorar la seguridad, el seguimiento de la salud e intervenciones personalizadas para niños y niñas autistas, especialmente en entornos deportivos y de actividad física que les pueden ayudar con su independencia y su autonomía. Estos sensores rastrean señales fisiológicas, comportamientos y factores ambientales para detectar malestar, ansiedad, riesgo de lesiones y conductas desafiantes, integrando a menudo aprendizaje automático para alertas y predicciones en tiempo real. Aunque el estudio es prometedor, persisten desafíos en torno a la precisión de los sensores, la comodidad del dispositivo, la privacidad de los datos, el coste y consideraciones éticas como el consentimiento informado y el acceso equitativo. La investigación exige estudios más amplios y a largo plazo, algoritmos específicos para cada deporte, colaboración interdisciplinar y directrices estandarizadas para optimizar la eficacia y accesibilidad de estas tecnologías, con potencial de expansión hacia contextos recreativos y terapéuticos.

En la misma categoría, Chen et al. (2021) describen un sistema avanzado impulsado por IA diseñado para apoyar a niños y niñas autistas mediante robótica vestible, recopilación de datos multimodales y análisis en la nube. El sistema integra datos de voz, EEG, vídeo, fisiológicos y ambientales para evaluar estados emocionales, la gravedad del autismo y las habilidades de aprendizaje utilizando técnicas de aprendizaje profundo y aprendizaje por refuerzo. Ello facilita interacciones personalizadas y en tiempo real mediante robots portátiles que operan tanto desde la perspectiva en primera como en tercera persona, con el objetivo de mejorar la precisión del diagnóstico del autismo, el compromiso emocional, las habilidades sociales y los resultados de aprendizaje, abordando retos como la eficacia

de los datos, el diseño de robots y la fiabilidad de la red. Este sistema utiliza aprendizaje por refuerzo para mejorar el cuidado y la interacción personalizados de los niños con TEA mediante el mecanismo portátil de mejora de la percepción y expresión del entorno asistido por robots.

Por otra parte, Khan et al. (2024) estudiaron el sistema REACT como un sistema predictivo multimodal en tiempo real desarrollado para detectar y anticipar conductas de agitación en niños con discapacidades del desarrollo, especialmente TEA y TI. Este sistema integra sensores fisiológicos (frecuencia cardíaca, GSR), datos conductuales (movimiento corporal, vocalizaciones) y entradas auditivas para identificar signos tempranos de agitación. El sistema utiliza modelos de aprendizaje automático, específicamente un clasificador AdaBoost, entrenado con datos de sensores portátiles y anotaciones de comportamiento en tiempo real, para predecir episodios de agitación con hasta 20 segundos de antelación, con una puntuación F1 de alrededor del 78%. Este enfoque pretende permitir intervenciones oportunas, mejorar la eficacia de las intervenciones, reducir riesgos y empoderar a individuos y cuidadores mediante la provisión de alertas en tiempo real. El estudio enfatiza consideraciones éticas, modelado individualizado y la escalabilidad futura para entornos comunitarios más amplios.

En otro sentido, Koumpouros y Toulias (2020) establecen aspectos claves de la seguridad, en el diseño, desarrollo y evaluación de una aplicación móvil portátil adaptada para apoyar a niños con TEA y a sus cuidadores. El sistema integra múltiples funcionalidades como monitorización de ubicación, ayudas a la comunicación, seguimiento de parámetros fisiológicos y programación de actividades, todo ello construido sobre una plataforma Android asequible y optimizado para relojes inteligentes para mejorar la facilidad de uso. La aplicación wearable responde a las necesidades de comunicación de los niños con TEA proporcionando funciones como grandes botones de colores e imágenes en botones que facilitan su uso, permitiendo a los niños iniciar llamadas inmediatas pulsando un botón con una foto de su progenitor, lo que simplifica la comunicación, especialmente en quienes tienen dispraxia. Esta aplicación promete un alta función de seguridad al monitorear la ubicación del usuario e incluir funciones como zonas seguras donde los niños pueden moverse dentro de áreas designadas, y se notifica a los cuidadores si el niño se mueve fuera de estas zonas. Además, la aplicación mide parámetros fisiológicos como la frecuencia cardíaca y puede configurar alertas automáticas para reconocer situaciones estresantes que pueden derivar en conductas problemáticas, mejorando así la seguridad y permitiendo que los cuidadores tengan el control incluso a distancia.

4.3. La importancia del diseño participativo y centrado en el usuario

La participación del usuario y sus cuidadores es clave en el diseño de los productos para la comunidad autista, no solo por la necesidad de considerar trastornos sensoriales y elementos de comodidad usable, sino por las necesidades particulares de contexto y función. En esta categoría, Ntalindwa et al. (2021) describen el desarrollo, la prueba y la implementación de una aplicación móvil culturalmente sensible y accesible, diseñada para apoyar a los niños autistas en Ruanda, centrada en mejorar la numeración y las habilidades sociales. El proceso de desarrollo fue centrado en el usuario e inclusivo, involucrando a profesores, padres y niños mediante el diseño participativo y pruebas iterativas. Las características clave incluyen la personalización según las necesidades sensoriales y cognitivas individuales, el uso de elementos culturales locales, la gamificación y el refuerzo positivo.

Se destacan desafíos como el acceso limitado a dispositivos, la experiencia en TIC y la necesidad de actualizaciones continuas y la participación familiar, junto con recomendaciones para el desarrollo colaborativo y la integración en los planes de estudio educativos. Los métodos de diseño participativo para garantizar que la aplicación satisfaga las necesidades educativas de los niños con TEA se basaron en un desarrollo mediante un enfoque contextual y prospectivo, involucrando activamente a trabajadores y profesionales de la educación de niños con TEA. Se realizaron grupos focales de discusión con 40 niños, 5 profesores y 10 padres, complementados con entrevistas grupales, observación directa, revisión de literatura y debates abiertos en línea, con el fin de recopilar requisitos y perspectivas de los usuarios. Asimismo, se observaron las dinámicas de los niños dentro y fuera del aula, integrando a docentes y especialistas en educación diferencial para analizar comportamientos y orientar el diseño de la interacción con el software. La investigación incluyó la publicación de consultas en la plataforma Quora para recoger experiencias de expertos, y se adoptó una metodología ágil que permitió el desarrollo iterativo de la aplicación con la participación de clientes, desarrolladores, actores clave y usuarios finales. Finalmente, se llevaron a cabo evaluaciones heurísticas mediante grupos focales y observación, asegurando la mejora continua de las funcionalidades y la pertinencia pedagógica del producto.

Figura 3. Proceso de diseño participativo, centrado en el usuario, para la creación de tecnología wearable



Nota. La Figura 3 presenta el proceso de creación de tecnología wearable en el cual diseñadores colaboran con niños y niñas autistas para encontrar el mejor diseño para las necesidades de sus usuarios. Esta imagen es de elaboración propia de los autores a través de la herramienta de generador de imagen de IA Gemini, de Google.

Por otra parte, Koumpouros (2021) detalló el desarrollo y evaluación de un dispositivo portátil integral diseñado específicamente para niños con autismo, incorporando funciones como el seguimiento de la ubicación, la programación, la comunicación y el monitoreo fisiológico. En este ensayo, cabe destacar que 20 niños y 25 padres participaron en la prueba del dispositivo, y este fue creado mediante un enfoque multidisciplinar centrado en el usuario. Empleando este enfoque, la aplicación incorpora la retroalimentación de niños con TEA, sus familias y expertos, lo que da lugar a funciones como botones grandes y señales visuales para adaptarse a los desafíos relacionados con el TEA. El producto final demostró alta satisfacción, mayor seguridad y mayor independencia, destacando áreas para futuras mejoras como la precisión de sensores, geo-vallado y compatibilidad con iOS (Koumpouros & Toulias, 2020).

La evaluación del diseño centrado en el usuario evidenció resultados altamente positivos. La aplicación demostró una notable adaptabilidad en la vida cotidiana, promoviendo un mayor sentido de autonomía tanto en niños autísticas como en sus padres y cuidadores. La facilidad de uso fue ampliamente valorada por los adultos responsables, mientras que la mayoría de los niños la calificó como excelente o muy buena; no obstante, un 15% la evaluó de manera moderada, reflejando la heterogeneidad propia del espectro y dificultades específicas como la dispraxia.

Elementos de diseño como botones grandes y coloridos, imágenes integradas y la reducción de clics para, por ejemplo, iniciar una llamada mediante un botón fotográfico, incrementaron significativamente la usabilidad, especialmente en casos de dispraxia. Asimismo, se constató que la solución era funcional y valiosa, al favorecer la implicación de los usuarios y otorgar a los cuidadores una sensación de control y seguridad incluso a distancia. Finalmente, el carácter iterativo, multidisciplinar e inclusivo del proceso de diseño, que involucró a niños, familias y expertos, resultó fundamental para garantizar la aceptabilidad y pertinencia de la aplicación.

En otro sentido, no menor, Li et al. (2024) hacen hincapié en la importancia de involucrar a las familias, comunidades, educadores y responsables políticos en el proceso de diseño e implementación, a través del diseño participativo, para garantizar intervenciones de IA culturalmente relevantes, equitativas y efectivas. Sus estudios hacen un llamado a que futuras investigaciones se centren en los impactos a largo plazo como la inclusión, los marcos éticos y las evaluaciones económicas para promover un uso responsable y sostenible de la IA en la educación. Se destaca que las intervenciones impulsadas por IA pueden diseñarse para abordar la diversidad cultural y lingüística entre los niños con autismo mediante lenguaje y contenido que sea culturalmente sensibles y relevantes para la población objetivo.

Para ello, el proceso de diseño y desarrollo se fundamentó en la incorporación de perspectivas y experiencias diversas, asegurando intervenciones adaptadas a múltiples orígenes lingüísticos mediante la provisión de contenidos en distintos idiomas. Se integraron prácticas docentes culturalmente sensibles junto con herramientas de inteligencia artificial, con el objetivo de potenciar la implicación y los resultados de aprendizaje. Del mismo modo, se implementaron auditorías periódicas orientadas a reconocer y mitigar sesgos y formas de discriminación, mientras que la participación activa de familias y comunidades fortaleció la pertinencia social del proyecto. También se consideró la formación y capacitación a educadores en sensibilidad cultural y estrategias de mitigación de sesgos, consolidando un enfoque inclusivo para garantizar la accesibilidad y la equidad en el uso de la aplicación para una población diversa de niños con autismo.

4.4. Desafíos en la implementación

A modo general, la implementación de tecnología wearable presenta diversas posibilidades positivas para usuarios autistas. Por ello, Giansanti, D., y Pirrera, A. (2025) analizan la rápida integración de la IA en tecnologías asistenciales en la salud y sectores relacionados, destacando aplicaciones en evaluación de la salud cognitiva, cuidado robótico, investigación, educación médica y herramientas de accesibilidad para personas con discapacidad visual y discapacidad. Sin embargo, dentro de los

avances recientes y beneficios como una mayor independencia y apoyo personalizado, es importante reconocer desafíos como preocupaciones éticas, privacidad, escalabilidad y barreras de alfabetización digital y la necesidad de abordar las limitaciones para una adopción equitativa y generalizada, con un aumento significativo en la investigación sobre tecnologías asistenciales relacionadas con la IA en los últimos años.

A grandes rasgos, la adopción generalizada de la inteligencia artificial (IA) en tecnologías asistenciales sanitarias enfrenta múltiples desafíos que trascienden lo técnico y alcanzan dimensiones sociales, económicas y éticas. En el plano del desarrollo, persisten limitaciones en la personalización y en la usabilidad de las interfaces, así como en la madurez de los dispositivos inteligentes de asistencia, muchos aún en fase de prototipo y con escasa colaboración interdisciplinaria entre ingenieros y profesionales de la salud. A ello se suma la insuficiencia de datos de alta calidad y la variabilidad entre sujetos, que dificultan el rendimiento de sistemas como las interfaces cerebro-ordenador, además de la necesidad de una elevada capacidad computacional para garantizar fiabilidad clínica.

A ello, se suman las barreras económicas y de accesibilidad también son significativas: los altos costos, la falta de infraestructura y las disparidades socioeconómicas limitan la escalabilidad y restringen el acceso en entornos vulnerables. En paralelo, emergen preocupaciones éticas y regulatorias vinculadas a la privacidad, el sesgo algorítmico y la integración de la IA en los flujos clínicos sin sobrecargar a los profesionales. La confianza en estas tecnologías exige transparencia y aplicabilidad, reconociendo que la IA debe complementar, y no sustituir, el juicio humano en decisiones críticas. Finalmente, la validez intercultural y la adaptación a contextos diversos siguen siendo retos pendientes, especialmente en regiones con menor investigación y adopción, lo que subraya la necesidad de enfoques inclusivos y culturalmente sensibles para garantizar equidad y accesibilidad en la atención sanitaria.

De forma similar, Ab Malik et al. (2023) identifican que las principales preocupaciones éticas y de privacidad asociadas al uso de datos de sensores portátiles para monitorizar a niños con TEA en entornos reales incluyen la necesidad de garantizar una privacidad y seguridad de los datos robustas para proteger datos fisiológicos y conductuales sensibles, incluyendo el manejo, almacenamiento y transmisión seguros de datos en cumplimiento de las directrices y normativas éticas; obtener el consentimiento informado de los padres antes de la recogida de datos y explicar claramente el propósito, beneficios, riesgos y procedimientos de gestión de datos; abordar la equidad y el acceso para garantizar que todos los niños con TEA puedan beneficiarse de la tecnología independientemente del estatus socioeconómico o la ubicación geográfica; y, finalmente, prevenir la posible estigmatización o la dependencia excesiva de la tecnología.

A ello se suman aprensiones destacadas por Kotsi et al (2025) ya que la investigación en IA para estudiantes autistas aún está en sus primeras etapas, con brechas geográficas (especialmente en Europa), barreras económicas y sociales que limitan el acceso a la tecnología de IA, y un sesgo demográfico con la mayoría de los participantes siendo chicos. También es necesario una exploración científica más amplia y una colaboración más allá de los expertos para diseñar prácticas basadas en la evidencia. Se necesita más investigación para profundizar en la comprensión de las experiencias de aprendizaje, incluir muestras más amplias de participantes, explorar la retención y generalización a largo plazo de las habilidades, y ampliar el alcance a otras discapacidades.

Li et al. (2024) suma a ello, denotando que los principales retos éticos y de privacidad que enfrentan los educadores al implementar herramientas de IA en la educación sobre el autismo incluyen el riesgo de sesgo y discriminación si los sistemas de IA se entrenan con datos no representativos, lo que podría perpetuar estereotipos dañinos o comportamientos inapropiados. Preocupaciones sobre la privacidad y seguridad de los datos, especialmente el riesgo de que la información personal sensible recopilada y almacenada por los sistemas de IA pueda ser mal utilizada o accedida por partes no autorizadas y la necesidad de transparencia y responsabilidad en el uso de la IA para proteger los datos personales y garantizar una aplicación ética.

Welch et al. (2022) también denotan que las limitaciones actuales en la aplicación de tecnología vestible impulsada por IA para el seguimiento de condiciones psiquiátricas pediátricas se enfocan principalmente las evidentes lagunas que necesitan una exploración más profunda, especialmente más allá de los propósitos diagnósticos para TEA y TDAH y otras categorías como el estado de ánimo, la ansiedad y la psicosis; la falta de exhaustividad en el tema para realizar un protocolo prospectivo dado a las lagunas antes mencionados y consecuente falta de ensayos controlados aleatorizados, siendo la mayoría de los estudios piloto y ensayos de viabilidad. Por último y no, menor Welch et al. (2022) levantan una alerta en torno a la limitada colaboración sostenida entre ingenieros, científicos de datos y proveedores de salud mental que ha ralentizado la adopción en la práctica psiquiátrica en comparación con otras especialidades médicas.

5. Discusión y Conclusión

A partir de los hallazgos recopilados en esta revisión narrativa estructurada, es posible indagar en las oportunidades, desafíos y consideraciones clave para la implementación cotidiana de tecnologías emergentes basadas en inteligencia artificial y dispositivos wearables en el acompañamiento de niñas y niños con autistas. Esta sección analiza las implicancias de los avances tecnológicos estudiados, destacando su potencial para personalizar intervenciones, y se presentan recomendaciones orientadas a una implemantación ética, efectiva y contextualizada de estas herramientas, reconociendo tanto sus beneficios como las limitaciones técnicas, sensoriales y sociales que deben ser abordadas para garantizar su uso responsable en entornos reales.

Según Arbili et al. (2025), los algoritmos de aprendizaje automático y las técnicas de análisis de datos pueden utilizarse para personalizar sistemas de sensores y intervenciones portátiles basándose en las necesidades y características únicas de cada niño con TEA. Esto implica desarrollar y validar algoritmos específicos de cada deporte para detectar riesgos de seguridad y predecir conductas desafiantes a partir de datos de sensores recogidos durante diversas actividades físicas, adaptados a diferentes deportes y a las necesidades específicas de los niños con TEA. Además, integrar sensores portátiles con otras tecnologías como la realidad virtual, la realidad aumentada y los grandes modelos de lenguaje (LLM) puede crear entrenamientos deportivos y intervenciones de seguridad más inmersivas, interactivas y personalizadas. Ampliar el uso de estos sensores más allá de los deportes tradicionales hacia actividades recreativas, educativas y terapéuticas puede mejorar aún más la seguridad y la implicación, proporcionando un enfoque holístico para promover el bienestar físico y emocional en niños con TEA.

En sintonía con ello, los estudios de Chen et al. (2021) establecen que un avanzado sistema robótico portátil impulsado por IA, diseñado para apoyar a niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA), puede mejorar su aprendizaje, interacción social y comprensión emocional. El sistema integra la recogida de datos multimodal de sensores, cámaras y dispositivos fisiológicos, combinada con modelos de aprendizaje profundo y aprendizaje por refuerzo para evaluar y mejorar el comportamiento y los estados emocionales del niño. Cuenta con una arquitectura robótica en primera persona que percibe el entorno desde la perspectiva del niño, permitiendo interacciones personalizadas y adaptativas. La plataforma incluye computación en la nube para procesamiento de datos y actualización de modelos, evaluación en tiempo real del riesgo de autismo e interacción emocional, con el objetivo de proporcionar apoyo terapéutico personalizado y mejorar los resultados sociales y conductuales para niños con TEA.

La implementación segura de tecnologías portátiles impulsadas por inteligencia artificial (IA) para niños y niñas autistas debe guiarse por recomendaciones que aborden aspectos de detección temprana y diagnóstico, intervenciones personalizadas y consideraciones éticas y de usabilidad. Estas áreas son fundamentales para maximizar la efectividad de las tecnologías mientras se minimizan los riesgos asociados.

En cuanto a la detección temprana y el diagnóstico inicial de TEA, la IA puede mejorar la precisión y eficiencia en la detección del TEA mediante el análisis de datos fisiológicos y conductuales, lo que permite diagnósticos más rápidos y precisos (Liao et al., 2022; Kotsi et al., 2025). Para ello, métodos como el aprendizaje automático y el procesamiento de lenguaje natural están siendo utilizados para identificar indicadores tempranos de TEA, lo que es crucial para intervenciones oportunas (Sun et al., 2023; Pandya et al., 2024). En este contexto, la integración de tecnologías como EEG y análisis de patrones de comportamiento ha demostrado ser efectiva en la identificación de niños con TEA (Li et al., 2024; Kotsi et al., 2025).

Por otra parte, para enfocar la implementación de tecnologías de IA hacia intervenciones personalizadas, se debe considerar que las tecnologías portátiles pueden ofrecer retroalimentación interactiva y monitoreo en tiempo real, lo que permite adaptar las intervenciones a las necesidades individuales de los niños con TEA (Pandya et al., 2024; Gao et al., 2024).

También, se están desarrollando sistemas de gestión sensorial que utilizan técnicas de fusión de sensores y aprendizaje automático para ayudar a los niños a manejar respuestas sensoriales atípicas en entornos educativos (Deng & Rattadilok, 2022; Gao et al., 2024), además de la personalización de las intervenciones a través de modelos de IA puede mejorar significativamente las habilidades sociales y comunicativas de los niños con TEA (Lan et al., 2025; Koumpouros, 2021).

Dado el desarrollo acelerado de las tecnologías, es esencial abordar las preocupaciones éticas relacionadas con la privacidad de los datos y la transparencia de los algoritmos en el uso de tecnologías de IA para el TEA (Sohn et al., 2025; Kohli et al., 2025). Para ello, la usabilidad de las tecnologías portátiles debe ser evaluada en entornos reales, asegurando que sean accesibles y efectivas para los niños y sus cuidadores (Koumpouros, 2021; Kohli et al., 2025) y se debe colaborar interdisciplinariamente en el desarrollo de herramientas que sean tanto efectivas como éticamente responsables en su implementación (Hofmane et al., 2025; Kohli et al., 2025).

5.1. Recomendaciones para la implementación

Desde la literatura, se pueden identificar recomendaciones para enfocar la implementación de tecnología wearable para niños y niñas autistas en las siguientes dimensiones de apoyo: monitoreo fisiológico y comportamental; interacción y aprendizaje social; personalización y adaptabilidad; privacidad y seguridad de los datos; y, entrenamiento y soporte técnico. Los wearables pueden monitorear señales fisiológicas como la variabilidad de la frecuencia cardíaca y la actividad electrodermal, así como patrones de movimiento para detectar signos tempranos de angustia, ansiedad o posibles lesiones (Arbili et al. 2025; Nuske et al., 2022). Esto es crucial para intervenir de manera oportuna y prevenir comportamientos disruptivos.

Los dispositivos como gafas inteligentes con realidad aumentada (AR) y sistemas de inteligencia afectiva pueden ayudar a los niños con TEA a mejorar sus habilidades sociales y emocionales, promoviendo el reconocimiento de expresiones faciales y la interacción social. Estos dispositivos han demostrado ser bien tolerados y efectivos en mejorar la socialización (Keshav et al., 2017; Voss et al., 2019).

Es esencial que los dispositivos sean adaptables a las necesidades individuales de cada niño. Los sistemas basados en IA deben ser capaces de proporcionar servicios de interacción altamente inmersivos y personalizados, ajustándose a los estados mentales y comportamientos externos de los niños (Chen et al., 2021; Cervantes López, 2025).

Por otra parte, la privacidad de los datos es una preocupación significativa. Es fundamental implementar políticas transparentes y procedimientos robustos para proteger la información personal y garantizar que los datos recopilados se utilicen de manera ética y segura (Li et al., 2024; Giansanti & Pirrera, 2025). En este sentido, los educadores y cuidadores deben recibir capacitación adecuada para utilizar estos dispositivos de manera efectiva y segura. Además, se debe proporcionar soporte técnico continuo para resolver problemas tecnológicos y maximizar el uso de los dispositivos (Li et al., 2024; Koumpouros & Toulias, 2020).

5.2. Límites y alcances

En torno a las limitaciones y alcances de la tecnología wearable, es importante considerar que debe respetar un diseño empático y cómodo, teniendo en cuenta las sensibilidades sensoriales de los niños y niñas autistas. Los dispositivos de muñeca, por ejemplo, deben ser cómodos y no intrusivos para asegurar su uso continuo (Nuske et al., 2022; Ab Malik et al., 2023); y, en conjunto con modelos de aprendizaje automático en tiempo real, puede ayudar a detectar signos tempranos de agitación y permitir intervenciones proactivas antes de que los comportamientos se escalen (Khan et al., 2024). Por último, es necesario destacar la necesidad de la evaluación y validación continua, ya que es imperativo realizar estudios adicionales para validar la efectividad de estos dispositivos en entornos reales. La investigación debe centrarse en ensayos controlados aleatorios para evaluar el impacto a largo plazo de los wearables en la mejora de las habilidades sociales y emocionales de los niños con TEA (Welch et al., 2022; Sohl et al., 2022).

6. Referencias

1. Ab Malik, M. I., Ahmad, S. Z., Nor, R. M., Jamil, N., Idris, S., & Wah, G. L. B. (2023, May). A Hybrid *Wearable* Technology Model for Autism Behaviour Intervention: Components and Elements Analysis. In 2023 IEEE 13th Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE) (pp. 293-298). IEEE.

2. Álvarez, A. T. R., Cortés, M. C. B., Barón, A. Á., Tinjacá, L. A. T., & Ávila, H. A. G. (2020). Tecnología vestible una ventaja competitiva en el entrenamiento deportivo. Ingenio Magno, 11(1), 98-111.

3. Arbili, O., Rokach, L., & Cohen, S. (2025). *Wearable* Sensors for Ensuring Sports Safety in Children with Autism Spectrum Disorder: A Comprehensive Review. Sensors, 25(5), 1409.

4. Cervantes López, M. J., Cruz Casados, J., & Gil Herrera, R. D. J. (2024, July). Empowering Cognitive Skills of Children with ASD Throughout an Intelligent Virtual-Tutor: State of the Art. In International Conference on Artificial Intelligence in Education Technology (pp. 137-153). Singapore: Springer Nature Singapore.

5. Chen, M., Xiao, W., Hu, L., Ma, Y., Zhang, Y., & Tao, G. (2021). Cognitive wearable robotics for autism perception enhancement. ACM Transactions on Internet Technology (TOIT), 21(4), 1-16.

6. Gao, X., Yin, L., Tian, S., Huang, Y., & Ji, Q. (2024). *Wearable* technology for signal acquisition and interactive feedback in autism spectrum disorder intervention: A review. IEEE Sensors Journal, 24(9), 13797-13815.

7. Giansanti, D., & Pirrera, A. (2025, March). Integrating AI and assistive technologies in healthcare: Insights from a narrative review of reviews. In Healthcare (Vol. 13, No. 5, p. 556). MDPI.

8. Keshav, N. U., Salisbury, J. P., Vahabzadeh, A., & Sahin, N. T. (2017). Social communication coaching: Well tolerated in a diverse sample of children and adults with autism. JMIR mHealth and uHealth, 5(9), e8534.

9. Khan, N., Plunk, A., Zheng, Z., Adiani, D., Staubitz, J., Weitlauf, A., & Sarkar, N. (2024). Pilot study of a real-time early agitation capture technology (REACT) for children with intellectual and developmental disabilities. Digital health, 10, 20552076241287884.

10. Kohli, M., Kar, A. K., Sinha, S., & Kohli, S. (2025). Stakeholder perception towards a machine-learning-based digital platform for detection and management of autism spectrum disorder. Expert Systems, 42(1), e13545.

11. Koo, S. H., Kim, G., Rivera, S., Pan, T., & Fong, D. (2018). Wearable Technology Design for Autism Spectrum Disorders. Archives of Design Research, 31(1), 37-55.

12. Kotsi, S., Handrinou, S., Iatraki, G., & Soulis, S. G. (2025). A review of artificial intelligence interventions for students with autism spectrum disorder. Disabilities, 5(1), 7.

13. Koumpouros, Y. (2021). An "all-in-one" wearable application for assisting children with Autism Spectrum Disorder. Technology and Disability, 33(1), 65-75.

14. Koumpouros, Y., & Toulias, T. (2020, June). User centered design and assessment of a *wearable* application for children with autistic spectrum disorder supporting daily activities. In Proceedings of the 13th ACM International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments (pp. 1-9).

15. Lan, L., Li, K., & Li, D. (2025). Exploring the application of AI in the education of children with autism: a public health perspective. Frontiers in Psychiatry, 15, 1521926.

16. Li, G., Zarei, M. A., Alibakhshi, G., & Labbafi, A. (2024). Teachers and educators' experiences and perceptions of artificial-powered interventions for autism groups. BMC psychology, 12(1), 199.

17. Liao, M., Duan, H., & Wang, G. (2022). Application of machine learning techniques to detect the children with autism spectrum disorder. Journal of Healthcare Engineering, 2022(1), 9340027.

18. Nuske, H. J., Goodwin, M. S., Kushleyeva, Y., Forsyth, D., Pennington, J. W., Masino, A. J., ... & Herrington, J. D. (2022). Evaluating commercially available wireless cardiovascular monitors for measuring and transmitting real-time physiological responses in children with autism. Autism Research, 15(1), 117-130.

19. Ntalindwa T, Nduwingoma M, Karangwa E, Rashid Soron T, Uworwabayeho A, Uwineza A Development of a Mobile App to Improve Numeracy Skills of Children With Autism Spectrum Disorder: Participatory Design and Usability Study JMIR Pediatr Parent 2021;4(3):e21471 doi: 10.2196/21471

20. Pandya, S., Jain, S., & Verma, J. (2024). A comprehensive analysis towards exploring the promises of AI-related approaches in autism research. Computers in biology and medicine, 168, 107801.

21. Sohl, K., Kilian, R., Curran, A. B., Mahurin, M., Nanclares-Nogués, V., Liu-Mayo, S., ... & Taraman, S. (2022). Feasibility and impact of integrating an artificial intelligence–based diagnosis aid for autism into the extension for community health outcomes autism primary care model: Protocol for a prospective observational study. JMIR Research Protocols, 11(7), e37576.

22. Sohn, J. S., Lee, E., Kim, J. J., Oh, H. K., & Kim, E. (2025). Implementation of generative AI for the assessment and treatment of autism spectrum disorders: a scoping review. Frontiers in Psychiatry, 16, 1628216.

23. Sun, Z., Yuan, Y., Dong, X., Liu, Z., Cai, K., Cheng, W., ... & Chen, A. (2023). Supervised machine learning: A new method to predict the outcomes following exercise intervention in children with autism spectrum disorder. International journal of clinical and health psychology, 23(4), 100409.

24. Voss, C., Schwartz, J., Daniels, J., Kline, A., Haber, N., Washington, P., ... & Wall, D. P. (2019). Effect of *wearable* digital intervention for improving socialization in children with autism spectrum disorder: a randomized clinical trial. JAMA pediatrics, 173(5), 446-454.

25. Welch, V., Wy, T. J., Ligezka, A., Hassett, L. C., Croarkin, P. E., Athreya, A. P., & Romanowicz, M. (2022). Use of mobile and *wearable* artificial intelligence in child and adolescent psychiatry: scoping review. Journal of medical Internet research, 24(3), e33560.

26. World Health Organization. (2025). Autism Spectrum Disorders. World Health Organization. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders

SALUD PERSONALIZADA EN LA FORMULACIÓN DE PRODUCTOS SIN GLUTEN UTILIZANDO TECNOLOGÍAS EMERGENTES ENFOCADAS EN LAS PROPIEDADES NUTRACÉUTICAS

PERSONALIZED HEALTH IN THE FORMULATION OF GLUTEN-FREE PRODUCTS USING EMERGING TECHNOLOGIES FOCUSED ON NUTRACEUTICALS PROPERTIES

Cavieres Rebolledo, E.[1], Arreguin Coronado A[2].

[1]*Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Facultad Tecnológica, Universidad de Santiago de Chile, Chile (elena.cavieres@usach.cl)*

[2]*Universidad Internacional Iberoamericana, Campeche, México (andrea.arreguin@unini.edu.mx)*

https://doi.org/10.17613/4cays-5es11

Resumen

En estos últimos años los productos sin gluten han ganado popularidad debido a la progresiva conciencia sobre la enfermedad celíaca como a otras condiciones relacionadas con el gluten en la salud humana; es por ello que la comunidad científica como las empresas de alimentos han puesto su enfoque en elaborar productos dirigidos a la salud personalizada que posean características tecnológicas, propiedades funcionales y sensoriales; sigue siendo un desafío constante para la industria alimentaria y la investigación científica del futuro. El objetivo de la investigación se enfocó en fortificar un producto panadero con beneficio a la salud proveniente de fuentes naturales, la metodología empleada se basó en la aplicación de normativas vigentes nacionales e internacionales. Los resultados permitieron verificar un aporte importante de la fortificación de hierro y fibra a las cuatro formulaciones seleccionadas para obtener productos panaderos sin gluten, siendo las más aceptables por el panel de 50 panelistas en orden decreciente las siguientes propuestas P1; P0; P3 y P2. La conclusión del estudio permite indicar que es factible fortificar productos panaderos para mejorar el bienestar de los enfermos celiacos.

Palabras claves: productos libres de gluten, fortificación, algas marinas, fibras dietarias

Abstract:

In recent years, gluten-free products have gained popularity due to the growing awareness of celiac disease and other gluten-related conditions in human health. Therefore, the scientific community and food companies have focused on developing personalized health products that possess technological characteristics, functional and sensory properties. This remains a constant challenge for the food industry and future scientific research. The objective of the research focused on fortifying a baked product with health benefits from natural sources. The methodology used was based on the application of current national and international regulations. The results verified a significant contribution of iron and fiber fortification to the four selected formulations to obtain gluten-free baked products. The most acceptable by the panel of 50 panelists, in decreasing order, were the following proposals: P1; P0; P3 and P2. The conclusion of the study indicates that it is feasible to fortify baked products to improve the well-being of celiac patients.

Keywords: gluten-free products, fortification, seaweed, dietary fibers

1. INTRODUCCIÓN

En Chile los enfermos celiacos (EC) alcanzan al 1,7 % de la población estimándose que al 2030 esto se incrementará aún más [1]; por otro lado, es importante señalar que no existen estudios de prevalencia en la población en general acerca de las enfermedades no transmisibles (ENT); y es por ello que se estima que el aumento de casos en el último tiempo sugiere un elevado número de pacientes no diagnosticados" [24].

Las indagaciones científicas han demostrado que los hábitos alimentarios deben ser erradicados mirando el futuro nutricional en función de potenciar la salud y el bienestar de las personas a través de una buena alimentación, es por ello que varios autores definen que "los estilos de vida o hábitos, son un conjunto de comportamientos que desarrollan las personas, algunas veces saludables y en otros nocivos para la salud, las cuales vienen generalmente acompañadas de enfermedades no transmisibles" [2,3,4,5,6,7,8,9,10, 11].

Estudios realizados por la OMS, 2020 estima que al año 2030 las muertes por enfermedades no transmisibles alcanzarán a 41 millones de personas aproximadamente cada año, lo que representa a un 71% de las muertes en el mundo; cuya incidencia y prevalencia continúan en aumento, mientras que el 5-6% sufre de intolerancia al gluten no celíaca junto con las hipertensión arterial y enfermedades cardiovasculares, ambas relacionadas con la propia obesidad y sobrepeso [2,10,12]. Dado este contexto los investigadores hacen hincapié que "estas poblaciones irán creciendo a futuro, por lo tanto, la industria de alimentos debe innovar aplicando nuevos procesos y tecnologías emergentes capaces de cubrir las necesidades alimentarias porque representarán un sector económico atractivo para satisfacer las necesidades de estos consumidores con ENT (enfermedades no transmisibles) generando nuevos negocios asociados a productos orgánicos para otros estilos de vida como son los veganos, vegetarianos y flexitarianos entre otros" [1,2,3].

Todos los antecedentes mencionados, hacen necesario reflexionar en que la industria de alimentos y los que hacen ciencia aplicada, la tecnología y la aplicación de nuevos procesos no afecten a las propiedades nutricionales de los ingredientes sean capaces de generar nuevos productos en beneficio de la población, fortaleciendo el bienestar en la salud enfrentándose a nuevos desafíos; es por ello que se hace necesario fortificar y suplementar nuevas formulaciones con aquellos compuestos bioactivos que aporten a las pérdidas de nutrientes que sufren la mayoría de las personas con enfermedades celiacas (CA) u otras; entre ellos es importante destacar que los B- glucanos (fibra soluble) y la fibra de bambú (Gelucel BF-200) juegan un rol relevante por sus beneficios para la salud formando hidrocoloides solubles que son capaces de sintetizar colágeno [2,4,5].

1.1. Demandas del mercado a nivel nacional.

Se visualiza que la creciente demanda existente hoy en día a nivel nacional como en el mundo, ha puesto su enfoque en disponer en el mercado una diversidad de alimentos sin gluten, lo cual se debe a que la prevalencia de enfermedades con trastornos alimenticios como es la celiaquía cuya sensibilidad al gluten es de preocupación por parte de los investigadores como de la industria de alimentos

desde el punto de vista social y económica, debido al incremento en la población con este tipo de enfermedades que en mucho de los casos no son identificados en la población.
Todo lo anteriormente señalado, se traducen en una serie de investigaciones centradas en esta problemática y desde ahí se parte como resolver dichas necesidades para la población; es por ello que estudiar y seleccionar diversos tipos de harinas provenientes de cereales y leguminosas de grano exentas de gluten, algas marinas, fortificadas con hierro (proveniente de levadura nutricional) y fibra de bambú (Gelucel BF-200) son el desafío de este estudio que podría contribuir con sus resultados obtenidos a una proyección alimenticia generando nuevos productos, permitiendo no solo aportar a la investigación científica sino que además pensando cómo se puede impactar positivamente a la industria de alimentos y en la vida de las personas que siguen dietas sin gluten, debido a la detección temprana de la enfermedad celiaca (EC), ofreciendo alternativas que contribuyan al desarrollo de productos alimentarios más saludables y de mejor calidad, contribuyendo así al bienestar y a la salud de este tipo de consumidores.

1.2. Fundamentos para innovar en formulaciones sin gluten para el mercado de la industria alimentaria.

Dada la importancia que tienen las investigaciones centradas en la innovación de productos alimentarios, donde la sustentabilidad y la economía circular son de gran importancia hoy, colocan el énfasis en cómo formular y desarrollar nuevas propuestas de mezclas con valor agregado para la industria de alimentos.

La revisión del estado del arte permite conocer el panorama global a nivel nacional e internacional acerca de esta situación y como se podría aportar y generar innovación en el área de productos panaderos u otros con una mirada futurista, debido a que en el mercado solo se disponen de mezclas que solo se basan en la selección de harinas que son suplementadas o complementadas entre sí para este tipo de consumidores, pero no existen aún empresas a nivel nacional dedicadas a la producción de productos fortificados que permitan suplir las deficiencias alimentarias de los enfermos celiacos, debido a que faltan muchas investigaciones en el área que permitan predecir y aportar cuales son los mejores nutrientes para dicha población y así fortalecer el bienestar mejorando la salud de éstos enfermos.

1.3. Antecedentes teóricos /empíricos

1.3.1. Importancia de las propiedades funcionales en harinas sin gluten

La evaluación de las propiedades nutracéuticas en harinas o mezclas destinadas a personas celiacas es de vital importancia, porque este tipo de enfermedad se considera que es una afección crónica del sistema inmunológico, lo cual se debe al consumo de harinas que contienen gluten; dicha enfermedad es una afección crónica del sistema inmunológico que se desencadena por el consumo de gluten que se encuentra en las proteínas presentes en el trigo, la cebada y el centeno; es por ello que las personas con esta afección deben seguir una dieta estricta para evitar daños en su intestino delgado y síntomas asociados; es por ello, que la elección de las harinas que participen en la formulación de

mezclas sin gluten son vitales para garantizar la salud y bienestar de los consumidores conservando la calidad de los productos en comparación con aquellos que contienen gluten y que son destinados a enfermos que padecen celiaquía.

Investigaciones centradas en este tipo de enfermedades [13,14] coinciden que las propiedades funcionales son de gran importancia tecnológica porque una de las variables afectadas es la estabilidad de los productos, siendo un factor crucial porque se deben consideran aspectos de resistencia a la desintegración o desmoronamiento de texturas como su incidencia en las propiedades sensoriales.

Dado el "esquema futurista en el campo de los alimentos debe existir una visión multidisciplinaria, con el fin de estudiar cuales podrían ser los beneficios y contribuciones nutricionales reales centrados en el metabolismo humano" considerando además el impacto social. "Una fuerte alianza entre ciencia, tecnología y salud es la mejor manera de entender e introducir alimentos funcionales en diferentes matrices alimentarias y su impacto en las propiedades sensoriales, fisicoquímicas, reológicas y funcionales" [15].

El presente estudio buscó demostrar cómo se ven afectadas las propiedades estructurales, mecánicas y sensoriales del pan sin gluten al utilizar fibras dietéticas. El objetivo del trabajo se basó en fortificar un pan con diferentes tipos de fibras modificadas (salvado de trigo, almidón resistente e inulina) y evaluar el impacto significativo en las propiedades estructurales y mecánicas del producto.

La metodología utilizada en este estudio consistió en seleccionar diferentes tipos de fibras dietéticas modificadas "evaluando sus efectos sobre la movilidad del agua, coeficiente de fricción, comportamiento térmico, patrón cristalino y propiedades texturales del pan". los resultados demostraron que las "fibras dietéticas aumentaron la temperatura de gelatinización mientras que disminuyeron la entalpía de gelatinización, más notablemente. El análisis de correlación de Pearson indicó que los atributos sensoriales de firmeza, masticabilidad y sequedad del pan se correlacionaron positivamente con los hallazgos instrumentales.

La evaluación de la vida útil del producto reveló que el pan fortificado con inulina tenía la menor firmeza, masticabilidad y menos sequedad, mientras que el pan más resistente fortificado con almidón mostró la mayor intensidad de estos descriptores. Este estudio demostró que la adición de fibras dietéticas modificadas puede mejorar las propiedades estructurales, mecánicas y sensoriales del pan sin gluten.

Estos hallazgos son relevantes para el desarrollo de productos de panificación sin gluten con características deseadas y con una mayor aceptabilidad por parte de los consumidores" [16].

Otros autores indican que "la reformulación para fortificar productos con fibra dietética presenta una oportunidad para contrarrestar los riesgos para la salud sin hacer que las personas cambien radicalmente sus dietas. Una de las formas comunes de aumentar la ingesta de fibra y mejorar los beneficios potenciales para la salud es a través de su incorporación en alimentos básicos como es el pan que tiene un alto consumo en Chile de 98% per cápita/año el cual podría aumentar un 4% más debido a la innovación en el área (INDUPAN, 2024-2025), pero existe el desafío nutricional de optimizar los beneficios potenciales para la salud derivados de la selección de fibra dietética mientras se mantenga la aceptabilidad del alimento por parte del consumidor", es por ello que los nuevos de-

safíos son encontrar disponibilidad de nuevas fuentes de fibra , las cuales están aportando cada vez más hacia una dieta más saludable; es por ello que hoy son altamente requeridas por las personas que poseen diversas enfermedades no transmisibles (ENT) [17].

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general: "Evaluar el impacto en las propiedades tecnológicas y funcionales por la incorporación de fibra de bambú y hierro en una mezcla de harinas sin gluten".

1.4.2. Objetivos específicos justificados

1.4.2.1.Seleccionar los porcentajes de cada uno de los ingredientes que participaran en la formulación de las mezclas fortificadas sin gluten acorde a la revisión bibliográfica realizada y a la normativa vigente en Chile correspondiente al Reglamento Sanitario de los Alimentos – Decreto Nº 977/96 modificado (RSA, 2023 ubicado en el Párrafo VI De los alimentos para regímenes exentos de gluten, artículos 516, 517 y 518).

1.4.2.2.Caracterizar nutricionalmente los ingredientes presentes en la matriz alimentaria mediante la determinación de humedad, proteínas, grasa, cenizas totales, glúcidos totales por diferencia a las harinas (avena, cebada malteada y cochayuyo) incluyendo la determinación de las propiedades funcionales (granulometría y absorción de agua) para cada una de las mezclas.

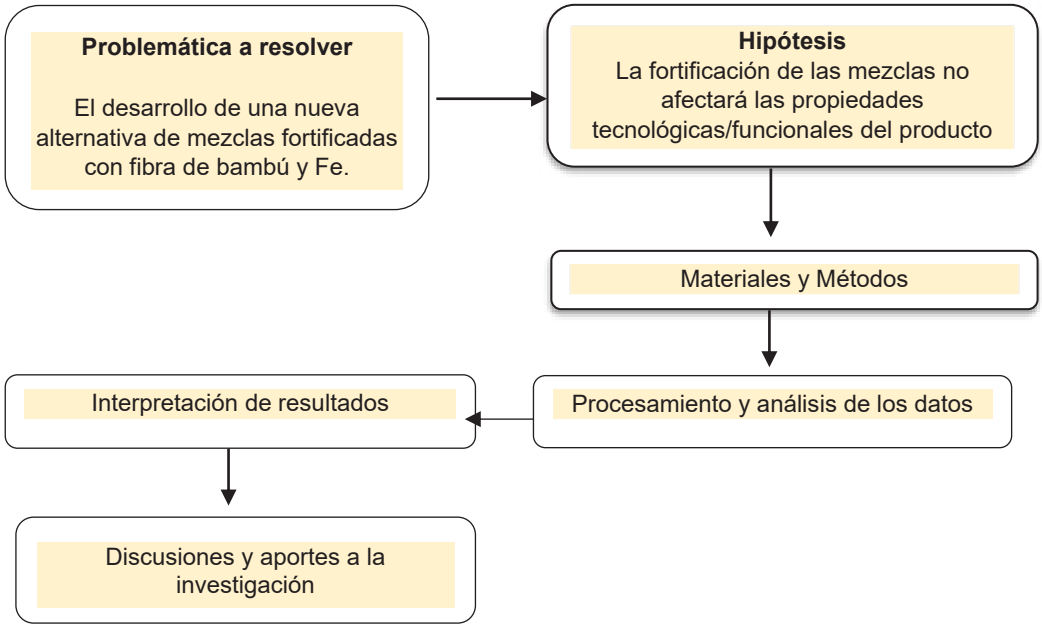
1.4.2.3Determinar la aceptabilidad de las cuatro formulaciones aplicando una escala hedónica estructurada de cinco puntos, la cual va desde me gusta mucho (5); Me disgusta mucho (1), considerando los principales descriptores sensoriales (color de la corteza, color de la miga, aroma, textura y sabor) con un panel no entrenado compuesto de 50 personas.

2. Metodología

2.4. Diseño metodológico de la investigación

El diseño metodológico para esta investigación (ver figura 1) contempló la selección de una fibra soluble y hierro para fortificar las formulaciones propuestas y mejorar los aspectos nutricionales de éstas; para ello se aplicó un diseño experimental completamente aleatorizado del tipo cuantitativo contemplando cuatro formulaciones, con el fin de comparar los efectos de la fibra de bambú (Gelucel BF-200) y hierro proveniente de algas pardas y levadura nutricional como ingredientes naturales.

Figura 1. Estructura y etapas de la investigación



Fuente: Cavieres E. 2024

2.5. Métodos analíticos utilizados en la investigación.

Tabla 1. Protocolos y referencias utilizados para determinación de las propiedades tecnológicas - funcionales - microbiológicas.

Análisis	Equipos	Protocolos Analíticos y referencias
Propiedades Tecnológicas		
Humedad	Estufa de humedad-marca Brabender	NCh. Norma Chilena, Método Nº841 of.78: Determinación de humedad (1978) – [18] AOAC. Asociación de Químicos Analíticos Oficiales. Métodos oficiales de análisis, Método N°925.09: Determinación de humedad (2012 – [19].
Proteínas	Destilador de proteínas	AOAC. Asociación de Químicos Analíticos Oficiales. Métodos oficiales de análisis, Método N° 955.39: Determinación de proteínas (2012) - [20].

Grasas	Soxhlet Fat Analyzer	AOAC. Asociación de Químicos Analíticos Oficiales Métodos oficiales de análisis, Método N°920.39: Determinación de grasas (2012) – [21].
Cenizas totales	Mufla – marca Brabender	NCh. Norma Chilena, Método Nº642 of.78: Determinación de humedad (1978) – [22]. AOAC. Asociación de Químicos Analíticos Oficiales Métodos oficiales de análisis, Método N°923.03: Determinación de cenizas totales (2012) – [23].
Glúcidos totales (Hde C)	Por diferencia	AOAC. Asociación de Químicos Analíticos Oficiales Métodos oficiales de análisis, Método Munson y Walker basado, Método N° 925.36: Determinación de glúcidos totales (2012) – [24].
Propiedades Funcionales		
Granulometría o tamaño de partículas	Tamizador “Analysette 3” - marca Fritsch	Determinación del tamaño de partículas sin protocolo a través del método ANALYSETTE 3 – [25]
Adsorción de agua	Método por diferencia de peso gravimétrico modificado por Anderson	Determinación de la adsorción de agua en otras harinas ajustado – [26]
Fibra dietaria total (Soluble e Insoluble)	Digestor enzimático	AOAC. Asociación de Químicos Analíticos Oficiales Métodos oficiales de análisis, Método N°985.29: Determinación de fibra dietaria (1995) – [27].
Hierro	Espectrofotómetro de Absorción atómica	AOAC. Asociación de Químicos Analíticos Oficiales Métodos oficiales de análisis, Método N° 986.15 – MIN-302/META: Determinación de hierro (2002) – [28].

Análisis Microbiológicos		
Recuento coliformes totales NMP/g	**Recuento en placa**	RSA. Reglamento Sanitario de los Alimentos, Método recuento en placa: Determinación del recuento de coliformes (2023) – [29].
Recuento de hongos y levaduras UCF/g	**Recuento en placa**	RSA. Reglamento Sanitario de los Alimentos, Método recuento en placa: Determinación de hongos y levaduras (2023) – [30].
Análisis Sensorial		
Aplicación del método subjetivo - escala hedónica de cinco puntos para determinar la aceptabilidad de las mezclas	Panel de laboratorio semi - entrenado de 50 jueces con más de 20 años de experiencia.	La determinación de aceptabilidad se realizará utilizando los Test Subjetivos según el protocolo de la norma UNE - ISO 6658:2019 (2019) – [31].

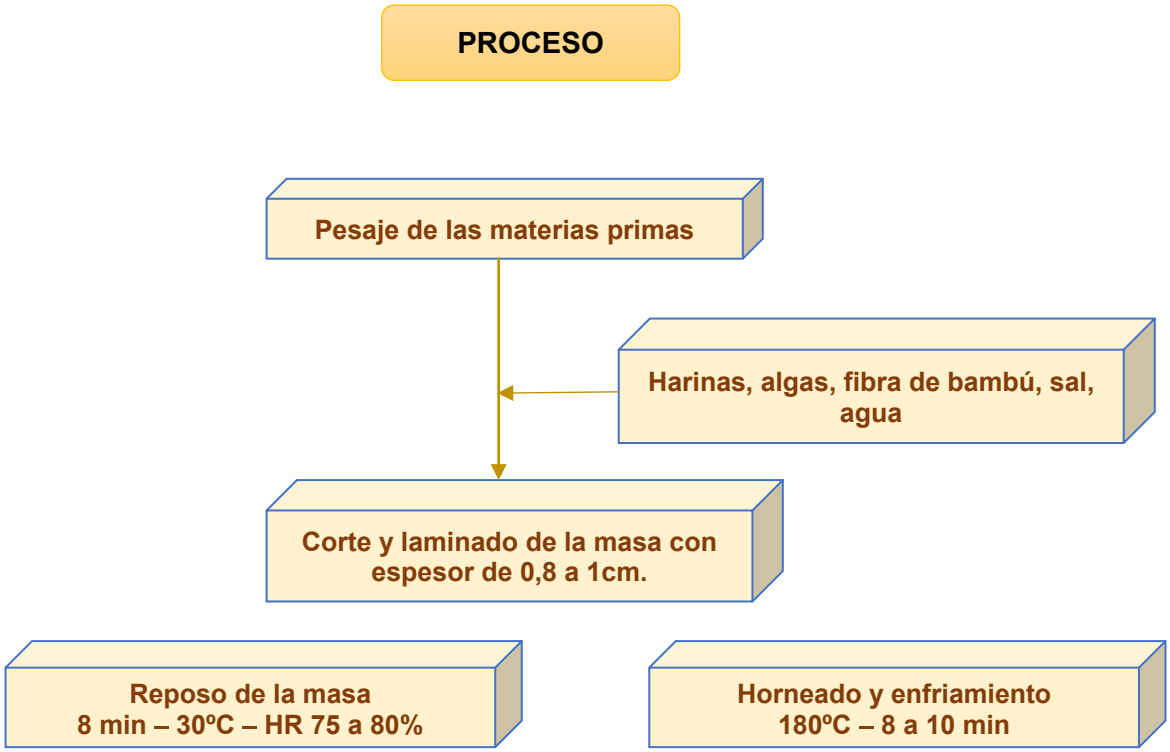
2.6.Propuesta de Formulaciones para productos panaderos

Tabla 2. Formulaciones seleccionadas para el estudio

Ingredientes	P0	P1	P2	P3
Harina de avena integral (g)	37,5	36,0	27,0	25,5
Harina de cebada malteada (g)	27,5	26,0	36,0	30,0
Harina de cochayuyo (g)	12,5	12,0	15,0	11,5
Fibra de bambú como Gelucel BF200-(g)	0,0	6,0	0,0	5,0
Almidón de maíz (g)	12,5	10,0	12,0	14,0
Hojuelas de levadura (g)	10,0	10,0	10,0	14,0
Leche en polvo (g)	2,0	2,0	2,0	2,0
Sal (g)	1,5	1,5	1,5	1,5
Agua (ml)	(según absorción de agua)			
Total mezcla	**103,5**	**103,5**	**103,5**	**103,5**

2.7. Proceso de Panificación a nivel experimental y sus etapas

Figura 2. Diagrama de flujo para la elaboración del producto panadero



Fuente: Cavieres, E. 2024

3. PRINCIPALES RESULTADOS

Los principales análisis de esta investigación (contenido de hierro, fibra dietaria) y composición nutricional fueron analizados utilizando el programa computacional SSPP con un nivel de significancia de un 95%, el cual arrojó los siguientes datos para cada variable en estudio.

Dada la importancia en esta investigación fue necesario verificar el impacto de los ingredientes en el producto final como es la harina de cochayuyo (Durvillaea Antárctica)

y hojuelas de levadura nutricional, el análisis de varianza (ANOVA) indicó que existe un efecto positivo en su incorporación en las mezclas P2 y P3 a diferencia de P0 y P1 (ver tabla Nª 3 se pueden observar los resultados obtenidos del ensayo.

Tabla 3. Porcentaje de hierro en las cuatro formulaciones

REPETICIONES	PO	P1	P2	P3	Limite máx
HIERRO 1	26,8	28,9	27,4	23,0	30-120 mg/Kg
HIERRO 2	26,7	28,8	27,3	23,0	
HIERRO 3	26,8	28,8	27,4	23,0	
PROMEDIO	26,77	28,83	27,37	23,0	

Contenido de Fe en hojuelas de levadura Análisis en triplicado (mg/kg)	
Repeticiones	
1	18,0
2	18,0
3	18,0
PROMEDIO	18,0

Dónde: Po = muestra control

Tabla 4. Análisis estadístico de Hierro en las formulaciones (variable dependiente)

Fuente de variación	SC (suma de cuadrados)	gl (grados de libertad)	SCM (Suma de cuadrados medios)	F (Fisher)	p-value (sig) 5 %
Modelo corregido (R)	55,55[a]	3	18,52	7406,56	0,000
Intersección	8421,70	1	8421,70	3368680,33	0,000
Mezclas	55,55	3	18,52	7406,56	0,000
Error o Valor residual	0,020	8	0,002		
Total	8477,27	12			
T. corregido	55,57	11			

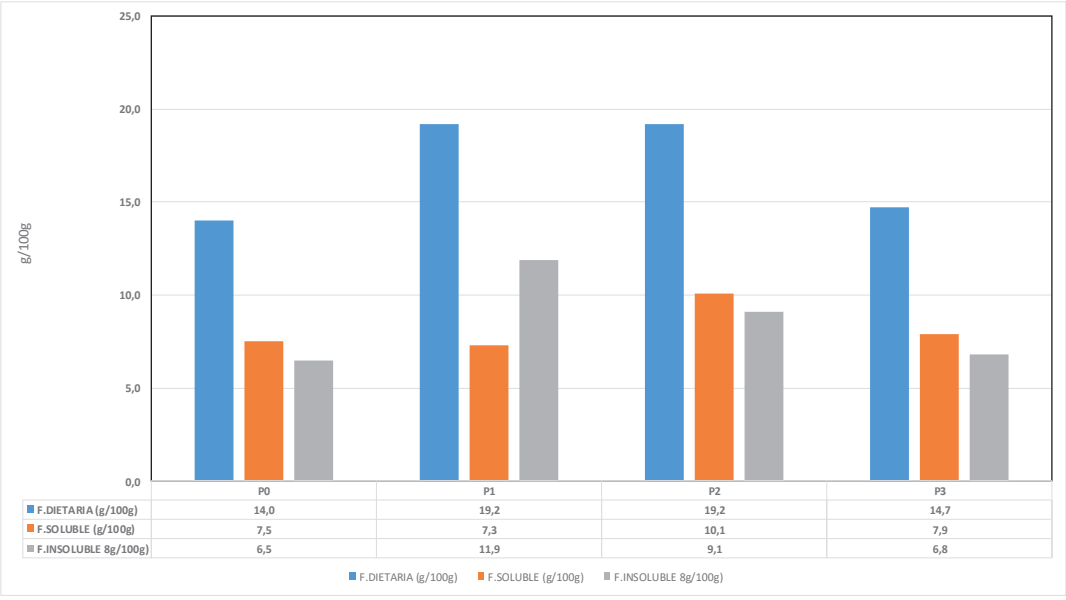
Dónde: (a) R al cuadrado = 1,000 (R al cuadrado ajustada = 1,000)

Tabla 5. Test de comparación múltiple para evaluar diferencias entre las formulaciones

Formulaciones		MD (dif. Medias)	EE (Error estándar)	p-value sig. 5 %	LI (Límite inferior)	LS (Límite superior)
P0	P1	-2,067*	0,0408	0,000	-2,197	-1,936
	P2	-0,600*	0,0408	0,000	-0,731	-0,469
	P3	3,767*	0,048	0,000	3,626	3,897
P1	P0	2,067*	0,0408	0,000	1,936	2,197
	P2	1,467*	0,0408	0,000	1,336	1,597
	P3	5,833*	0,0408	0,000	5,703	5,964
P2	P0	0,600*	0,0408	0,000	0,469	0,731
	P1	-1,467*	0,0408	0,000	-1,597	-1,336
	P3	4,367*	0,0408	0,000	4,236	4,497
P3	P0	-3,767*	0,0408	0,000	-3,897	-3,636
	P1	-5,833*	0,0408	0,000	-5,964	-5,703
	P2	-4,367*	0,0408	0,000	-4,497	-4,236

Dónde:
P0= muestra control
Media cuadrática = 0,002
(*) = Diferencias de medias a un nivel de significatividad de 0,05

Figura 3. Determinación de fibras en mezclas de harinas



En la figura 3 se pueden observar las formulaciones P1 y P2 contienen más fibra dietaria que P0 y P3; y en relación a fibra soluble P2 y P0 representan un mejor contenido de esta.

El análisis estadístico realizado a las cuatro formulaciones permitió evidenciar lo suficiente claro que se rechaza la hipótesis nula (H0) porque en promedio, lo que indica que los contenidos de fibra soluble presente en las formulaciones son aparentemente parecidos, por lo tanto, existe al menos un par de mezclas de harinas que difieren entre sí, coincidiendo con los resultados representados en la figura 3 y tabla 6.

Tabla 6. Análisis estadístico para fibra soluble

Origen	Tipo III – SC (suma de cuadrados)	gl (grados de libertad)	SC (media cuadrática)	F (Fisher)	p-value 5%
Modelo corregido	14,669[a]	3	4,890	1955,889	0,000
Intersección	805,241	1	805,241	322096,333	0,000
Mezclas	14,669	3	4,890	1955,889	0,000
Error	,020	8	,002		
Total	819,930	12			
Total corregido	14,689	11			

Dónde: a = R al cuadrado = 0,999 (R al cuadrado ajustada = 0,998)

En relación a la determinación de la composición nutricional esta fue relevante, porque se puedo comprobar que las propiedades nutraceúticas utilizadas para fortificar este tipo de productos panaderos fue positivo en relación al aporte nutricional que los consumidores con celiaquía requieren. Los resultados obtenidos de la aplicación de evaluación sensorial a los principales descriptores sensoriales (color de la corteza, color de la miga, aroma, textura y sabor) jerarquizados en orden de importancia aplicado a un panel semi - entrenado de 50 panelistas permitieron concluir que las formulaciones P1; P0; P3 y P2 en orden decreciente fueron las más aceptables (ver tabla 2).

4.Conclusiones

- La revisión bibliográfica y el empleo de la IA permitió inicialmente seleccionar once formulaciones con sus respectivas mezclas y desde éstas llegar a cuatro tipos de mezclas, las cuales fueron revisadas acordes a los aportes requeridos por la investigación; lo cual se ve reflejado en la normativa vigente en Chile correspondiente al Reglamento Sanitario de los Alimentos – Decreto Nº 977/96 modificado (RSA, 2023 ubicado en el Párrafo VI De los alimentos para regímenes exentos de gluten, artículos 516, 517 y 518).

- Las caracterizaciones nutricionales de todos los ingredientes presentes en la matriz alimentaria permitieron verificar que la determinación de humedad, proteínas, grasa, cenizas to-

tales, glúcidos totales por diferencia a las harinas (avena, cebada malteada y cochayuyo) incluyendo la determinación de las propiedades funcionales (granulometría y absorción de agua) para cada una de las mezclas estuvieron dentro de los rangos esperados para este tipo de productos.

- La determinación de la aceptabilidad de las cuatro formulaciones realizada por un panel no entrenado de 50 panelistas permitió enlazar las propiedades nutricionales con la aceptabilidad y calidad del producto pandero, siendo las formulaciones más aceptables P1; P0; P2 y P3 respectivamente.

5. BIBLIOGRAFÍA

1. Organización Mundial de la Salud (OMS). Healthy diet. (2018-2021. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet.

2. Morales A, Lastre-Amell R, Pardo Vásquez A. Estilos de vida relacionados con factores de riesgo cardiovascular. 2018. https://www.redalyc.org/articulo.oa? id=55960422009.

3. Pimentel TC, Costa WKAD, Barão CE, Rosset M, Magnani M. Vegan probiotic products: A modern tendency or the newest challenge in functional foods. Food Res Int. 2021 Feb; 140:110033. Doi: 10.1016/j.foodres.2020.110033. Epub. 2020 Dec 17. PMID: 33648260.

4. Seidita A, Mansueto P, Compagnoni S, Castellucci D, Soresi M,Chiarello . Anemia in Celiac Disease: Prevalence, Associated Clinical and Laboratory Features, and Persistence after Gluten-Free Diet. J Pers Med. 2022 Sep.

5. Aoe S Et al. Beta-Glucan in Foods and Health Benefits. Nutrients. 2022 Dec 27;14(1):96. Doi: 10.3390/nu14010096. PMID: 35010971; PMCID: PMC8746796.

6. Rondanelli M, Faliva MA, Gasparri C, Peroni G, Naso M, Piciotto G et al. Micronutrients Dietary Supplementation Advices for Celiac Patients on Long-Term Gluten-Free Diet with Good Compliance: A Review. Medicine (Kaunas). 2019 Jul 3;55(7):337. Doi: 10.3390/medicina55070337. PMID: 31277328; PMCID: PMC6681258.

7. Cardo A, Churruca I, Lasa A, Navarro V, Vázquez - Polo M, Perez-Junkera G et al. Nutritional Imbalances in Adult Celiac Patients Following a Gluten-Free Diet. Nutrients. 2021 Aug 21;13(8):2877. Doi: 10.3390/nu13082877. PMID: 34445038; PMCID: PMC8398893.

8. Di Nardo G, Villa MP, Conti L, Ranucci G, Pacchiarotti C, Principessa L et al. Nutritional Deficiencies in Children with Celiac Disease Resulting from a Gluten-Free Diet: A Systematic Review. Nutrients. 2019 Jul 13;11(7):1588. Doi: 10.3390/nu11071588. PMID: 31337023; PMCID: PMC6683263.

9. Coronel EB, Guiotto EN, Aspiroz MC, Tomás MC, Nolasco SM et al. Development of gluten-free premixes with buckwheat and chia flours: Application in a bread product. LWT- J. Book. 2021 April; 141. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110916.

10. Coronel EB, Guiotto MC, Tomás MC, Nolasco SM, Capitán MI. Development of gluten-free premixes with buckwheat and chia flours: Application in a bread product. LWT-J. Book. 2021 April; 141. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110916.

11. Aljada B, Zohni A, El-Matary W. The Gluten-Free Diet for Celiac Disease and Beyond. Nutrients. 2021 Nov 9;13(11):3993. Doi: 10.3390/nu13113993. PMID: 34836247; PMCID: PMC8625243.

12. Encuesta Nacional de Salud (ENS) – Ministerio de Saludad. Chile. 2022.

13. Kalman S, Halász A. Baking potential of different gluten-free flours and their blends with bamboo fiber. J. Food Process Preserve. 2021; 45(7), e15905. doi: 10.1111/jf 1.

14. Putnik P, Bursać D. Sustainable Functional Food Processing. Foods 2021; 10(7): 1438. https://doi.org/10.3390/foods10071438.

15. Granato D, Barba FJ, Bursać D, Lorenzo JM, Cruz AG, Putnik P. Functional Foods: Product Development, Technological Trends, Efficacy Testing, and Safety. Annu Rev Food Sci Technol. Epub. 2020; 11(1): 93-118. Doi: 10.1146/annurev-food-032519-051708.

16. Wronkowska, M. et al. Gluten-free cereal-based products as a dietary source of antioxidants. Trends Food Sci Technol. 2020; 99: 214-222.

17. Żakowska-Biemans S, Kostyra E. Perfil sensorial, percepción de los consumidores y gusto por el pan de trigo y centeno enriquecido con fibra dietética. Ciencias Aplicadas. 2023; 13(2):694.

18. Instituto de Normalización de Chile (INN). Norma Chilena Nº 841 Of. 78 para determinar humedad. INN. 1978.

19. Asociación internacional de métodos analíticos en alimentos (AOAC). Método Nº925.09 para determinar humedad. AOAC. 2012.

20. Asociación internacional de métodos analíticos en alimentos (AOAC). Método Nº955.39 para determinar proteínas. AOAC. 2012.

21. Asociación internacional de métodos analíticos en alimentos (AOAC). Método Nº920.39 para determinar grasas. AOAC. 2012.

22. Instituto de Normalización de Chile (INN). Norma Chilena Nº642 Of.78. Método para determinar cenizas totales. INN. 1978.

23. Asociación internacional de métodos analíticos en alimentos (AOAC). Método Nº923.03 para determinar cenizas totales. AOAC. 2012.

24. Método de Munson y Walker S/N para determinar glúcidos totales por diferencia. 2012.

25. Asociación internacional de métodos analíticos en alimentos (AOAC). Método Nº925.36 para determinar glúcidos totales. AOAC. 2012

26. Método Analysette 3 – sin protocolo para determinar tamaño de partículas. 2012

27. Método de adsorción de agua modificado S/N para determinar porcentaje de agua absorbida en harinas y mezclas. 2023

28. Asociación Americana de químicos cerealícolas (AACC). Método Nº 56-10 para determinar retención de agua. AACC. 2000.

29. Asociación internacional de métodos analíticos en alimentos (AOAC). Método Nº 985.29. AOAC. 1995.

30. Asociación internacional de métodos analíticos en alimentos (AOAC). Método Nº 986.15 – MIN-302/META. AOAC. 2012.

31. Reglamento Sanitario de los Alimentos (RSA). Decreto Nº 977/96 actualizado. 2023, January. Mmh. REGLAMENTO SANITARIO DE. LOS ALIMENTOS. DTO. N° 977/96. Publicado en ... 6 Reglamento: Decreto supremo N° 594/99, del…

INTELIGENCIA ARTIFICIAL DE BORDE DESARROLLO DE UN SISTEMA DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

EDGE ARTIFICIAL INTELLIGENCE DEVELOPMENT OF A MACHINE LEARNING SYSTEM

Eusebio Moreno Velásquez[1], Luis Moreno Velásquez[1]

[1]*Departamento Tecnologías Industriales, Universidad de Santiago de Chile (eusebio.moreno@usach.cl, luis.moreno.v@usach.cl)*

https://doi.org/10.17613/30bbk-yqs59

Resumen

El presente capítulo describe los pasos para desarrollar un Sistema de Aprendizaje Automático en el extremo o borde mismo donde se generan los datos, para predecir el comportamiento anómalo de un motor de Corriente Alterna. El desarrollo integral del sistema se realiza en cuatro etapas: Coleccionar Datos, Extraer Características, Entrenar y Evaluar el Sistema e Implementar Sistema de Aprendizaje Automático. Para cada etapa se indican los componentes de hardware y software utilizados. Los componentes de hardware no sobrepasan los USD$50. Los softwares utilizados son: IDE Arduino y Python con su suite de librerías para la ciencia de los datos. El capítulo indica un camino para el desarrollo de sistemas de inteligencia artificial de costo razonable. Los principios aquí indicados se pueden aplicar a diferentes contextos tales como: otras anomalías, otras máquinas, procesos, fenómenos, etc. Este capítulo abre la posibilidad del desarrollo de nuevas tesis de orden práctico.

Palabras Claves: Inteligencia Artificial de Borde, Señal en el Dominio del Tiempo y la Frecuencia, Transformada de Fourier, Aprendizaje Automático, Modelos de IA.

Abstract:

This chapter describes the steps to develop a Machine Learning System at the very edge where the data is generated, to predict the anomalous behavior of an AC motor. The comprehensive development of the system is carried out in four stages: Data Collection, Feature Extraction, System Training and Evaluation, Implementation of the Machine Learning System. For each stage, the hardware and software components used are indicated. The hardware components do not exceed USD$50. The software used includes: Arduino IDE and Python with its suite of libraries for data science. This chapter outlines a path for developing cost-effective artificial intelligence systems. The principles presented here can be applied to various contexts, such as other anomalies, other machines, processes, phenomena, and so on. This chapter opens the door to the development of new, practical theses.

Keywords: Edge Artificial Intelligence, Signal in the Time and Frequency Domain, Fourier Transform, Machine Learning, aI Models.

1. Antecedentes.

El proyecto toma como base un equipo, diseñado por el Sr. Gumercindo Vilca, para el estudio de los grados de desbalance y desalineamiento del sistema, como también de los efectos de anomalías en los rodamientos del sistema mecánico. El equipo permite en forma sistemática, introducir anomalías, cuyos efectos se manifiestan en la vibración mecánica, los cuales pueden ser medidas en puntos de acceso del sistema mecánico.

Basados en este equipo, además de componentes digitales, tales como el TTGO-T1 y MPU6050, con el objetivo de llegar a la compresión de: cómo poder aplicar la "Inteligencia Artificial de Borde" (o Edge AI), se desarrollaron previamente dos tesis relacionadas en detectar anomalías en motores como son el desbalance y desalineamiento axial, estas fallas se expresan en vibraciones emitidas por un motor. Dichas vibraciones se manifiestan en relación a la velocidad de giro del motor, el desbalance se manifiesta con un peak que coincide esencialmente con la frecuencia de la velocidad de giro del motor denominada frecuencia 1x (uno por), mientras que el desalineamiento produce vibraciones de mayor amplitud en las frecuencias 1x y 2x.

En ambas tesis se realizó un estudio acucioso de la transformada de Fourier y la transformada discreta de Fourier, donde a esta última se le aplicó el algoritmo denominado transformada rápida de Fourier (FFT).

La Transformada Rápida de Fourier (FFT) es un algoritmo esencial en el análisis de vibraciones, ya que convierte eficientemente una señal de vibración del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, descomponiéndola en sus frecuencias constituyentes y sus amplitudes asociadas para revelar las "huellas" de los componentes de la máquina y diagnosticar fallas.
Las tesis mencionadas son:

Tesis 1.-

Título: Estudio del estado del funcionamiento de un motor a partir de las vibraciones que emite, utilizando la Transformada Rápida de Fourier (FFT).
Memorista Tecnólogo en Control Industrial: Fabián Rodrigo Cerón Sanhueza.
Profesores guías: Eusebio Moreno Velásquez y Luis Moreno Velásquez.

Tesis 2.-
Título: Detección de fallas en motores de inducción mediante la Transformada Rápida de Fourier.
Memorista Tecnólogo en Telecomunicaciones: Fabián Esteban Parra Olguín.
Profesores guías: Eusebio Moreno Velásquez y Luis Moreno Velásquez.
Desarrollo Actual. -

En base al conocimiento adquirido se procedió a desarrollar una tesis donde se aplique ("Inteligencia Artificial de Borde"), utilizando recursos mínimos como: un microcontrolador TTGO T1, un sensor MPU-6050, un router inalámbrico básico y un circuito impreso, los cuales en conjunto no superan el valor de 50 dólares, y con ventajas adicionales debido al procesamiento local tales como privacidad , seguridad y ahorro de ancho de banda, Esta tesis ya fue finaliza y con su examen rendido en el mes de Mayo de 2026 . En ella están desarrolladas todas las etapas que se encuentran descritas más adelante en este documento desde: Leer las vibraciones de un motor de CA en línea

hasta enviar el resultado del procesamiento utilizando algoritmos de machine learning a un servidor local o en la nube indicando el nivel de desbalance,
Se puede también considerar lo siguiente respecto a esta tesis:

Se construyó un sistema que utiliza la plataforma TTGO T1, basada en el microcontrolador ESP32, por su capacidad de procesamiento, conectividad y visualización integrada. Esta plataforma, programada a través del entorno Arduino IDE, permite no solo adquirir y analizar los datos provenientes de sensores como el MPU6050, sino que también implementar modelos de inteligencia artificial como: K-vecinos más cercanos (KNN). Vectores de soporte y redes neuronales.
Esta tesis es la siguiente:
Tesis. -
Título: Clasificación Inteligente de Desbalance en Motores de Corriente Alterna Mediante la Transformada Rápida de Fourier (FFT) y Modelos de Machine Learning (ML).
Memorista Tecnóloga en Mantenimiento Industrial: Antonia Belén Nordin Campos.
Profesores guías: Eusebio Moreno Velásquez y Luis Moreno Velásquez.

Para esta tesis el Tecnólogo en Control Industrial: Fabián Rodrigo Cerón Sanhueza, realizó el montaje mecánico necesario, para introducir en forma sistemática, anomalías del tipo desbalance.
Google Drive contiene:

Desarrollo de la Tesis, Nordin, A. (2026) Clasificación Inteligente de Desbalance en Motores de Corriente Alterna Mediante la Transformada Rápida de Fourier (FFT) y Modelos de Machine Learning (ML).

Programas en lenguaje Python, sketch en lenguaje C++ y archivos .CSV correspondientes a esta Tesis, Nordin, A. (2026) Capítulo 4: Desarrollo.
Alcances y Limitaciones. -

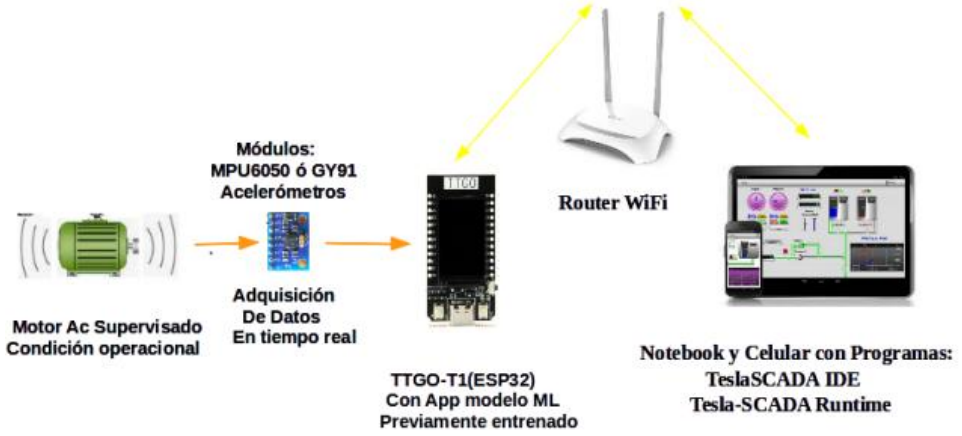
El propósito fundamental es construir un dispositivo que realice predicciones del estado de desbalance de un motor AC, utilizando las técnicas de Inteligencia Artificial en el Borde. La información de desbalance se muestra en el display y también se envía a la red IP, utilizando el módulo TTGO-T1.

Si bien las mediciones de la vibración mecánica se realizaron como aceleración en unidades “g”, no se realizaron comparaciones de los niveles de desbalance realizados con los estándares normalizados.
Se definieron 4 niveles de desbalance: Normal, Nivel 1, Nivel 2 y Nivel 3.
El tiempo estimado para el desarrollo es seis meses.

2. Descripción del sistema.

El término “Inteligencia Artificial de Borde” significa llevar las técnicas de aprendizaje automático (Machine Learning :ML) al programa ejecutado por el microcontrolador, de tal forma de inferir el estado en que se encuentra un sistema bajo supervisión .En la figura 1 se muestra una aplicación final de “Inteligencia Artificial de Borde”:

Figura 1. Aplicación final TTGO-T1 que muestra en display y transmite a un Servidor Local o en la nube el estado operacional de un motor AC.

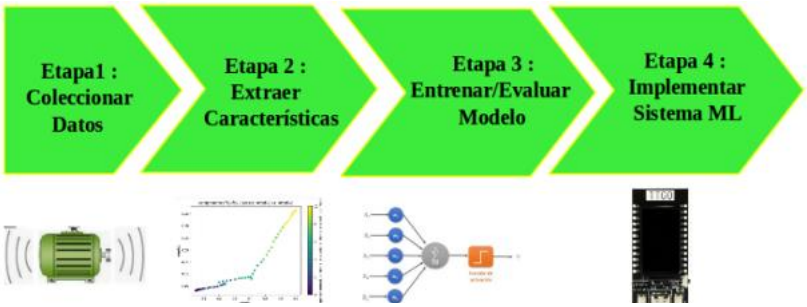


En la figura 1, el módulo TTGO-T1 contiene el microcontrolador ESP32, el cual ejecuta un programa, que obtiene los datos de aceleración de la vibración del Motor AC en tiempo real, para obtener el estado de desbalance, mediante un algoritmo que utiliza un modelo ML previamente entrenado. El estado en tiempo real del motor, será mostrado en el display del TTGO-T1 y también enviado a la red IP, mediante la señal WiFi disponible en el módulo TTGO-T1, para ser mostrado en un celular, en un servidor local o en uno público.

2.1. Etapas de Desarrollo de un Sistema de Aprendizaje Automático.

En la figura 2 se muestra un diagrama de las etapas de desarrollo de un sistema de aprendizaje automático.

Figura 2. Etapas de desarrollo de un Sistema de Apredizaje Automático (ML)



Para tener funcionando un Sistema de Inteligencia de Borde, como el descrito en la introducción, es necesario realizar las cuatro etapas mostradas en la figura 2.
El documento donde se obtuvo el método descrito es: Hymel, S (2020) Edge AI Anomaly Detection Part 1 - Data Collection

2.2. Etapa 1: Coleccionar Datos. -

Para crear un sistema de aprendizaje automático desde cero, primero tenemos que recopilar una cantidad necesaria de datos para caracterizar cómo es la operación del sistema bajo diferentes condiciones o contextos de operación. Por ejemplo, si el sistema de aprendizaje automático es inferir el grado de desbalance de un motor AC, se necesitará recopilar datos para la condición normal y también para los diferentes grados de desbalance del motor AC. Al recopilar datos es conveniente simular, en forma controlada, diferentes condiciones o contextos de operación.

Estos datos recopilados, guardados normalmente en archivos ".csv", alimentarán las etapas 2 y 3 del sistema de aprendizaje automático. En la etapa 2 y 3 los datos recopilados se subdividen para ser utilizados para diferentes propósitos: entrenamiento, evaluación, test, etc. En la etapa 4 se utilizan datos de muestra obtenidos en tiempo real.

2.3. Etapa 2: Extraer Características. -

En la etapa 2, tenemos datos en bruto disponibles en archivos ".csv", a partir de ellos, podemos extraer características significativas, para entrenar un modelo de aprendizaje automático. En esta etapa se pueden aplicar entre otros:

-Técnicas de análisis estadísticos en el dominio del tiempo.
-Algoritmos de Transformada Rápida de Fourier (TRF) en el dominio de la frecuencia.
-Algoritmos de Transformada Wavelet (TWL) en el dominio tiempo- frecuencia.

El conjunto de datos que contienen las características significativas, son almacenados en un archivo ".csv", el cual se utilizará como entrada para la tercera etapa.

2.4. Etapa 3: Entrenar y Evaluar el Modelo de Aprendizaje Automático. -

A partir del archivo ".csv" que contiene las características significativas, se debe definir un "modelo de aprendizaje", el cual debe entrenarse y evaluarse utilizando los datos que contienen las características significativas. Aquí se genera un archivo que contiene el modelo entrenado, cuya información queda almacenada en un archivo "model.h" que se utilizará como entrada para la cuarta parte.

2.5. Etapa 4: Implementar Sistema ML.-

El archivo "model.h" que contiene el modelo entrenado, debe ser exportado a "lenguaje C", para ser utilizado por el sketch final, desarrollado en el IDE Arduino, el cual permite compilar y grabar, en "lenguaje de máquina" el algoritmo que inferirá, en tiempo real, el estado del Motor AC.

En la etapa 4 el o los modelos seleccionados, que pasaron la etapa 3 de evaluación y que todo está funcionando como corresponde, se pasa a la implementación final del sistema. El sistema final puede adoptar varias formas:

Sistema compartido Microcontrolador y Servidor Local o en la Nube. Los datos son obtenidos mediante sensores y un microcontrolador integrado en la máquina y posteriormente son enviados a un servidor remoto que está ejecutando el algoritmo de detección de anomalías.

Sistema Integrado Completo en un Microcontrolador: Monitorea los datos en línea mediante uno o más sensores, los procesa mediante un modelo de aprendizaje automático y determina el estado del sistema monitoreado, informando mediante un display el estado actual del mismo.

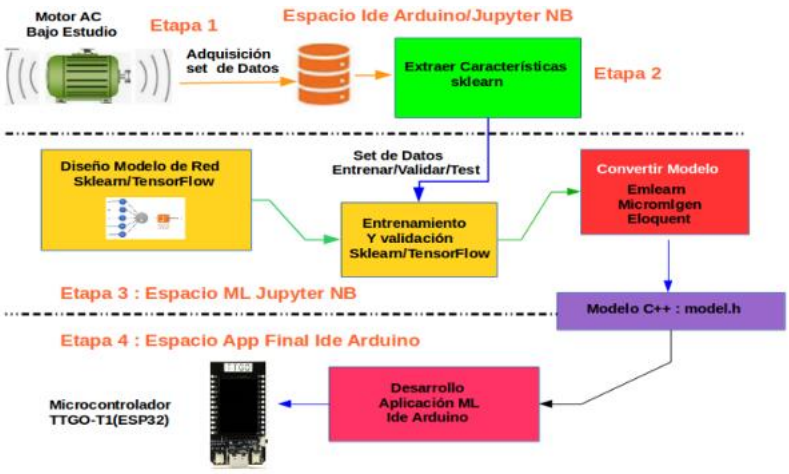
Esto ahorraría el ancho de banda, ya que no se transmiten datos en bruto, pero requiere más trabajo y posiblemente un microcontrolador más potente.

3. Softwares utilizados en el Desarrollo de un Sistema de Inteligencia Artificial ML de Borde. -

En la figura 3 se muestra un diagrama en bloques, en el cual se indican que las plataformas utilizadas en cada una de las etapas de desarrollo, las cuales son:
Ide Arduino
Jupyter Notebook

3.1 Etapa 1: Componentes utilizados en la Adquisición de datos.-

Figura 3: Desarrollo ML mediante Jupyter Notebook e Ide Arduino



En la figura 4 se muestra un diagrama de los componentes utilizados en el desarrollo de la etapa 1.-

Figura 4: Componentes utilizados en la etapa 1, Sistema de adquisición de datos de aceleración, producidas por la vibración del Motor AC, en estado operacional.

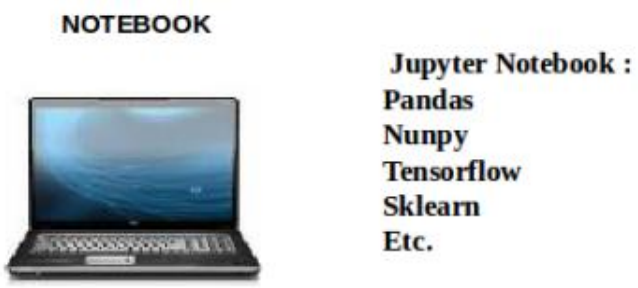


En la figura 4 se muestran los elementos de hardware necesarios para realizar la tarea propuesta en la etapa 1. El propósito final es entregar el conjunto de datos en uno o más archivos ".csv". Los softwares requeridos son: IDE Arduino y Jupyter Notebook, cargados en Sistema Operativo Windows. Para este propósito se desarrollaron el sketch en el Ide Arduino y el programa Python. El sketch obtiene los datos de vibración de aceleración mecánica, en forma periódica, determina las componentes de frecuencia y las envía por la puerta USB hacia el notebook, donde el programa Python recibe estos datos y los almacena en archivos ".csv". Esta adquisición de datos se realiza para diferentes condiciones de desbalance del motor AC. El desbalance se consigue modificando la distribución de "masa" en un disco metálico montado en un extremo del motor AC. Los niveles de desbalance se obtienen modificando la cantidad de golillas montadas en el disco metálico.

3.2. Etapa 2: Componentes utilizados en la Extracción de Características significativas de los datos.-

En la figura 5 se muestra un diagrama de los componentes utilizados en el desarrollo de la etapa 2.

Figura 5: Componentes utilizados en la etapa 2 para:
-Extracción de características del set de datos crudos.



En la etapa 2 se realiza el análisis exploratorio de datos (EDA) el cual es utilizado por los científicos de datos, para analizar e investigar conjuntos de datos y resumir sus características.

El análisis exploratorio de datos es un paso preliminar crucial cuando se trabaja con conjuntos de datos, especialmente antes de aplicar modelos de aprendizaje automático como Support Vector Classification (SVC) de sklearn. EDA pretende entender las principales características del conjunto de datos, identificar patrones, relaciones, valores atípicos y problemas potenciales como valores o inconsistencias que faltan. Este entendimiento ayuda a tomar decisiones informadas sobre el preprocesamiento de datos, la ingeniería de características y la selección de modelos, lo que en última instancia conduce a un mejor rendimiento del modelo.

En esta etapa 2 es necesario realizar escalado de los datos que alimentarán los modelos de aprendizaje automático, por ejemplo: los modelos SVC son sensibles al escalado de características. Técnicas como StandardScaler o MinMaxScaler de scikit-learn se aplican a menudo para normalizar o estandarizar las características.

3.3. Etapa 3: Componentes utilizados para Entrenar y Evaluar los Modelos ML.-

En la figura 6 se muestra un diagrama de los componentes utilizados en la etapa 3.

Mediante un set de datos, previamente preparado, se entrena y verifica el buen comportamiento del modelo sklearn seleccionado para la aplicación, en este caso el desbalance del Motor AC. Todo este proceso se realiza en ambiente Jupyter Notebook en lenguaje Python.

Figura 3: Componentes utiliazados en la etapa 3 para:
-Selección del o los modelos ML
-Entrenamiento y evaluación del modelo ML
-Conversión del modelo a C++, "model.h"



En la figura 6 se muestra la relación entre los componentes del proceso de la etapa 3, utilizando las herramientas sklearn/tensorflow.

Aquí es necesario considerar la elección del modelo ML a utilizar, el modelo a utilizar después de entrenado, debe ser convertido a lenguaje C++, para lo cual debe existir la herramienta que realice esta tarea, de tal forma de facilitar la conversión del modelo y el sketch final.

Como muestra la figura 6, en el proceso de entrenamiento entra el conjunto de datos y el modelo seleccionado.
La etapa 3 se realiza en dos pasos:

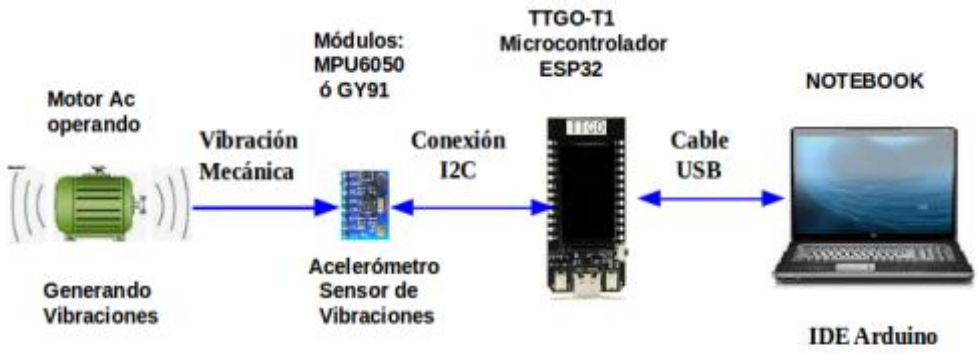
1.-Desarrollar y entrenar el modelo de aprendizaje automático seleccionado utilizando Sklearn/Tensorflow, en un entorno Python, como por ejemplo Jupyter Notebook. El modelo a utilizar puede ser un clasificador (como Decision Tree, SVM, etc.).

2.-Convertir el modelo en código C++, existen varias herramientas para esto:

micromlgen: Esta biblioteca de Python está diseñada específicamente para convertir modelos de ciencia-aprendizaje entrenados en código C simple. Puede instalarlo usando micromlgen pip install. Después de entrenar su modelo, importar micromlgen y utilizar su función de "puerto" (port) para generar la representación de código C de su modelo.

sklearn-porter: Otra opción es sklearn-porter, que también puede convertir modelos de sklearn en varios lenguajes de programación, incluyendo C.

Figura 7: Componentes utilizados en la etapa 4, implementación final del Sistema de predicción del estado de desbalance del Motor AC.



En esta etapa de implementación final del Sistema ML se debe incorporar el modelo "model.h" en el sketch, de tal forma que realice predicciones basados en los datos de vibración obtenidos en tiempo real.

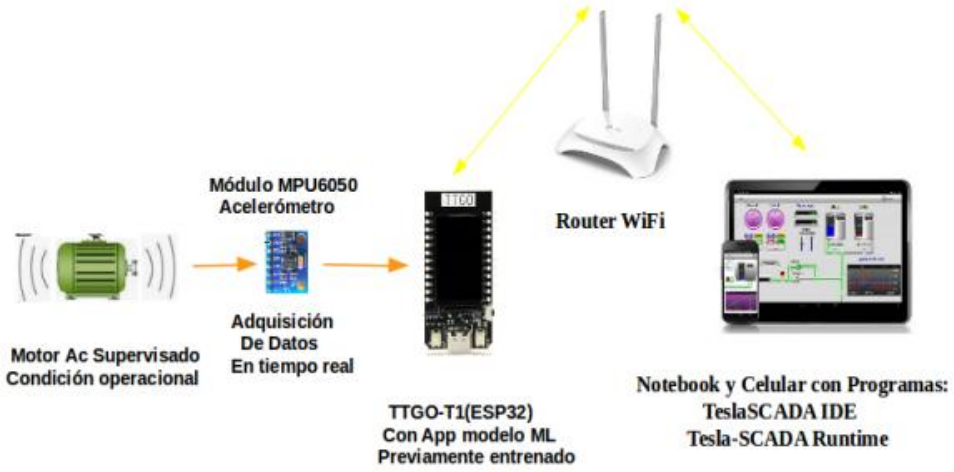
De acuerdo al modelo "model.h" generado en la etapa 3 y requerimientos de la aplicación, se debe seleccionar un módulo microcontrolador compatible con el "model.h".

Una vez seleccionado el microcontrolador, se deben descargar las librerías de hardware y software requeridos para la etapa de compilación.

Normalmente se parte con un sketch simple con datos de test, se realizan predicciones, para verificar que el sketch básico y el "model.h" están OK.

Una vez realizado el paso básico anterior se incorporan todas las funcionalidades requeridas por la aplicación final y se incorporan todos los elementos para la aplicación final, como se muestra en la figura 8.-

Figura 8: Aplicación Final TTGO-T1 que muestra en display y transmite a un Servidor Local o en la nuve el estado operacional de un motor AC.



4. Conclusiones Etapa 1.

El método aquí utilizado, obtención del estado operativo de un motor de CA, es genérico y puede ser utilizados en diferentes contextos tales como: otras máquinas, procesos, fenómenos, etcétera. Cualquier contexto con características ondulatorias. Hay que seleccionar el sensor adecuado y obtener datos bajo diferentes condiciones de operación.

Por ejemplo: para motores eléctricos tenemos diversos sensores para obtener datos de la vibración mecánica del motor:

1.-Sensores que miden las vibraciones mecánicas en la carcasa del motor: desplazamiento, velocidad y aceleración.
2.-Sensores que obtienen las vibraciones mecánicas del motor mediante micrófonos que miden el sonido que genera el motor bajo estudio.
3.-Sensores de la tensión o corriente eléctrica en la cual se manifiestan las vibraciones mecánicas.
4.-Sensores selectivos, que trabajan en un ancho de banda específico, como los sensores de ultrasonidos, utilizados actualmente para la detección de anomalías en rodamientos, mediante el método choque de pulso (The Shock Pulse Method).
Conclusiones Etapa 2.-

Considerando que hay que entregar datos, con característica significativas, al modelo previamente entrenado, es necesario realizar un procesamiento inicial de los datos crudos, el cual lo realiza el microcontrolador utilizado. Los datos se obtienen normalmente en el dominio del tiempo y luego se puede realizar el proceso requerido, entre los cuales tenemos:
1.-Obtención de datos estadísticos en el dominio del tiempo.
2.-Obtención de las componentes en el dominio de la frecuencia, utilizadas en el desarrollo de este capítulo.

3.-Obtención de datos en el dominio de la frecuencia-tiempo utilizando el análisis de wavelet.
Es conveniente realizar un estudio de las herramientas python para generar datos sintéticos a partir de los datos reales obtenidos y utilizarlos en el entrenamiento y evaluación de los modelos seleccionados.

En un estudio preliminar podemos utilizar dataset obtenidos de Internet, generar dataset sintéticos u obtener datos reales directamente del sistema bajo estudio.

Conclusiones Etapa 3.-

Es importante que para los modelos de inteligencia artificial seleccionados existan las librerías de conversión para C++. La utilización de microcontroladores como "Arduino Uno Q" y "Arduino Ventuno Q", permite utilizar los modelos de IA entrenados en "Python" y en tiempo real, lo cual potencia el desarrollo de nuevas aplicaciones.

5. Conclusiones Etapa 4.

El microcontrolador ESP32 contenido en el módulo TTGO-T1 pudo contener y procesar el sketch completo, el cual contenía: inicialización, lectura de las aceleraciones desde el MPU6050, obtención de la FFT, obtención de las predicciones de desbalance, mostrar y transmitir el nivel de desbalance. La memoria RAM disponible en el ESP32 es suficiente para el almacenamiento de los datos crudos, antes de realizar la FFT.

Es recomendable realizar un sketch simple para realizar pruebas iniciales con el modelo convertido a C++. Utilizar datos manuales conocidos, para que realice predicciones de todos los niveles de desbalance.

6. Conclusiones Generales.

En el momento de seleccionar el microcontrolador a utilizar, es necesario revisar en internet los nuevos microcontroladores desarrollados y elegir el más conveniente para la aplicación proyectada. Por ejemplo: la empresa Qualcomm ha desarrollado los módulos "Arduino Uno Q" y "Arduino Ventuno Q" con características especiales para desarrollar aplicaciones de Inteligencia Artificial.

Un punto importante a considerar es el procesamiento inicial, que se realizará a los datos crudos el microcontrolador, antes del proceso de inferir el estado de desbalance del motor AC. En esta aplicación con ESP32 se utilizó la librería "arduinoFFT". Para aplicaciones que se requieran datos estadísticos se puede utilizar la librería "Kurtosis.h". La utilización de microcontroladores como "Arduino Uno Q" y "Arduino Ventuno Q", permite utilizar librerías "Python" en tiempo real, lo cual potencia el desarrollo de la IA en el borde.

El desarrollo de este capítulo es para invitar, a realizar un curso práctico de introducción a la IA, apoyado con experiencias de Laboratorio en cada una de las etapas desarrolladas en el presente capítulo. Normalmente el tiempo para desarrollar un proyecto de orden práctico, como el implementar un dispositivo con IA en el borde, es acotado. Por lo cual se sugiere realizar pruebas de avance con circuitos, programas, sketch, modelos IA, librerías que aún no están comprendidas a cabalidad. Luego que las pruebas entregan resultados hacer análisis para profundizar la comprensión.

7. Referencias bibliográficas

1. Arduino. (s. f.). *Arduino IDE*. https://www.arduino.cc/en/software/

2. Asociación de Directivos. (s. f.). *Machine learning*, inteligencia artificial y big data. https://www.asociaciondedirectivos.org/

3. Bianchi, A., & Falcinelli, A. (2006). *Diagnóstico de fallas mediante el análisis de vibraciones* (2.ª ed.). Nueva Librería.

4. DigiKey. (s. f.). Edge AI. https://www.digikey.com/en/application-technology/edge-ai

5. ElectronicWings. (s. f.). *MPU6050 accelerometer and gyroscope sensor guide with Arduino programming*. https://www.electronicwings.com/sensors-modules/mpu6050-gyroscope-accelerometer-temperature-sensor-module

6. Eloquent Arduino. (s. f.-a). *Arduino machine learning quickstart*. https://eloquentarduino.com/posts/arduino-machine-learning

7. Eloquent Arduino. (s. f.-b). *micromlgen* [Repositorio de código]. GitHub. https://github.com/eloquentarduino/micromlgen
emlearn. (s. f.). *Welcome to emlearn's documentation!*. https://emlearn.readthedocs.io/en/latest/

8. Google. (s. f.). *TensorFlow: Una plataforma integral para el aprendizaje automático*. https://www.tensorflow.org/?hl=es-419

9. Hymel, S. (2020). *Edge AI anomaly detection part 1: Data collection*. DigiKey. https://www.digikey.com/en/maker/projects/edge-ai-anomaly-detection-part-1-data-collection/7bb112f76ef644edaedc5e08dba5faae

10. Jupyter Project. (s. f.). *Project Jupyter*. https://jupyter.org/

11. Klein, B. (s. f.). *Machine learning with Python tutorial* [Tutorial en PDF]. Python Course. https://python-course.eu/books/bernd_klein_python_and_machine_learning_a4.pdf

12. LilyGO. (s. f.). *ESP32-TTGO-T1* [Repositorio de código]. GitHub. https://github.com/LilyGO/ESP32-TTGO-T1

13. MQTT.org. (s. f.). *MQTT: The standard for IoT messaging*. https://mqtt.org/

14. Müller, A. C., & Guido, S. (2016). *Introduction to machine learning with Python*: A guide for data scientists. O'Reilly Media. https://www.oreilly.com/library/view/introduction-to-machine/9781449369880/

15. Nordin, A. (2026a). *Capítulo 4: Desarrollo-anexos* [Documento no publicado]. https://drive.google.com/drive/folders/1wtxAw0plEEFg3OwZs9Vpd1dRCeTqJMNz

16. Nordin, A. (2026b). *Clasificación inteligente de desbalance en motores de corriente alterna mediante la transformada rápida de Fourier (FFT) y modelos de machine learning (ML)* [Trabajo de titulación, institución por confirmar]. https://drive.google.com/drive/folders/1wtxAw0plEEFg3OwZs9Vpd1dRCeTqJMNz

17. NumPy Developers. (s. f.). *NumPy*. https://numpy.org/

18. pandas development team. (s. f.). *pandas documentation*. https://pandas.pydata.org/

19. Royo, J., Rabanaque, G., & Torres, F. (2015). *Análisis de vibraciones e interpretación de datos* [Material académico en PDF]. Universidad de Zaragoza.

20. Scikit-learn Developers. (s. f.). S*cikit-learn: Machine learning in Python*. https://scikit-learn.org/stable/

21. SparkFun Electronics. (s. f.). *I2C bus tutorial*. https://learn.sparkfun.com/tutorials/i2c/all

22. Stokroos, M. (s. f.). *FFTA: Fastest Fourier transform for Arduino* [Repositorio de código]. GitHub. https://github.com/MartinStokroos/FFTA

23. TeslaSCADA. (s. f.). *Downloads*. https://teslascada.com/downloads

24. Universidad de Tarapacá. (s. f.). *Fundamentos wavelets* [Documento en PDF]. https://www.uta.cl/hdiaz/Documents/Fundamentos_Wavelets.pdf

25. Warden, P., & Situnayake, D. (2019). T*inyML: Machine learning with TensorFlow Lite on Arduino and ultra-low-power microcontrollers*. O'Reilly Media. https://www.oreilly.com/library/view/tinyml/9781492052036/

EL USO DE TECNOLOGÍAS EMERGENTES EN LA TRANSFORMACIÓN DEL TRABAJO EN EL SECTOR PÚBLICO: PERCEPCIONES Y DESAFÍOS DE LOS GERENTES EN INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR.

THE USE OF EMERGING TECHNOLOGIES IN TRANSFORMING WORK IN THE PUBLIC SECTOR: PERCEPTIONS AND CHALLENGES OF MANAGERS IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

Camila do Nascimento Brito[1], Elisangela Maria de Brito Pereira[1], Marcelo Moraes Silva, Marcileuda dos Santos Pena[1].

[1]*Universidad Federal de Pará (Camila do Nascimento Brito, camilabrito@ufpa.br; Elisangela Maria de Brito Pereira, britoelisangela702@gmail.com; Marcelo Moraes Silva, marcelomoraes500@gmail.com; Marcileuda dos Santos Pena, marcy.pena.07@gmail.com)*

https://doi.org/10.17613/kp90q-xrk59

Resumen

Este capítulo analiza la adopción de tecnologías emergentes en instituciones públicas de educación superior, donde pueden surgir desafíos e impactos significativos. Por lo tanto, partiendo de la premisa de que la incorporación de estas tecnologías en el sector público no resulta en cambios automáticos, sino en procesos graduales condicionados por factores estructurales, culturales y humanos, la investigación busca comprender cómo los gerentes perciben y responden a los impactos de las tecnologías emergentes en el futuro del trabajo en las instituciones públicas de educación superior. La investigación adopta un método cualitativo, que comprende investigación bibliográfica, entrevistas semiestructuradas con nueve gerentes vinculados a universidades públicas ubicadas en la ciudad de Belém (estado de Pará, Brasil), análisis temático de datos utilizando el software MAXQDA, validación de datos por parte de los entrevistados y la presentación y análisis de los resultados. Los resultados apuntan a oportunidades como mayor eficiencia, productividad e innovación en los procesos administrativos y académicos. Sin embargo, se identificaron barreras significativas: infraestructura tecnológica precaria; presupuesto limitado; capacitación insuficiente; resistencia cultural al cambio; y desigualdad digital entre los empleados. Se concluye que el futuro del trabajo en las universidades públicas investigadas, mediado por las tecnologías emergentes, estará determinado no solo por la disponibilidad tecnológica, sino también por la capacidad institucional para orquestar una transformación multidimensional.

Palabras clave: Tecnologías emergentes, Transformación del trabajo, Instituciones de Educación Superior Públicas.

Abstract:

This chapter discusses the adoption of emerging technologies in public higher education institutions, where significant challenges and impacts may arise. Therefore, starting from the premise that the incorporation of these technologies in the public sector does not result in automatic changes, but in gradual processes conditioned by structural, cultural, and human factors, the research aims to understand how managers perceive and respond to the impacts of emerging technologies on the future of work in public higher education institutions. The research adopts a qualitative method, comprising bibliographic research, semi-structured interviews with nine managers linked to public universities located in the city of Belém (state of Pará, Brazil), thematic data analysis using the MAXQDA software, data validation by the interviewees, and the presentation and analysis of the results. The results point to opportunities such as greater efficiency, productivity, and innovation in administrative and academic processes. However, significant barriers were identified: precarious technological infrastructure; limited budget; insufficient training; cultural resistance to change; and digital inequality among employees. It is concluded that the future of work in the public universities investigated, mediated by emerging technologies, will be shaped not only by technological availability, but also by the institutional capacity to orchestrate a multidimensional transformation.

Keywords: Emerging technologies, Transformation of work, Public Higher Education Institutions.

1. Introducción

La revolución tecnológica en curso, impulsada por innovaciones como la inteligencia artificial (IA), la automatización de procesos, el blockchain y el análisis avanzado de datos, ha provocado transformaciones profundas en las estructuras productivas, en las relaciones laborales y en las formas de gestión en todo el mundo. Estas transformaciones han modificado considerablemente los procesos organizacionales, así como las competencias exigidas a los trabajadores y los modelos de actuación de las organizaciones.

En el sector público, estas transformaciones asumen contornos particularmente complejos, ya que implican no solo ganancias de eficiencia y racionalización administrativa, sino también cuestiones de transparencia, ética, capacitación de los servidores y cambio cultural. Estudios internacionales han destacado que la adopción de tecnologías emergentes (TE) en la administración pública redefine el papel de los servidores, altera los flujos de decisión y exige nuevas competencias gerenciales (Ashok & Madan, 2023; Haug, 2024; Wenzelburger, 2024). Esta transición, aunque prometedora, desafía la capacidad de adaptación de los servidores, especialmente en contextos marcados por estructuras burocráticas rígidas.

La literatura reciente señala que la difusión de estas tecnologías en el ámbito público requiere más que innovación técnica: implica una transformación organizacional y cognitiva por parte de los agentes públicos (Abdullah et al., 2024). Investigaciones sobre Robotic Process Automation (RPA) e inteligencia artificial, por ejemplo, revelan cambios significativos en la naturaleza del trabajo, reduciendo actividades rutinarias y enfatizando funciones analíticas y estratégicas (Vollenberg, 2024). En este escenario, comprender cómo los gestores perciben, implementan y se preparan para tales transformaciones se vuelve esencial para delinear estrategias eficaces de gestión del trabajo futuro, además de evaluar el grado de preparación institucional frente al futuro del trabajo en el sector público. En el contexto brasileño, el debate sobre la transformación digital en el sector público ha ganado fuerza, impulsado por políticas públicas de carácter normativo y por instrumentos operativos de gobierno digital, ante la necesidad de modernización administrativa. En el ámbito normativo, se destacan la Ley n.º 14.129, de 29 de marzo de 2021 (Ley de Gobierno Digital), que instituye la Estrategia Nacional de Gobierno Digital (ENGD)[https://www.gov.br/governodigital/pt-br/estrategias-e-governanca-digital/estrategianacional] y establece directrices generales para la prestación digital de servicios públicos y para el uso de tecnologías en la administración pública; la Estrategia Federal de Gobierno Digital (EFGD 2024-2027)[https://www.gov.br/governodigital/pt-br/estrategias-e-governanca-digital/EFGD], formalizada mediante el Decreto n.º 12.198, de 24 de septiembre de 2024, que define principios, objetivos y prioridades para la transformación digital en el ámbito del Gobierno Federal; así como otras iniciativas como la Estrategia Brasileña para la Transformación Digital (E-Digital) Ciclo 2022-2026[https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/estrategia-digital]; y la Política Nacional de Seguridad de la Información, instituida por el Decreto n.º 12.572, de 4 de agosto de 2025, que buscan desburocratizar e integrar los servicios públicos, haciendo el acceso más simple y eficiente para el ciudadano.

En el ámbito operativo, existen directrices materializadas a través de instrumentos e infraestructuras digitales, como el Programa Conecta GOV.BR[https://www.gov.br/governodigital/pt-br/infraestrutura-nacional-de-dados/interoperabilidade/conecta-gov.br], cuyo objetivo es promover la interope-

rabilidad y el intercambio de datos entre organismos públicos; la Plataforma Gov.br y la Red Gov.br[https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/Decreto/D12069.htm], instituidas por el Decreto n.º 12.069, de 21 de junio de 2024, que concentran servicios digitales, identidad digital y soluciones tecnológicas compartidas. En este sentido, se evidencia que el contexto normativo brasileño se posiciona como un estimulador institucional de la transformación digital, dictando el ritmo y el formato de incorporación de las tecnologías emergentes en el servicio público.

Estudios publicados en la Revista do Serviço Público indican que la implementación de tecnologías emergentes en la administración pública tiene potencial para elevar la eficiencia, optimizar procesos y perfeccionar la prestación de servicios, pero también expone limitaciones relacionadas con la cultura organizacional, la infraestructura tecnológica y la calificación de los servidores (Toledo & Mendonça, 2023; Montezano et al., 2024). Fresneda (2021) y Monteiro (2021) refuerzan que el cambio tecnológico no es neutro: redefine roles, reestructura procesos y exige un rediseño de las competencias y prácticas de gestión. Además, investigaciones recientes sugieren que la transformación digital puede ser tanto un vector de innovación como un campo de tensiones organizacionales, dependiendo de la capacidad de liderazgo y de la gobernanza tecnológica de cada institución (Araujo et al., 2025).

En el caso específico de las instituciones públicas de educación superior, este proceso de transformación digital presenta matices propios. La digitalización incide no solo en la gestión administrativa y académica, sino también en la cultura institucional, en los procesos de decisión y en el trabajo docente y técnico-administrativo. En la Región Metropolitana de Belém do Pará, donde coexisten instituciones federales y estatales, la implementación de tecnologías emergentes enfrenta desafíos relacionados con la infraestructura, la capacitación técnica y la integración entre diferentes niveles de gobierno, lo que resalta la complejidad de este estudio en el entorno analizado.

A pesar de los avances en las discusiones normativas y teóricas sobre la transformación digital en el sector público, se percibe una laguna de investigación relacionada con la comprensión empírica de las percepciones de los gestores públicos respecto a los impactos del uso de tecnologías emergentes sobre el trabajo, especialmente en contextos institucionales específicos, como el de las instituciones públicas de educación superior ubicadas en realidades regionales marcadas por heterogeneidades organizacionales y estructurales entre niveles de gobierno.

Bajo esta perspectiva, el presente estudio tiene como objetivo comprender cómo los gestores públicos perciben y responden a los impactos de las tecnologías emergentes en el trabajo del futuro en el sector público, evaluando sus percepciones sobre el uso de tecnologías emergentes para la modernización del trabajo en el contexto de las instituciones públicas brasileñas de educación superior. Se infiere que la transformación del trabajo en las instituciones públicas ocurre de manera gradual y condicionada, y no como resultado automático de la introducción de tecnologías emergentes.

Para ello, se busca identificar las percepciones de oportunidades y riesgos asociados a la adopción de estas tecnologías, investigar estrategias de capacitación y adaptación de los procesos de trabajo, así como mapear políticas o iniciativas ya implementadas para apoyar la transformación digital. Con un enfoque cualitativo y exploratorio-descriptivo, la investigación pretende ofrecer contribuciones tanto teóricas como prácticas al debate sobre la modernización de la gestión pública, especialmente en contextos regionales e institucionales como el de las universidades públicas de Belém (PA).

El capítulo se estructura de la siguiente manera: esta introducción; el marco teórico, que destaca los principales desafíos, oportunidades y actores involucrados en la implementación de tecnologías emergentes para la mejora de la gestión de instituciones de educación superior; la metodología; la presentación y discusión de los resultados; y, finalmente, la conclusión.

2. Marco Teórico

Para el análisis de los datos, la investigación desarrolla su repertorio teórico abordando aspectos relevantes para el uso institucionalizado de las tecnologías emergentes, con el fin de favorecer la comprensión de las percepciones de los gestores en el contexto universitario público, involucrando la relación de estas tecnologías con los cambios en el trabajo, sus desafíos, oportunidades, aspectos éticos y de gobernanza. A continuación, se presentan las subsecciones que estructuran esta discusión.

2.1. Las tecnologías emergentes y la transformación del trabajo

La transformación radical del mundo del trabajo está siendo impulsada por los desarrollos más recientes de las tecnologías en el ámbito de la robótica y de la inteligencia artificial (IA), entendidas como la "Cuarta Revolución Industrial". Esta revolución presenta características particulares que se reflejan en la considerable reducción del nivel de empleo en todo el mundo, revelando impactos estructurales en las relaciones laborales. La emergencia de la automatización por medio de la robótica y la IA, con la creciente sustitución del trabajo humano por máquinas, alcanza no solo a la industria, sino también a sectores de servicios, como la educación superior o la salud, sustituyendo empleos caracterizados por trabajo repetitivo, poco calificado y físicamente exigente, y, más recientemente, ejecutando tareas consideradas calificadas (Ford, 2016; Teles & Caldas, 2019), lo que amplía el alcance de estas transformaciones más allá de las áreas tradicionalmente industrializadas.

En el escenario de las instituciones de educación superior, los investigadores han constatado el potencial de soluciones inteligentes para la mejora del trabajo o de la gestión en estos entornos. Sun, Yang y Du (2025) exploran la integración de la IA con el análisis de big data para la evaluación y mejora de la calidad total de la educación universitaria, demostrando el papel de estas tecnologías en el apoyo a la toma de decisiones. Yang (2022) analiza la aplicación de la tecnología blockchain como medio de supervisión eficaz de la gestión financiera académica. Villegas, Palacios-Pacheco y Román-Cañizares (2020) proponen un modelo de Internet de las Cosas (IoT) capaz de interactuar con la administración universitaria para mejorar tanto la gestión de la reserva de espacios como la seguridad institucional. Aunque estos estudios investigan recursos distintos, todos convergen en un punto común al demostrar el uso de tecnologías emergentes como instrumentos de apoyo a la gestión universitaria.

Los autores destacan el aumento de la eficiencia y de la eficacia operativa, la reducción de problemas potenciales en los procesos operativos, la mejora del trabajo de los funcionarios, quienes pasaron a evitar tareas repetitivas o consideradas de bajo valor, y el desarrollo de nuevas competencias y habilidades. Estos efectos fortalecen la percepción de que el uso de la tecnología no implica solo ganancias operativas, sino también la reorganización del contenido del trabajo.

Desde una perspectiva holística, las tecnologías emergentes poseen la capacidad de impactar profundamente a las Instituciones de Educación Superior, incluso en sus objetivos fundamentales, ya que implican cambios en la planificación estratégica y en la toma de decisiones (Schenatz et al., 2019). El uso de tecnologías emergentes permite mejoras en los procesos de gestión, por ejemplo, cuando el big data y el analytics favorecen la toma de decisiones, organizando y estructurando grandes volúmenes de datos dispersos en diferentes fuentes para construir y presentar información calificada (Castelo, 2019). Sin embargo, para el uso institucionalizado de estas tecnologías, los gestores deben identificar, en primer lugar, sus desafíos y oportunidades para el área pretendida, reconociendo que la transformación del trabajo no ocurre automáticamente con la introducción de la tecnología.

2.2. Desafíos y oportunidades de las tecnologías emergentes en el trabajo público universitario

La implementación de tecnologías emergentes en las universidades públicas no se restringe a la adopción de herramientas digitales; se trata de un proceso de transformación organizacional que afecta tanto a los sistemas técnicos como a los humanos. Las oportunidades derivadas de la digitalización incluyen la modernización de los procesos administrativos, la innovación, el aumento de la eficiencia operativa, la mejora de la transparencia y de la rendición de cuentas institucional, así como la promoción de nuevos modelos híbridos de enseñanza y aprendizaje. Los sistemas integrados de información permiten una mayor trazabilidad de las decisiones y amplían la participación social, especialmente cuando se asocian a plataformas de datos abiertos y herramientas de comunicación interactiva (Toledo & Mendonça, 2023), enfatizando la función de la tecnología como instrumento de fortalecimiento institucional.

En el caso de las universidades públicas brasileñas, la digitalización ha sido impulsada por iniciativas gubernamentales como la Estrategia Federal de Gobierno Digital (EFGD 2024-2027) y el Plan de Transformación Digital de la Educación Superior (Ministerio de Educación, 2023), que buscan ampliar la integración entre los sistemas de gestión, promover la interoperabilidad de datos e incentivar prácticas de innovación abierta. No obstante, la heterogeneidad estructural entre instituciones federales y estatales hace que la implementación de estas políticas ocurra de manera desigual, reflejando disparidades regionales en infraestructura y calificación técnica (Araujo et al., 2025; Fresneda, 2021), condicionando los resultados de la transformación digital.

En este sentido, Mendes et al. (2025) y Oliveira et al. (2025) relacionan desafíos culturales, estructurales y humanos en la implementación de estas tecnologías en la gestión pública, observables en el contexto de la gestión de las IES, tales como: infraestructura de TI insuficiente o inexistente; cultura organizacional basada en una burocracia arraigada y en la resistencia al cambio; capacitación de los servidores y formación de los gestores no siempre eficaces para atender las demandas digitales; además de cuestiones éticas, seguridad de la información, barreras culturales derivadas de la desigualdad digital entre los miembros de la comunidad académica y limitaciones de financiamiento para inversiones digitales.

2.2.1. Desafíos estructurales y organizacionales

Uno de los principales obstáculos para la implementación efectiva de las tecnologías emergentes en las universidades públicas es la infraestructura tecnológica desigual. En muchas instituciones, los sistemas de información son fragmentados, obsoletos o incompatibles entre sí, lo que dificulta la integración de datos y la automatización de los procesos administrativos. La ausencia de redes robustas, de seguridad de la información y de soporte técnico continuo compromete la sostenibilidad de las innovaciones digitales (Mendes et al., 2025), estableciendo barreras para la consolidación de estas iniciativas.

Además, existe el desafío de modernizar la gobernanza institucional. Las universidades públicas, históricamente estructuradas bajo una lógica burocrática, enfrentan dificultades para conciliar normas rígidas con las demandas de agilidad y experimentación inherentes a la transformación digital. La dependencia de procesos manuales y la rigidez de las rutinas administrativas limitan la adopción de soluciones basadas en la automatización y en la inteligencia artificial (Montezano et al., 2024), poniendo de relieve la necesidad de ajustes institucionales.

El financiamiento también puede representar un factor limitante. La implementación de tecnologías emergentes requiere inversiones significativas no solo en infraestructura, sino también en capacitación humana y en el mantenimiento continuo de los sistemas. El escenario presupuestario restringido de las universidades públicas brasileñas constituye un factor limitante para la consolidación de estrategias digitales sostenibles (Fresneda, 2021), influyendo en la difusión de las iniciativas tecnológicas.

La resistencia cultural al cambio también dificulta la innovación de los procesos de trabajo. Sánchez-Huamán et al. (2023) señalan que los cambios organizacionales pueden generar resistencias y desafíos, tanto individuales como colectivos, produciendo comportamientos no deseados, ya que involucran factores psicológicos, sociales y organizacionales. Para superar estas resistencias, se recomiendan estrategias de gestión del cambio organizacional, tales como: comunicación abierta, clara y transparente; participación de los funcionarios en el proceso de cambio; implementación de incentivos y recompensas; y provisión de capacitación y desarrollo adecuado de habilidades (Bravo Rojas et al., 2021; Sánchez-Huamán et al., 2023).

En las acciones estratégicas de capacitación y desarrollo de habilidades, la formación de competencias digitales específicas relacionadas con las nuevas tecnologías surge como un desafío relevante. Dichas competencias se concretan mediante el desarrollo de múltiples habilidades, que abarcan la información, la comunicación, la creación de contenidos, la seguridad y la resolución de problemas (Ferreira et al., 2021). Bianchini et al. (2020) advierten que las competencias digitales son esenciales para el desempeño de las funciones públicas y para la mejora de la calidad del sector público, ya que posibilitan transformaciones creativas e innovadoras que contribuyen a una mayor eficiencia, agilidad de los procesos y transparencia organizacional. Como marco de referencia para el desarrollo de competencias digitales, los autores señalan el Digital Competence Framework for Citizens, que contempla áreas como "Alfabetización en información y datos" y "Comunicación y colaboración".

En este sentido, el papel del liderazgo se vuelve central. Los gestores públicos con mentalidad digital, capaces de articular la innovación tecnológica, la visión estratégica y los valores públicos, son fundamentales para mediar las tensiones entre la tradición burocrática y la cultura de la innovación

(Wenzelburger, 2024). El liderazgo adaptativo permite no solo impulsar proyectos tecnológicos, sino también involucrar a los servidores y estimular el aprendizaje organizacional, transformando la innovación digital en un proceso colaborativo y continuo. No obstante, los beneficios solo se concretarán cuando exista una alineación estratégica entre la tecnología, la cultura institucional y las competencias de los servidores (Costa et al., 2024).

2.2.2. Desafíos humanos y culturales

La transformación digital en las universidades públicas exige cambios comportamentales y cognitivos. La resistencia a la innovación, típica de entornos fuertemente jerarquizados, es uno de los obstáculos más citados en la literatura (Oliveira & Andrade, 2025). Muchos servidores aún perciben las tecnologías como amenazas a la estabilidad laboral o como instrumentos que amplían el control y reducen la autonomía profesional, lo que refuerza posturas defensivas frente al cambio.

En este sentido, resulta fundamental redefinir la cultura organizacional, incentivando valores de colaboración, aprendizaje continuo y apertura a lo nuevo. La formación de competencias digitales, especialmente entre gestores y equipos técnicos, es una condición esencial para el éxito de la transformación (Costa et al., 2024). Las capacitaciones puntuales y desarticuladas tienden a producir resultados limitados; lo que se requiere es una estrategia institucional de desarrollo digital articulada con planes de carrera y de evaluación del desempeño.

Adicionalmente, existe el desafío de la desigualdad digital interna, ya que no todos los servidores poseen el mismo nivel de familiaridad o acceso a las tecnologías. Esta asimetría tiende a generar exclusión informacional y, en algunos casos, resistencia pasiva a la adopción de nuevos sistemas (Machado & Lima, 2024).

2.2.3. Aspectos éticos y de gobernanza tecnológica

El uso de tecnologías emergentes, especialmente aquellas basadas en inteligencia artificial, big data y automatización, introduce nuevos dilemas éticos en la gestión pública universitaria. Las cuestiones relacionadas con la protección de datos personales, la transparencia de los algoritmos y la responsabilidad por las decisiones automatizadas deben incorporarse a los marcos regulatorios internos de las universidades (Machado & Lima, 2024), bajo el riesgo de comprometer la credibilidad institucional.

La ausencia de políticas claras de gobernanza de datos puede generar riesgos para la privacidad de la comunidad académica y debilitar los procesos de toma de decisiones. Además, el uso de herramientas basadas en Inteligencia Artificial (IA) en procesos administrativos y académicos requiere supervisión humana calificada, a fin de garantizar que se preserven los principios de equidad, imparcialidad y ética pública (Haug, 2024).

Por ello, las universidades públicas necesitan asegurar una gobernanza tecnológica robusta, sustentada en políticas institucionales claras, mecanismos de monitoreo y evaluación de resultados,

y alianzas con el sector privado y la sociedad civil. Este enfoque sistémico puede garantizar que la adopción de tecnologías emergentes no se limite a una moda técnica, sino que se convierta en un instrumento efectivo de mejora de la gestión y del servicio público educativo.

3. Metodología

Para el logro de los objetivos de la investigación, se seleccionó el método cualitativo, cuyas etapas se describen en las subsecciones siguientes.

3.1. Delineamiento y enfoque de la investigación

El presente estudio adopta un enfoque cualitativo, de naturaleza exploratoria y descriptiva, adecuado para la investigación de fenómenos sociales complejos, contemporáneos y aún en proceso de consolidación teórica, como los impactos de las tecnologías emergentes en la transformación del trabajo en el sector público (Creswell & Poth, 2018; Flick, 2019). La investigación cualitativa posibilita una comprensión profunda de los significados, percepciones e interpretaciones construidas por los actores sociales, aspecto fundamental para analizar cómo los gestores públicos perciben, interpretan y responden a los cambios tecnológicos en el contexto institucional.

El carácter exploratorio se justifica por la necesidad de ampliar el conocimiento sobre la transformación del trabajo impulsada por tecnologías emergentes en instituciones públicas de educación superior, especialmente en contextos regionales aún poco explorados en la literatura. Simultáneamente, el carácter descriptivo permite sistematizar e interpretar las percepciones de los gestores en relación con las oportunidades, los desafíos, los riesgos y los cambios organizacionales derivados de la adopción de estas tecnologías (Gil, 2019).

Desde el punto de vista de los procedimientos técnicos, la investigación combina investigación bibliográfica e investigación de campo. La etapa bibliográfica fundamentó la construcción del marco teórico y subsidió la elaboración del guion de entrevistas, mientras que la investigación de campo posibilitó la recolección de datos empíricos primarios junto a los gestores públicos.

3.2. Contexto de la investigación y participantes

La investigación se llevó a cabo en instituciones públicas de educación superior ubicadas en la región metropolitana de Belém, en el estado de Pará, abarcando cuatro universidades federales y estatales. Este contexto regional se caracteriza por heterogeneidades institucionales, limitaciones estructurales y diferentes niveles de madurez digital, lo que lo hace particularmente relevante para el análisis de las dinámicas de transformación digital en el sector público (Fresneda, 2021; Araujo et al., 2025). Los participantes del estudio fueron gestores públicos que ocupan cargos estratégicos los adminis-

trativos, con actuación directa o indirecta en procesos decisorios, gestión organizacional o iniciativas relacionadas con la transformación digital. La selección de los participantes siguió un muestreo intencional, estrategia ampliamente utilizada en investigaciones cualitativas para la elección de casos informacionalmente ricos y alineados con los objetivos del estudio (Patton, 2015).

Los criterios de inclusión consideraron: (a) ocupación de cargo de gestión o liderazgo; (b) experiencia en actividades administrativas, académicas o estratégicas; y (c) involucramiento con procesos de innovación, digitalización o uso de tecnologías en el ámbito institucional. Participaron en la investigación nueve gestores, número considerado adecuado para garantizar profundidad analítica y alcanzar la saturación temática en estudios cualitativos (Guest et al., 2014).

3.3. Instrumento y procedimientos de recolección de datos

La recolección de datos se realizó en el período comprendido entre el 26 de noviembre y el 19 de diciembre, mediante entrevistas semiestructuradas, técnica que combina flexibilidad y sistematización, permitiendo explorar temas previamente definidos sin restringir la emergencia de nuevas perspectivas a partir de los discursos de los participantes (Kvale & Brinkmann, 2015).

El guíon de entrevistas se elaboró con base en el marco teórico y se organizó en bloques temáticos, contemplando: (i) percepciones sobre tecnologías emergentes; (ii) adopción e implementación tecnológica; (iii) desafíos estructurales y culturales; (iv) capacitación y competencias digitales; (v) cultura organizacional y resistencia a la innovación; (vi) liderazgo y gobernanza tecnológica; y (vii) futuro del trabajo e innovación pública.

Las entrevistas fueron previamente programadas y realizadas de manera individual en entornos adecuados, con el fin de garantizar privacidad y comodidad a los participantes. Antes del inicio de la recolección, los gestores fueron informados sobre los objetivos de la investigación, la voluntariedad de la participación y la garantía de anonimato. Con el consentimiento de los participantes, las entrevistas fueron grabadas en audio y posteriormente transcritas en su totalidad, asegurando la fidelidad al contenido original de los discursos.

3.4. Procedimientos de análisis de los datos

Los datos cualitativos fueron analizados mediante el análisis temático, siguiendo un proceso sistemático e iterativo, conforme a lo propuesto por Braun y Clarke (2006). El análisis comprendió las siguientes etapas: (1) familiarización con los datos, mediante lecturas sucesivas de las transcripciones; (2) codificación inicial del material; (3) identificación de temas potenciales; (4) revisión y refinamiento de los temas; (5) definición y denominación de las categorías temáticas; y (6) elaboración de la interpretación analítica.

Inicialmente, se realizó una preanálisis con el objetivo de organizar el corpus, identificar unidades de sentido recurrentes y mapear convergencias y divergencias en las percepciones de los gestores.

Se adoptaron tanto categorías deductivas, derivadas del marco teórico y de los objetivos de la investigación (como oportunidades, desafíos, competencias digitales y gobernanza tecnológica), como categorías inductivas, emergentes directamente del material empírico.

Para apoyar la organización, codificación y sistematización de los datos, se utilizó el software MAXQDA Analytics Pro 2020 (versión R20.4.0), ampliamente empleado en investigaciones cualitativas en las ciencias sociales. El uso del software contribuyó a una mayor transparencia analítica, trazabilidad de las categorías y consistencia en el tratamiento de los datos (Knaflic, 2018).

3.5. Validez y confiabilidad de la investigación

Con el fin de asegurar la calidad, validez y confiabilidad de los resultados, se adoptaron estrategias metodológicas reconocidas en la investigación cualitativa (Lincoln & Guba, 1985). Se destaca, inicialmente, la realización de validación con los participantes (member checking), mediante el intercambio de síntesis interpretativas de las entrevistas, lo que permitió verificar la adherencia de las interpretaciones a las percepciones expresadas por los gestores.

Además, el uso de un guion de entrevistas teóricamente fundamentado, la descripción detallada de los procedimientos metodológicos y la utilización de software especializado fortalecieron la consistencia analítica y la dependencia del estudio. El registro sistemático de las etapas del análisis contribuyó a la auditabilidad del proceso de investigación.

3.6. Consideraciones éticas

La investigación observó los principios éticos aplicables a estudios con seres humanos. Todos los participantes fueron informados sobre los objetivos del estudio, la naturaleza voluntaria de la participación y el derecho a desistir en cualquier momento, sin perjuicio alguno, mediante el término de consentimiento libre e informado, firmado por los participantes. El anonimato y la confidencialidad de la información fueron garantizados mediante la omisión de datos identificables y el uso de códigos en la presentación de los resultados.

4. Resultados principales

La Tabla 1 resume los principales temas, categorías, descripciones analíticas y datos empíricos extraídos de los relatos de los encuestados, lo que permite una visualización integrada de los hallazgos de la investigación.

Tabla 1: Resultados

Temas	Código	Descripción del código	Datos empíricos (Citas)
Competencias digitales emergentes más valoradas para la transformación del trabajo *Recuento MAXQDA: 10*	Análisis de datos (BI / Ciencia de Datos)	Capacidad para analizar e interpretar datos con el fin de apoyar la toma de decisiones estratégicas.	"Entonces, corresponderá a las personas saber analizar, interpretar estos datos […]" (p. 5)
	Seguridad de la información	Proteger los datos institucionales y mitigar riesgos.	"Profundo conocimiento en Seguridad de la Información […], pues la protección de datos se convertirá en una responsabilidad diaria y transversal a todas las áreas" (p. 8)
	Inteligencia artificial	Habilidades y uso de la IA de forma ética y responsable en el trabajo.	"[...] la inteligencia artificial, en mi percepción, va a tener una de las mayores fuerzas, […] las herramientas serán más utilizadas de

			aquí en adelante” (p. 5)
Implementación de las tecnologías emergentes – Barreras estructurales y organizacionales *Recuento MAXQDA: 37*	Infraestructura tecnológica precaria	Limitaciones de conectividad, sistemas lentos o indisponibles.	“[...] hay problemas de capacidad de memoria, indisponibilidad del sistema, caída de internet […]” (p. 46)
	Presupuesto limitado	Insuficiencia de recursos financieros para inversiones digitales.	“[La institución] queda limitada a la disponibilidad de recursos, de presupuesto” (p. 43).
	Capacitación limitada	Pocos cursos y entrenamientos, sin una planificación adecuada.	“Efectivización de la capacitación para que sepamos cómo y dónde aplicar el uso de estas innovaciones” (p. 37)

Implementación – Barreras humanas y culturales *Recuento MAXQDA: 12*	Acomodación cultural	Preferencia por métodos conocidos, aunque sean menos eficientes.	“[...] la familiaridad con procesos manuales antiguos crea una zona de confort” (p. 14)
	Desigualdad digital	No todos los servidores poseen el mismo nivel de familiaridad o acceso a las tecnologías.	“70 años, por ejemplo, en ese rango de 50 y 60 años, y que terminan, no, no tuvieron una formación, una vivencia en la tecnología” (p. 14)
	Cultura organizacional	Basada en una burocracia arraigada y en la resistencia al cambio.	“Resistencia cultural al cambio de procesos establecidos, especialmente la transición al ‘papel cero’” (p. 40)
Políticas institucionales y gobernanza tecnológica *Recuento MAXQDA: 14*	Plan de desarrollo del personal	Planificación de las demandas de capacitación para alcanzar los objetivos institucionales.	“[...] plan institucional, las personas ya presentan demandas en esa línea” (p. 24)

Fuente: Cavieres, E. 2024

	Gobernanza tecnológica	Directrices y prácticas, procesos y estructuras para la alineación de las tecnologías con los objetivos de la institución.	“Factores facilitadores centrales son las directrices y el suministro de sistemas estandarizados por el Gobierno Federal” (p. 25)
Percepciones de oportunidades con el uso de tecnologías emergentes *Recuento MAXQDA: 8*	Eficiencia y productividad	Reducción del tiempo dedicado a tareas y optimización de recursos.	“[...] aumenta la productividad y la efectividad de las actividades diarias” (p. 18)
Percepciones de impacto en el trabajo público *Recuento MAXQDA: 6*	Transformación del perfil del trabajo	Menos tareas manuales y mayor integración digital.	“Entonces, creo que con estas nuevas tecnologías, principalmente la inteligencia artificial, se volverá mucho más fácil; estas informaciones serán generadas de forma personalizada” (p. 49)

Elaboración propia.

Esta investigación identificó las principales competencias, barreras y oportunidades percibidas por los gestores en el proceso de implementación de tecnologías digitales en el servicio público. Los resultados indican que las competencias más valoradas para el futuro del trabajo en el servicio público son la capacidad de análisis de datos para sustentar decisiones estratégicas, la seguridad de la información y el uso de la inteligencia artificial. Tales competencias apuntan a una reorientación del trabajo público hacia actividades de mayor complejidad analítica, integradas y apoyadas por tecnologías digitales emergentes, lo que indica una expectativa creciente de modernización de las prácticas administrativas.

No obstante, los resultados muestran un desajuste entre las competencias consideradas necesarias y las condiciones existentes para su consolidación efectiva. La implementación de tecnologías emergentes enfrenta desafíos humanos y organizacionales significativos, expresados en la resistencia cultural al cambio, la preferencia por métodos tradicionales de trabajo y la desigualdad digital existente entre servidores de diferentes generaciones y niveles de familiaridad tecnológica. Tales factores señalan que la transformación digital no ocurre de manera lineal u homogénea, estando marcadamente influenciada por aspectos culturales y por las trayectorias profesionales de los servidores públicos. Desde el punto de vista estructural, los principales obstáculos identificados se refieren a la capacitación limitada y sin planificación sistemática, a la infraestructura tecnológica precaria —marcada por problemas de conectividad, sistemas lentos o indisponibles— y a las restricciones presupuestarias para inversiones digitales. Los relatos destacan de forma recurrente que las barreras a la transformación digital no se limitan al ámbito individual, sino que evidencian limitaciones institucionales que afectan directamente la capacidad de adopción y uso cualificado de las tecnologías digitales emergentes.

A pesar de estos obstáculos, los gestores reconocen oportunidades relevantes asociadas al uso de tecnologías digitales emergentes, fundamentalmente en lo que respecta al aumento de la eficiencia y de la productividad institucional. La reducción del tiempo dedicado a tareas repetitivas y la optimización del uso de recursos son reconocidas como beneficios potenciales del proceso de digitalización. En este escenario, iniciativas como los planes de desarrollo del personal y los mecanismos de gobernanza tecnológica son entendidos como pasos relevantes para viabilizar la transformación digital, aunque su implementación efectiva dependa de una mayor articulación y continuidad organizacional.

En cuanto a los impactos en el servicio público, la investigación señala la percepción de una transformación del perfil de las actividades desempeñadas en el trabajo, marcada por la reducción de tareas manuales y por una mayor integración digital de los procesos. De forma concomitante con este proceso de transformación digital, surge la preocupación por posibles sustituciones de funciones y reducción de personal debido a la automatización, coexistiendo con expectativas de mejoras en la productividad institucional asociadas al uso de las nuevas tecnologías digitales.

En síntesis, el estudio señala la necesidad de desarrollar competencias digitales específicas y de superar barreras culturales y estructurales para que el potencial de eficiencia relacionado con la transformación digital pueda ser efectivamente aprovechado en el sector público. Los resultados del estudio indican que las transformaciones en el mundo del trabajo no ocurren automáticamente con la introducción de tecnologías digitales emergentes, sino que dependen de decisiones institucionales, así como de inversiones en capacitación y de estrategias que consideren todas las dimensiones institucionales, incluidos los desafíos humanos y éticos implicados en el proceso.

5. Conclusión

Este estudio buscó comprender las percepciones de gestores de instituciones públicas de educación superior sobre los impactos de las tecnologías emergentes en el futuro del trabajo, analizando las oportunidades, los desafíos y las competencias involucradas en esta transformación. La investigación, fundamentada en el marco teórico que aborda la reconfiguración del trabajo impulsada por la Cuarta Revolución Industrial, confirmó que tecnologías como la Inteligencia Artificial, el análisis de datos y la automatización son percibidas como vectores potenciales de ganancias de eficiencia, productividad y modernización de la gestión universitaria.

Sin embargo, los resultados empíricos evidencian que la materialización de este potencial está severamente condicionada por un conjunto complejo de barreras. Los hallazgos destacan un marcado desajuste entre las competencias digitales consideradas esenciales —como el análisis de datos, la seguridad de la información y el uso ético de la inteligencia artificial (IA)— y las condiciones estructurales y organizacionales para su desarrollo. Los desafíos estructurales, en particular la infraestructura tecnológica precaria, la limitación presupuestaria y la capacitación discontinua, emergen como obstáculos primarios. Paralelamente, los desafíos humanos y culturales, como la resistencia al cambio, la acomodación a procesos manuales y la desigualdad digital entre generaciones de servidores, actúan como poderosos frenos a la adopción y asimilación efectiva de las innovaciones.

La investigación demuestra que la transformación digital en el sector público universitario no es un proceso técnico-lineal, sino un fenómeno profundamente social e institucional. La existencia de políticas y marcos normativos de incentivo, por sí sola, no garantiza la transformación. Esta depende críticamente de un liderazgo capacitado, de una gobernanza tecnológica robusta y, sobre todo, de una estrategia integrada que articule de forma coherente: inversión en infraestructura, programas sistemáticos de desarrollo de competencias digitales, gestión del cambio organizacional y la construcción de una cultura de innovación que enfrente las resistencias arraigadas.

Como recomendaciones para futuras investigaciones, basadas en las limitaciones y en los hallazgos de este estudio, se sugiere que investigaciones futuras puedan: (I) ampliar el alcance geográfico e institucional, replicando el estudio en otras regiones del país e incluyendo otras unidades federativas, con el fin de comparar la influencia de contextos regionales y distintos modelos de gestión en la percepción y en la implementación de las tecnologías; (II) investigar perspectivas no gerenciales, centrándose en las percepciones de servidores técnico-administrativos y docentes, con el objetivo de comprender los impactos de la transformación digital en todas las esferas del trabajo universitario y captar tensiones y receptividades que pueden no ser visibles desde el nivel gerencial; (III) desarrollar estudios longitudinales o de seguimiento de casos específicos de implementación tecnológica, para analizar la evolución de las barreras y de los facilitadores a lo largo del tiempo y medir los efectos reales (y no solo percibidos) sobre la productividad y la calidad del trabajo; y (IV) profundizar en temas específicos que emergieron como críticos, tales como: modelos de gobernanza de datos e inteligencia artificial (IA) en el sector público educativo; estrategias pedagógicas efectivas para la capacitación digital de servidores de diferentes generaciones; y análisis de costo-beneficio e impacto presupuestario de la modernización de la infraestructura tecnológica.

En síntesis, se concluye que el futuro del trabajo en las universidades públicas brasileñas, mediado por tecnologías emergentes, estará moldeado no solo por la disponibilidad tecnológica, sino por la capacidad institucional de orquestar una transformación multidimensional. Se espera que este trabajo, al mapear percepciones y desafíos en un escenario regional específico, contribuya tanto al debate académico como a la formulación de políticas institucionales más asertivas, además de señalar caminos fecundos para la continuidad de la investigación científica sobre este tema crucial para la modernización del Estado.

6. Referencias bibliográficas

1. Abdullah, E. M. E., Masdar, M. H., & Halim, M. A. A. (2024). Digital technology and public sector performance: A systematic review. *Government Information Quarterly, 41*(1), 45–68.

2. American Psychological Association. (2020). *Publication manual of the American Psychological Association* (7th ed.).

3. Araujo, A. B. S., Brito, B. O. S., Guimarães, V. S., Oliveira, F. M., & Castro, M. M. B. (2025). Transformação digital no setor público brasileiro: Uma abordagem teórica sobre o impacto inovador e transformador de sua adoção. *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, 11*(1), 1–11. https://doi.org/10.61164/rmnm.v11i1.4037

4. Bianchini, L. D., Silva, M. A. A., Silva, M. M. D., & Dufloth, S. C. (2020). Competências digitais no campo de públicas: A formação de gestores públicos do século XXI. *Revista NAU Social, 11*(20), 21–36.

5. Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology, 3*(2), 77–101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

6. Bravo Rojas, L. M., Egusquiza Rodriguez, M. J., Paz Campaña, A. E., & Huamani Alhuay, E. F. (2021). Cambio cultural y resistencias en entornos organizativos. *Revista Venezolana de Gerencia, 26*(5), 404–416.

7. Castelo, D. A. (2019). *Tecnologias emergentes e gestão universitária: Desafios e perspectivas no ensino superior brasileiro*. Atlas.

8. Costa, R. M., Moura, L. S., & Silva, J. P. (2024). Competências digitais na administração pública: Um modelo para universidades públicas. *Cadernos de Gestão e Inovação Pública, 6*(2), 45–63.

9. Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (4th ed.). SAGE Publications.

10. Ferreira, M., Rurato, P. A. L., & Calvosa, M. V. D. (2021, October 4–8). *Competências digitais do século 21 e habilidades em TICs: Uma análise bibliométrica* [Conference presentation]. XLV EnANPAD – Encontro da ANPAD, Curitiba, Brasil.

11. Flick, U. (2019). *An introduction to qualitative research* (6th ed.). SAGE Publications.

12. Ford, M. (2016). *Robôs: A ameaça de um futuro sem emprego*. Bertrand.

13. Fresneda, P. S. V. (2021). Transformando organizações públicas: A tecnologia da informação como fator propulsor de mudanças. R*evista do Serviço Público, 72*(4), 551–575.

14. Gil, A. C. (2019). *Métodos e técnicas de pesquisa social* (7ª ed.). Atlas.

15. Guest, G., Namey, E., & Saldaña, J. (2014). Collecting and analyzing qualitative data at scale. In G. Guest, E. Namey, & M. Mitchell (Eds.), *Collecting and analyzing qualitative data* (pp. 3–19). SAGE Publications.

16. Haug, N. (2024). Digitally-induced change in the public sector: Framework and implications for public administration. *Public Management Review, 26*(3), 410–429.

17. Knaflic, C. N. (2018). S*torytelling with data: A data visualization guide for business professionals*. Wiley.

18. Kvale, S., & Brinkmann, S. (2015). I*nterViews: Learning the craft of qualitative research interviewing* (3rd ed.). SAGE Publications.

19. Lei nº 14.129, de 29 de março de 2021. (2021). *Diário Oficial da União.* https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/l14129.htm

20. Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. SAGE Publications.

21. Machado, A. R., & Lima, D. C. (2024). Desigualdade digital e ética no uso de tecnologias na gestão pública. R*evista Brasileira de Administração Pública, 59*(1), 101–123.

22. Madan, R., & Ashok, M. (2023). AI adoption and diffusion in public administration: Opportunities and challenges. *Public Administration Review, 83*(6), 1284–1301.

23. Mendes, P. H. S., Bastos, A. S. M., Silva, F. N., Santos, C. L. T., Brito, C. R., Silva, D. C. V. S., . . . Oliveira, S. F. (2025). Administração pública: Uma revisão bibliográfica sobre a importância das tecnologias emergentes para a eficiência da gestão estatal. *Revista DCS, 22*(81), 1–11. https://ojs.revistadcs.com/index.php/revista/article/view/3280

24. Ministério da Educação. (2023). *Plano de transformação digital da educação superior.* MEC.

25. Ministério da Gestão e da Inovação em Serviços Públicos. (2025). *Estratégia Nacional de Governo Digital*. Governo Federal. https://www.gov.br/governodigital/pt-br/estrategias-e-governanca-digital/estrategianacional

26. Monteiro, L. F. (2021). Desafios para a transformação digital no setor público brasileiro. *Revista do Tribunal de Contas da União, 53*(147), 25–41.

27. Montezano, L., França, J. V., Russo, D., & Duarte, C. C. (2024). Inovação tecnológica na administração pública: Estudo de caso sobre os benefícios do Programa Brasil MAIS pela Polícia Federal. *Revista do Serviço Público, 75*(4), 789–808.

28. Oliveira, M. D. S., Silva, V. T. M., Lima, C., Rebouças, F. A. C. F., Figueiredo, F. F. S., Andrade, R. N., . . . Rodrigues, A. P. (2025). Inovações tecnológicas na administração pública e as contribuições das tecnologias emergentes para a gestão estatal. *Revista DCS, 22*(81), 1–14. https://ojs.revistadcs.com/index.php/revista/article/view/3279

29. Oliveira, R. J., & Andrade, V. S. (2025). Resistência cultural e transformação digital na administração pública. *Revista Brasileira de Gestão Pública, 13*(3), 289–309.

30. Patton, M. Q. (2015). *Qualitative research & evaluation methods* (4th ed.). SAGE Publications.

31. Sánchez-Huamán Huamán, Y. D. S., Miranda, C. A. V., Flores, J. A., & Neyra-Huamani, L. (2023). Gestión del cambio organizacional en la Administración Pública. *Revista Venezolana de Gerencia, 28*(10), 1126–1139.

32. Schenatz, S., Cunha, M. A., & Kugler, J. (2019). Gestão estratégica e tecnologias emergentes no ensino superior. *Revista Brasileira de Educação Superior, 4*(1), 57–72.

33. Sun, X., Yang, Y., & Du, Q. (2025). Advancing total quality management in higher education through AI and big data analytics. *Total Quality Management & Business Excellence, 36*(9–10), 896–918.

34. Teles, N., & Caldas, J. C. (2019). Tecnologia e trabalho no século XXI: Uma proposta de abordagem. *Cadernos do Observatório*, (12), 1–35.

35. Toledo, T., & Mendonça, C. (2023). A aplicação da inteligência artificial na busca de eficiência pela administração pública. *Revista do Serviço Público, 74*(3), 421–439.

36. Villegas-Ch, W., Palacios-Pacheco, X., & Román-Cañizares, M. (2020). An Internet of Things model to improve process management on university campuses. *Future Internet, 12*(10), 162. https://doi.org/10.3390/fi12100162

37. Vollenberg, C., Hackl, J., Matthies, B., & Coners, A. (2024). Acceptance of RPA in public sector institutions. *Journal of Public Administration and Technology, 8*(2), 112–129. https://doi.org/10.1080/10919392.2024.2365446

38. Wenzelburger, G. (2024). Algorithms in the public sector: Why context matters. *Public Policy and Administration, 39*(1), 57–74.

39. Yang, G. X. (2022). Optimization of university financial services using the blockchain technology. *Scientific Programming*.

7. Notas:

1 https://www.gov.br/governodigital/pt-br/estrategias-e-governanca-digital/estrategianacional

2 https://www.gov.br/governodigital/pt-br/estrategias-e-governanca-digital/EFGD

3 https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/estrategia-digital

4 https://www.gov.br/governodigital/pt-br/infraestrutura-nacional-de-dados/interoperabilidade/conecta-gov.br

5 https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/Decreto/D12069.htm

CONECTIVIDAD AVANZADA Y TRABAJO DEL FUTURO: NUEVOS MODELOS LABORALES EN CHILE Y AMÉRICA LATINA

ADVANCED CONNECTIVITY AND THE FUTURE OF WORK: NEW LABOR MODELS IN CHILE AND LATIN AMERICA

Felipe Gallardo Domínguez.[1]

[1]*Universidad de Santo Tomás, Santiago, Chile (felipegallardomi@santotomas.cl)*

https://doi.org/10.17613/nkt2k-1br27

Resumen

El capítulo examinó el papel de la conectividad avanzada, compuesta por fibra óptica, 5G y conectividad satelital de nueva generación, como factor estructural en la configuración de nuevos modelos laborales en Chile y América Latina. A partir de una revisión sistemática de literatura académica y documental, complementada con un análisis comparado de experiencias internacionales y datos recientes, se analizó cómo estas infraestructuras redujeron costos de coordinación, facilitaron la expansión del teletrabajo, impulsaron la economía de plataformas e incorporaron territorios históricamente marginados al proceso de digitalización. Los resultados evidenciaron que el teletrabajo, que antes de 2020 representaba apenas un 0,6 % de los asalariados en Chile, alcanzó un 20,3 % en su punto más alto durante la pandemia, para luego descender a un 4,2 % en 2023 y situarse en torno al 3,2 % en mayo de 2024. Esta evolución reflejó tanto el potencial de la conectividad avanzada como las limitaciones derivadas de brechas estructurales persistentes. Asimismo, se constató que las tecnologías emergentes promovieron la creación de perfiles en áreas de alta demanda, como ciberseguridad, servicios en la nube, analítica de datos e Internet de las Cosas (IoT), y aceleraron procesos de reconversión laboral en sectores tradicionales. El aporte distintivo del capítulo consistió en trasladar los debates globales sobre digitalización y empleo al contexto latinoamericano, mostrando cómo la conectividad avanzada actúa de forma simultánea como habilitador de inclusión y generador de nuevas desigualdades. Se concluyó que, aunque constituye una condición necesaria para un futuro del trabajo inclusivo, su impacto positivo depende de la implementación de políticas públicas activas, estrategias empresariales adaptativas y programas de formación continua que potencien sus beneficios y mitiguen sus riesgos.

Palabras clave: conectividad avanzada; 5G; modelos laborales; trabajo del futuro

Abstract:

The chapter examined the role of advanced connectivity, comprising fiber optics, 5G, and next-generation satellite systems, as a structural factor in shaping new labor models in Chile and Latin America. Based on a systematic review of academic and documentary literature, complemented by a comparative analysis of international experiences and recent data, it analyzed how these infrastructures reduced coordination costs, facilitated the expansion of telework, fostered platform-based economies, and integrated historically marginalized territories into the digitalization process. The results showed that telework, which before 2020 accounted for only 0.6% of Chilean employees, rose to 20.3% during the pandemic, then declined to 4.2% in 2023 and approximately 3.2% in May 2024. This evolution reflected both the potential of advanced connectivity and the limitations imposed by persistent structural gaps. Likewise, emerging technologies were found to create high-demand occupational profiles, such as cybersecurity, cloud services, data analytics, and the Internet of Things (IoT), while accelerating labor reconversion processes in traditional sectors. The distinctive contribution of the chapter lies in translating global debates on digitalization and employment into the Latin American context, demonstrating how advanced connectivity acts simultaneously as an enabler of inclusion and a source of new inequalities. It was concluded that, while advanced connectivity represents a necessary condition for an inclusive future of work, its positive impact depends on the implementation of active public policies, adaptive business strategies, and continuous training programs aimed at enhancing its benefits and mitigating associated risks.

Keywords: advanced connectivity; 5G; labor models; future of work.

1. Introducción

La transformación digital constituye uno de los procesos más relevantes de las últimas décadas, pues ha reconfigurado la organización del trabajo, la estructura de los mercados y la dinámica de las relaciones laborales a escala global. En este contexto, la conectividad avanzada se consolida como un habilitador esencial de la nueva economía del conocimiento, al posibilitar la ejecución de actividades intensivas en información, distribuidas territorialmente y sostenidas mediante colaboración en tiempo real (ITU, 2021; OCDE, 2020). El crecimiento de la fibra óptica, junto con la introducción del 5G y la evolución de la conectividad satelital moderna, conforman actualmente la infraestructura esencial para el desarrollo del teletrabajo, los modelos híbridos y la economía digital.

La crisis sanitaria provocada por el COVID-19 demostró de forma tangible la relevancia de la infraestructura digital. En el caso chileno, el teletrabajo, que antes de 2020 alcanzaba solo un 0,6 % del empleo asalariado, creció hasta cerca del 20 % durante los meses de confinamiento, para luego estabilizarse en torno al 4,2 % en 2023 y descender al 3,2 % en mayo de 2024 (OCEC UDP, 2023; SUBTRAB, 2023; Clapes UC, 2024). Esta evolución refleja tanto la capacidad del ecosistema digital para sostener el empleo en escenarios de crisis como las limitaciones estructurales persistentes asociadas a la brecha digital, la desigualdad territorial y la insuficiente preparación institucional.

Desde la perspectiva académica, la literatura reciente ha demostrado que la digitalización no destruye necesariamente empleo, sino que reconfigura las tareas y desplaza el valor hacia competencias cognitivas de mayor complejidad (Autor, 2015; Acemoglu & Restrepo, 2019). En consecuencia, la conectividad avanzada debe entenderse no solo como una infraestructura técnica, sino como un determinante estructural del desarrollo social y económico, capaz de redefinir la forma en que se trabaja, quién participa y en qué condiciones se distribuyen las oportunidades laborales.

El propósito de este capítulo es examinar los mecanismos mediante los cuales la conectividad avanzada impulsa la creación de nuevos modelos laborales en Chile y América Latina, identificando tanto las oportunidades como las restricciones que emergen de su implementación. Las preguntas que guían el análisis son:

1. ¿De qué manera contribuyen la fibra óptica, el 5G y la conectividad satelital a la expansión de modalidades laborales flexibles?

2. ¿Qué efectos tienen estas tecnologías en la inclusión territorial y en la reducción de desigualdades?

3. ¿Qué competencias se vuelven críticas para el trabajo del futuro?

El valor distintivo de este estudio radica en trasladar los debates globales sobre digitalización y empleo al contexto latinoamericano, demostrando que la conectividad avanzada actúa simultáneamente como motor de inclusión y generador de nuevas desigualdades. Este enfoque reconoce que la infraestructura tecnológica, aunque indispensable, resulta insuficiente sin políticas de asequibilidad, alfabetización digital y reconversión laboral que aseguren un desarrollo equitativo. De este modo, el capítulo no solo sintetiza tendencias internacionales, sino que propone una lectura situada que aporta insumos para el diseño de políticas públicas y estrategias empresariales orientadas al trabajo del futuro.

Finalmente, este análisis dialoga directamente con el eje del libro "Tecnologías emergentes y trabajo del futuro", al sostener que la conectividad avanzada constituye una condición necesaria, aunque no suficiente, para garantizar que las transformaciones digitales se traduzcan en un mercado laboral más productivo, inclusivo y sostenible. El aporte se sitúa, por tanto, en un plano innovador, al articular evidencia empírica, teorías consolidadas y definiciones operativas aplicadas al caso chileno y latinoamericano, abriendo líneas para futuras investigaciones y decisiones estratégicas en materia de empleo, conectividad y desarrollo digital.

2. Antecedentes teóricos y/o empíricos

2.1. Conectividad avanzada: definiciones y dimensiones

La conectividad avanzada representa la base estructural de los entornos laborales digitales contemporáneos. Más que disponer de conexión a internet, implica asegurar un acceso de calidad superior y asequible, con alta velocidad y disponibilidad, que permita mantener interacciones simultáneas y de gran complejidad entre individuos, organizaciones y plataformas tecnológicas (ITU, 2021; OCDE, 2020). En este sentido, la conectividad avanzada representa una infraestructura inteligente, donde la velocidad, la estabilidad y la calidad del servicio determinan la posibilidad real de participar en la economía digital.

Este ecosistema descansa en tres pilares tecnológicos complementarios, que en conjunto permiten articular una red laboral global sin precedentes:

1.Fibra óptica (backbone, backhaul y FTTH/B): reconocida por su alta capacidad de transmisión simétrica y baja latencia, constituye la columna vertebral del ecosistema digital. Su escalabilidad permite soportar aplicaciones críticas como la telemedicina, las videoconferencias de alta definición y los entornos de colaboración en tiempo real, fundamentales para el trabajo distribuido (OCDE, 2020).

2.5G en modalidad Standalone: representa un salto cualitativo en la evolución de las redes móviles, al incorporar innovaciones como la segmentación virtual de redes (network slicing) y la latencia ultra baja (menor a 5 milisegundos). Estas características habilitan la movilidad empresarial, el Internet de las Cosas (IoT) a gran escala y los casos de uso industriales en tiempo real, ampliando el alcance de la conectividad hacia sectores productivos estratégicos (GSMA, 2022).

3.Las constelaciones satelitales de órbita baja y media: amplían la cobertura hacia áreas rurales, extremas y marítimas, reduciendo de manera notable la latencia en comparación con tecnologías previas. Este avance impulsa la integración digital de regiones antes marginadas y fortalece la equidad territorial dentro de los procesos de transformación digital (CEPAL, 2022).

El análisis de estas tecnologías requiere considerar cuatro dimensiones técnicas fundamentales:

1.Ancho de banda, que define la capacidad de transferencia de datos y condiciona la eficiencia en entornos colaborativos.

2.Latencia y jitter, determinantes para las aplicaciones críticas y la comunicación en tiempo real.

3.Disponibilidad (SLA), entendida como la estabilidad y continuidad del servicio, indispensable para operaciones permanentes.

4.Cobertura y asequibilidad, que establecen los límites sociales y económicos del acceso equitativo. En conjunto, estas variables explican la transición desde una conectividad básica, limitada y asincrónica, hacia un modelo de conectividad avanzada, caracterizado por entornos laborales intensivos en información y cooperación digital. Entre estos entornos se encuentran la coedición en la nube, la virtualización de escritorios, la telepresencia y la aplicación de inteligencia artificial en el borde (edge computing) (Hilbert, 2016).

Tabla 1: Tecnologías de conectividad avanzada y sus aplicaciones laborales

Tecnología	Velocidad estimada	Latencia promedio	Cobertura	Costo relativo	Usos laborales habilitados
Fibra óptica	100 Mbps – 1 Gbps (escalable)	5–10 ms	Urbana y rural en expansión	Bajo–medio	Teletrabajo estable, servicios en la nube, videoconferencias de alta definición, analítica de datos
5G (Standalone)	100 Mbps – 10 Gbps	<5 ms	Principalmente urbana	Medio–alto	IoT industrial, movilidad empresarial, telemedicina, automatización en tiempo real
Conectividad satelital LEO/MEO	50–250 Mbps	25–50 ms	Cobertura global, rural y extrema	Alto	Inclusión territorial, educación a distancia, soporte remoto y teleasistencia

Fuente: Elaboración propia a partir de ITU (2021), GSMA (2022) y CEPAL (2022)

La Tabla 1 muestra que cada tecnología presenta ventajas y limitaciones específicas, lo que hace necesario implementar estrategias de integración complementaria para garantizar cobertura y calidad de servicio. A continuación, se sintetizan sus principales características y alcances en función de su aplicación en distintos contextos territoriales:

1.La fibra óptica es la opción más eficiente para zonas urbanas densamente pobladas, donde la demanda de ancho de banda y estabilidad es mayor.

2.El 5G, en su modalidad Standalone, ofrece movilidad, baja latencia y capacidad para procesos industriales en tiempo real.

3.La conectividad satelital de nueva generación, por su parte, amplía el alcance hacia territorios rurales o extremos, promoviendo inclusión territorial y equidad digital.

En conjunto, estos sistemas conforman un ecosistema de conectividad convergente, indispensable para el desarrollo sostenible del trabajo digital en Chile y América Latina.

2.2. Marco conceptual: tecnología y empleo

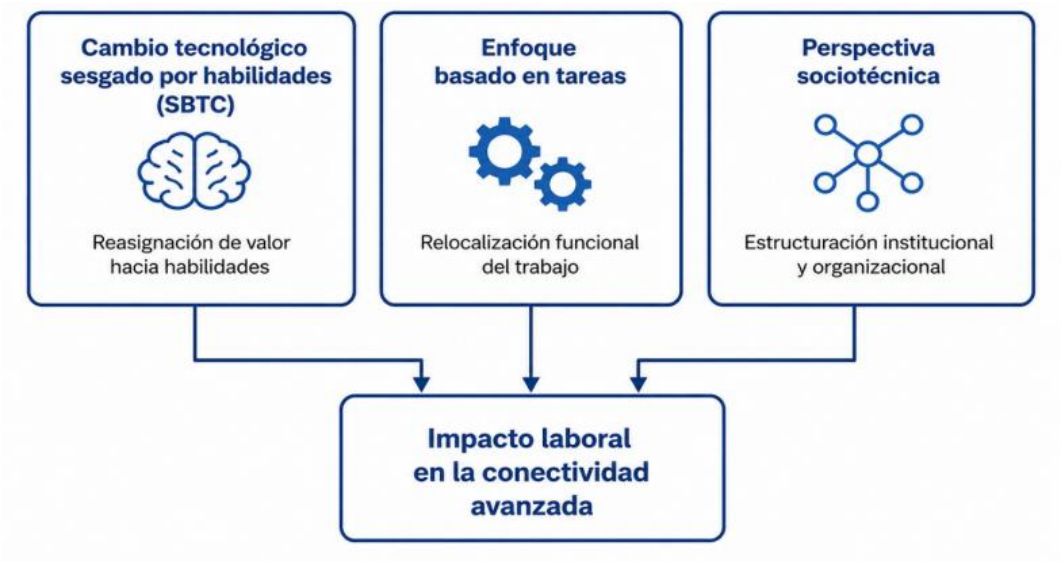
El impacto de la conectividad avanzada sobre el empleo ha sido estudiado desde distintos marcos teóricos que buscan explicar cómo la tecnología reconfigura la estructura ocupacional y los procesos laborales. Tres enfoques resultan especialmente relevantes por su capacidad de describir la transformación del trabajo en la era digital:

1.Cambio tecnológico sesgado por habilidades (Skill-Biased Technological Change, SBTC): este enfoque sostiene que la digitalización no destruye empleos de manera uniforme, sino que redefine su composición interna. Las tareas rutinarias, fácilmente automatizables, pierden relevancia, mientras que las competencias cognitivas y digitales avanzadas ganan valor estratégico, impulsando una polarización del mercado laboral (Autor, 2015). Así, la conectividad avanzada potencia esta dinámica al facilitar la expansión de sectores intensivos en conocimiento, como la analítica de datos, la ciberseguridad o la ingeniería de software.

2.Enfoque basado en tareas: propone que las tecnologías permiten fragmentar y relocalizar procesos productivos en tareas específicas que pueden ejecutarse de forma remota o en ubicaciones con ventajas comparativas. La conectividad avanzada habilita fenómenos como el teletrabajo transnacional, los servicios de BPO nearshore, entendidos como la externalización de procesos empresariales hacia países o territorios cercanos con afinidad horaria, cultural o geográfica, y la expansión de una gig economy cualificada, entendida como un mercado laboral basado en trabajos independientes, temporales o por proyecto, coordinados principalmente mediante plataformas digitales. En este contexto, el valor ya no reside solo en el puesto físico, sino en la tarea desempeñada (Acemoglu & Restrepo, 2019).

3.Perspectiva sociotécnica: plantea que la tecnología no actúa en aislamiento, sino que su impacto depende de las estructuras organizacionales, los marcos regulatorios y las capacidades sociales que la acompañan (Baxter & Sommerville, 2011). De esta forma, la conectividad avanzada solo genera desarrollo sostenible cuando se articula con políticas de alfabetización digital, liderazgo adaptativo y diseño organizacional orientado a la innovación.

Figura 1: Marcos conceptuales sobre conectividad y empleo



Fuente: Elaboración propia a partir de Autor (2015), Acemoglu & Restrepo (2019) y Baxter & Sommerville (2011)

Como se muestra en la Figura 1, estos tres enfoques no son excluyentes, sino complementarios. Mientras el SBTC explica la reasignación del valor hacia habilidades complejas, el enfoque basado en tareas muestra la relocalización funcional del trabajo, y la perspectiva sociotécnica enfatiza la necesidad de estructuras institucionales y organizacionales que acompañen los procesos tecnológicos.

2.3. Mecanismos causales que vinculan conectividad y nuevos modelos laborales

Los mecanismos a través de los cuales la conectividad avanzada transforma el trabajo son múltiples y abarcan tanto la dimensión tecnológica como la organizacional y social. A continuación, se sintetizan los principales vectores de cambio identificados en la literatura:

1.Reducción de costos de coordinación: la baja latencia y la alta estabilidad permiten el desarrollo de entornos laborales distribuidos en tiempo real, reduciendo fricciones de comunicación y facilitando operaciones colaborativas como centros NOC (Network Operation Center) o SOC (Security Operation Center).

2.Virtualización y deslocalización de servicios: la conectividad avanzada posibilita el acceso remoto a aplicaciones críticas (ERP, CAD, WMS, VDI), lo que da origen a modalidades de teletrabajo e híbridos productivos que amplían el alcance operativo de las organizaciones.

3.Economía de plataformas: las plataformas digitales B2B, B2C y B2G se sustentan en redes robustas que garantizan la interoperabilidad y el matching eficiente entre oferta y demanda laboral, permitiendo la ejecución remota de servicios profesionales, técnicos y administrativos.

4.Nuevas fronteras de inclusión: la conectividad satelital de nueva generación integra territorios históricamente marginados al mercado digital, facilitando la inserción laboral de comunidades rurales, extremas o insulares.

5.Incremento de productividad: el mayor ancho de banda y la menor latencia mejoran la calidad de la colaboración y permiten la integración de tecnologías de automatización e inteligencia artificial, elevando la eficiencia operativa y reduciendo tiempos de ciclo.

Figura 2: Mecanismos de impacto de la conectividad avanzada en el trabajo



Fuente: Elaboración propia a partir de ITU (2021), OCDE (2020), Hilbert (2016), CEPAL (2022), GSMA (2022), ILO (2021) y De Stefano (2016)

La Figura 2 muestra que los efectos de la conectividad se expresan tanto en la dimensión organizacional, mediante la reducción de costos, el aumento de la productividad y la virtualización de procesos, como en la dimensión social, a través de la inclusión de nuevos territorios, grupos y modelos de trabajo.

2.4. Evidencia empírica global y regional

La literatura especializada y los principales informes institucionales son consistentes en destacar que la expansión de la infraestructura digital ejerce un impacto directo sobre la estructura del empleo y la configuración de nuevas oportunidades laborales:

1.La penetración de la fibra óptica y del 5G mantiene una alta correlación con el aumento del teletrabajo y la diversificación de los empleos digitales, al facilitar la prestación de servicios basados en la nube, la colaboración en tiempo real y la movilidad del conocimiento (OCDE, 2020).

2.El despliegue de redes 5G impulsa la aparición de nuevos perfiles técnicos y profesionales asociados al Internet de las Cosas (IoT), la automatización industrial y el mantenimiento predictivo, consolidando un ecosistema laboral cada vez más tecnológicamente interdependiente (GSMA, 2022).

3.La conectividad satelital de nueva generación (LEO/MEO) promueve la integración de comunidades rurales y apartadas al mercado digital, extendiendo la cobertura a zonas históricamente exclui-

das; sin embargo, la asequibilidad continúa siendo una barrera estructural que limita su adopción masiva (CEPAL, 2022).

4.Persisten brechas de acceso y uso vinculadas a desigualdades territoriales, socioeconómicas, de género y edad, las cuales condicionan la capacidad efectiva de la población para beneficiarse de las oportunidades laborales que ofrece la digitalización (Hilbert, 2016; ILO, 2021).

Los datos empíricos indican que la infraestructura digital funciona como requisito fundamental, aunque por sí sola no garantiza un desarrollo laboral equitativo. En los contextos donde las inversiones tecnológicas se acompañan de políticas de inclusión, programas de alfabetización digital y fortalecimiento de habilidades, los impactos en el empleo tienden a ser más positivos y sostenibles; en cambio, en contextos desprovistos de estos instrumentos, la digitalización tiende a reproducir e incluso amplificar las desigualdades estructurales existentes.

2.5. Brechas y riesgos para gestionar

La expansión de la conectividad avanzada, aunque representa un pilar esencial para la transformación laboral, no ha eliminado las desigualdades estructurales que caracterizan al mercado digital. De hecho, los beneficios de la digitalización tienden a distribuirse de manera desigual entre territorios, sectores y grupos sociales. En este sentido, las brechas digitales constituyen el principal desafío para alcanzar un desarrollo inclusivo del trabajo del futuro, ya que condicionan tanto el acceso como la calidad del empleo.

A partir de la evidencia revisada, se identifican cinco tipos de brechas y riesgos laborales que deben ser gestionados simultáneamente para garantizar que la conectividad avanzada opere como un factor de equidad y no de exclusión. La siguiente tabla resume sus principales manifestaciones empíricas y los impactos laborales asociados.

Tabla 2: Brechas digitales y riesgos laborales asociados

Tipo de brecha o riesgo	Manifestación empírica	Impacto laboral asociado
Acceso	Hogares y pymes sin cobertura o con costos elevados	Exclusión digital de trabajadores rurales y de microempresas
Calidad	Latencia o jitter inestables; baja disponibilidad del servicio	Productividad desigual en entornos de teletrabajo crítico
Habilidades	Déficit de competencias TIC, idiomas y alfabetización digital	Dificultad para acceder a empleos remotos y de alto valor agregado
Riesgos laborales	Precarización en plataformas digitales y exposición a ciberamenazas	Inseguridad contractual y tecnológica; aumento del estrés laboral
Desigualdad territorial	Concentración de infraestructura en polos urbanos y zonas de alto ingreso	Exclusión de comunidades periféricas y pérdida de oportunidades regionales

Fuente: Elaboración propia a partir de OCDE (2020), Hilbert (2016), CEPAL (2021, 2022) e ILO (2021)

La Tabla 2 evidencia que las brechas digitales trascienden la mera dimensión tecnológica. No se limitan al acceso o la cobertura, sino que abarcan factores estructurales relacionados con la calidad del servicio, las competencias disponibles y los marcos institucionales que regulan la transformación digital del trabajo.

El riesgo laboral asociado a la digitalización se manifiesta, por tanto, en distintos planos: desde la desigualdad en la productividad derivada de conexiones inestables, hasta la precarización contractual y tecnológica en entornos de plataforma, donde la protección social resulta insuficiente.

Gestionar estas brechas requiere políticas públicas integrales que combinen inversión en infraestructura, programas de formación y reconversión laboral, incentivos a la innovación y marcos regulatorios robustos que garanticen seguridad, privacidad y equidad en el acceso a las oportunidades digitales. Solo de esta manera la conectividad avanzada podrá consolidarse como un motor inclusivo y sostenible del empleo en América Latina.

2.6. Definiciones operativas

Con el fin de mantener la consistencia analítica y garantizar la comparabilidad de los resultados, se adoptan las siguientes definiciones operativas, las cuales permiten traducir un fenómeno complejo en variables observables y criterios verificables:

1.Conectividad avanzada (CA): se entiende como la provisión de acceso digital de alto desempeño, que garantiza velocidades iguales o superiores a 100 Mbps efectivos, latencia y jitter adecuados para aplicaciones críticas, una disponibilidad mínima del 99 % y un nivel de asequibilidad que permita su adopción por hogares, pymes e instituciones públicas.

2.Modelos laborales habilitados por la CA: comprenden modalidades de teletrabajo, esquemas híbridos y servicios deslocalizados, como Business Process Outsourcing (BPO), soporte remoto o desarrollo colaborativo (DevOps), que dependen de infraestructura digital robusta para su operación continua y segura.

3.Inclusión territorial: se define como la incorporación sostenida de trabajadores y pymes rurales o periféricas a actividades digitales, medida en función de la permanencia, el nivel de ingresos y la capacidad de actualización tecnológica (World Bank, 2021).

Estas definiciones permiten operacionalizar los conceptos centrales del estudio, facilitando su aplicación empírica y la comparación entre distintos contextos nacionales y regionales. Asimismo, establecen una base metodológica coherente con los objetivos de investigación y con la literatura internacional sobre conectividad, empleo y desarrollo digital.

2.7. Variables e indicadores sugeridos

Con el propósito de orientar el análisis empírico, los resultados del capítulo se estructuran a partir de un conjunto de variables e indicadores que permiten vincular de manera sistemática la conectividad avanzada con la dinámica laboral digital. Estas variables se agrupan en tres dimensiones interdependientes:

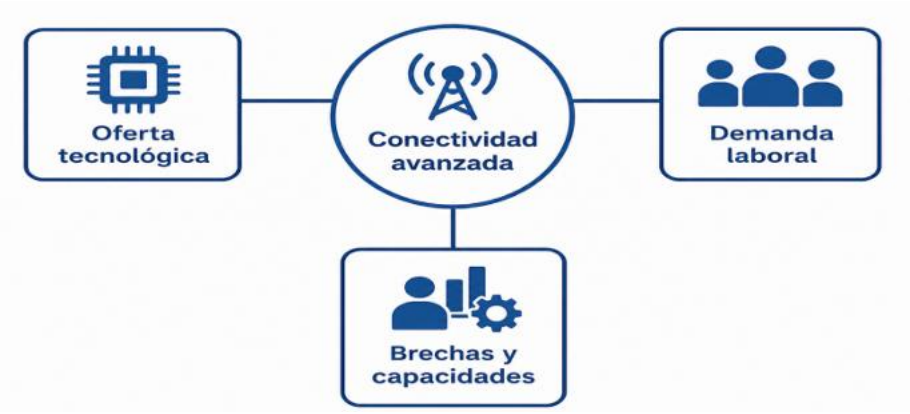
1.Oferta tecnológica: comprende indicadores de cobertura de fibra óptica, 5G y conectividad satelital por región, la velocidad efectiva de conexión, la tasa de incidencias del servicio y los costos totales de acceso. Esta dimensión permite evaluar la capacidad técnica instalada y las condiciones de infraestructura que sustentan la digitalización del trabajo.

2.Demanda y uso laboral: considera el porcentaje de trabajadores en modalidad de teletrabajo o híbrido según sector económico, la aparición de ocupaciones digitales emergentes, la participación de pymes digitalizadas y los indicadores de productividad laboral (tiempos de ciclo, tickets resueltos, eficiencia operativa).

3.Brechas y capacidades: incorpora los índices de brecha digital (acceso, calidad y uso), los niveles de alfabetización y certificación digital (TIC) y las diferencias de género, edad y territorio que condicionan la adopción y aprovechamiento equitativo de la conectividad avanzada.

En conjunto, estas variables permiten integrar el análisis tecnológico, social y productivo, ofreciendo una base empírica robusta para comprender cómo la infraestructura digital, la capacitación y las políticas públicas interactúan en la conformación de los nuevos modelos laborales en Chile y América Latina.

Figura 3: Categorías y variables de análisis



Fuente: Elaboración propia a partir de OCDE (2020), CEPAL (2021), SUBTEL (2023) e ILO (2021)

Como se observa en la Figura 3, existe una interdependencia entre oferta tecnológica, demanda laboral y capacidades digitales. Esto evidencia que la infraestructura por sí sola no genera transformación productiva; solo cuando existe demanda efectiva y capital humano especializado, el efecto de la conectividad se traduce en empleo de calidad y sostenibilidad social.

2.8. Hipótesis de trabajo

A partir del análisis teórico y empírico desarrollado, se proponen las siguientes hipótesis de trabajo, orientadas a examinar la relación entre conectividad avanzada y transformación del empleo en el contexto latinoamericano:

- Hipótesis 1: Una mayor calidad de conectividad, medida por el ancho de banda, la latencia y la fiabilidad del servicio, se asocia positivamente con la adopción de modalidades de teletrabajo e híbridas, al mejorar la estabilidad y eficiencia de los entornos digitales colaborativos.

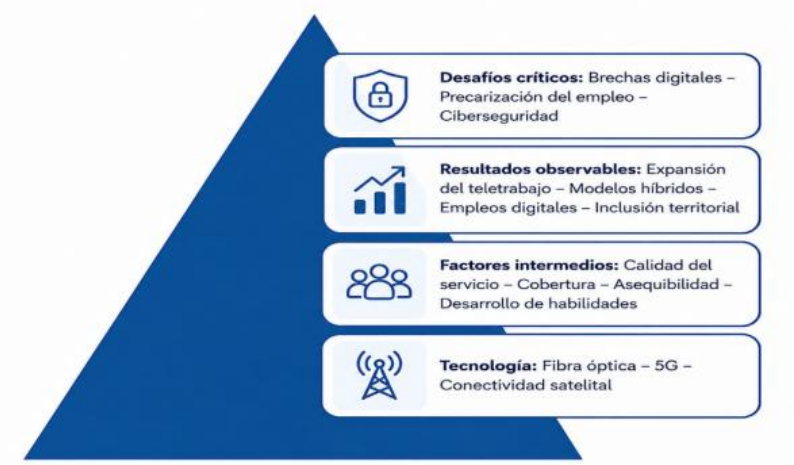
- Hipótesis 2: La combinación tecnológica entre fibra óptica y 5G se correlaciona con una mayor diversificación de ocupaciones digitales locales, al ampliar la base productiva y los servicios intensivos en conocimiento.

- Hipótesis 3: La cobertura satelital de nueva generación en zonas rurales y extremas incrementa la participación de trabajadores y pymes en cadenas de valor de servicios remotos, contribuyendo a la inclusión territorial.

- Hipótesis 4: Los niveles medios y superiores de alfabetización digital moderan positivamente el efecto de la conectividad avanzada sobre los ingresos laborales, potenciando la calidad del empleo y la movilidad social (Acemoglu & Restrepo, 2019; ILO, 2021).

Estas hipótesis orientan la investigación hacia un enfoque exploratorio y propositivo, en el cual la conectividad avanzada no se analiza únicamente como infraestructura técnica, sino como variable causal clave del futuro del trabajo, capaz de incidir en la productividad, la equidad y la sostenibilidad del empleo digital.

Figura 4: Relación entre conectividad avanzada, brechas digitales y nuevos modelos laborales



Fuente: Elaboración propia a partir de ITU (2021), OCDE (2020), GSMA (2022), CEPAL (2022)

Como se muestra en la Figura 4, la conectividad avanzada opera como eje estructurante de los nuevos modelos laborales. En la base de la pirámide se ubican los tres pilares tecnológicos: fibra óptica, 5G y conectividad satelital de nueva generación, los cuales actúan como habilitadores principales del ecosistema digital.

Estos pilares interactúan con factores intermedios, como la calidad del servicio, la cobertura, la asequibilidad y el desarrollo de habilidades, los cuales condicionan los resultados laborales observables: expansión del teletrabajo, consolidación de modelos híbridos, surgimiento de empleos digitales e inclusión territorial.

Finalmente, se destacan los desafíos críticos que determinan la sostenibilidad del proceso en el tiempo: brechas digitales, precarización del empleo en entornos de plataforma y riesgos de ciberseguridad. Estos elementos constituyen los principales límites estructurales de la transformación digital del trabajo.

3. Metodología

El capítulo se desarrolló bajo un enfoque cualitativo–descriptivo, orientado a analizar de manera crítica la relación entre la conectividad avanzada y los nuevos modelos laborales en Chile y América Latina. Este enfoque resulta pertinente dada la naturaleza compleja, dinámica y multidimensional del fenómeno, que combina aspectos tecnológicos, económicos y sociales. Por ello, se privilegió una aproximación interpretativa centrada en la comprensión de significados, más que en la verificación experimental (Creswell & Poth, 2018).

La metodología adoptada no se limitó a describir hechos observables, sino que buscó identificar patrones, relaciones y mecanismos causales que vinculan la expansión de la infraestructura digital con las transformaciones del empleo. Desde esta perspectiva, el análisis cualitativo permitió integrar evidencia empírica, teoría consolidada y datos institucionales, otorgando al estudio un carácter exploratorio y propositivo, orientado a la generación de conocimiento aplicable a políticas públicas y estrategias organizacionales.

3.1. Diseño de investigación

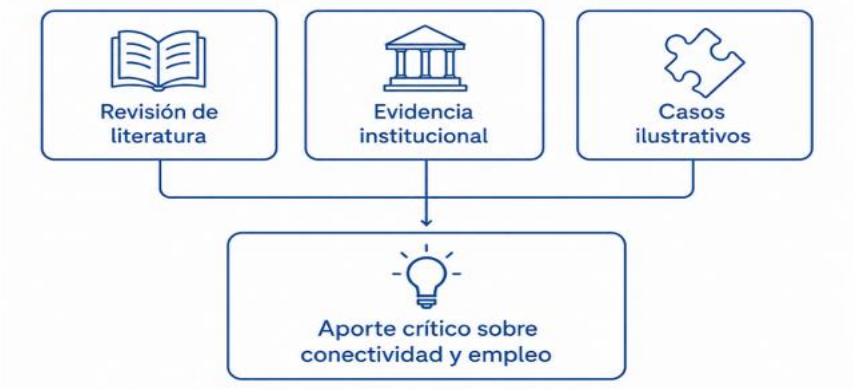
El diseño metodológico del estudio se estructuró en tres niveles complementarios, que permitieron abordar la relación entre conectividad avanzada y empleo desde una perspectiva integral:

1.Revisión de literatura académica: se realizó un análisis sistemático de publicaciones científicas y obras especializadas que abordaron la relación entre tecnología y trabajo. Este proceso permitió identificar y contrastar los principales marcos conceptuales utilizados en la literatura: el cambio tecnológico sesgado por habilidades (Autor, 2015), el enfoque basado en tareas (Acemoglu & Restrepo, 2019) y la perspectiva sociotécnica (Baxter & Sommerville, 2011). Este nivel aportó solidez teórica y evidenció la necesidad de analizar la conectividad avanzada desde una mirada interdisciplinaria, que combine dimensiones económicas, sociales y tecnológicas.

2.Análisis de evidencia empírica institucional: se recopilaron y examinaron informes de organismos internacionales, como OCDE, CEPAL, ITU, Banco Mundial e ILO, junto con reportes oficiales de la Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile (SUBTEL, 2023). La incorporación de estas fuentes permitió contrastar tendencias globales con la realidad nacional, identificando avances relevantes en infraestructura y digitalización, así como brechas persistentes de acceso, calidad y uso.

3.Estudio de casos ilustrativos: se seleccionaron experiencias de despliegue de fibra óptica, 5G y conectividad satelital en contextos urbanos y rurales, aplicando la lógica del análisis comparado, que permite identificar patrones comunes y divergencias significativas en los fenómenos sociales (Ragin, 2014). Este nivel permitió identificar patrones y diferencias significativas, mostrando que los impactos de la tecnología no son homogéneos, sino que dependen de factores territoriales, institucionales y socioeconómicos específicos.

Figura 5: Diseño metodológico del estudio



Fuente: Elaboración propia a partir de Creswell & Poth (2018), Tranfield et al. (2003) y Yin (2018)

La Figura 5 muestra que la investigación se estructuró en tres niveles metodológicos: revisión de literatura académica, análisis de evidencia institucional y estudio de casos ilustrativos. Esta organización refuerza un diseño metodológico progresivo y complementario, en el cual cada nivel aportó una dimensión analítica específica al examen de la conectividad avanzada y su impacto sobre los modelos laborales digitales.

3.2. Fuentes de información

Las fuentes de información utilizadas en el estudio se clasificaron en tres categorías principales, lo que permitió integrar distintas perspectivas sobre la relación entre conectividad avanzada y trabajo digital:

1.Académicas: conformadas por artículos científicos, libros especializados y revisiones sistemáticas que abordan la digitalización, el empleo y las transformaciones productivas. Estas fuentes aportaron el sustento teórico necesario para la interpretación del fenómeno.

2.Institucionales: incluyen informes y bases de datos de organismos multilaterales y entidades estatales, tales como la OCDE, CEPAL, ITU, Banco Mundial, ILO y la Subsecretaría de Telecomuni-

caciones de Chile (SUBTEL, 2023). Estas fuentes permitieron contrastar la evidencia global con la realidad nacional.

3.Empresariales y técnicas: comprenden informes sectoriales, proyecciones de mercado y experiencias operativas de la industria de telecomunicaciones y servicios digitales. Su incorporación permitió contextualizar los avances tecnológicos desde una perspectiva aplicada y comparativa.

La triangulación de estas fuentes permitió enriquecer el análisis al combinar evidencia teórica, empírica y aplicada. De este modo, fue posible contrastar tendencias globales con dinámicas locales, identificar patrones comunes y reconocer especificidades del caso chileno y latinoamericano. Esta diversidad de fuentes fortaleció la validez interpretativa del estudio, asegurando una comprensión integral de los vínculos entre conectividad, transformación laboral e inclusión digital.

3.3. Categorías de análisis

El estudio se guio por cinco categorías analíticas, definidas a partir de la revisión bibliográfica y documental, las cuales permiten estructurar la observación del fenómeno y garantizar la coherencia entre los objetivos, las variables y los instrumentos de análisis:

1.Oferta tecnológica: comprende la infraestructura disponible, incluyendo fibra óptica, 5G y conectividad satelital de nueva generación, junto con indicadores de velocidad efectiva, latencia, estabilidad y cobertura. Esta dimensión evalúa la capacidad técnica instalada y su relación con la expansión del trabajo digital.

2.Demanda y uso laboral: considera los niveles de teletrabajo, modelos híbridos y adopción tecnológica empresarial, analizando cómo la conectividad incide en la organización del trabajo y en la productividad de los distintos sectores.

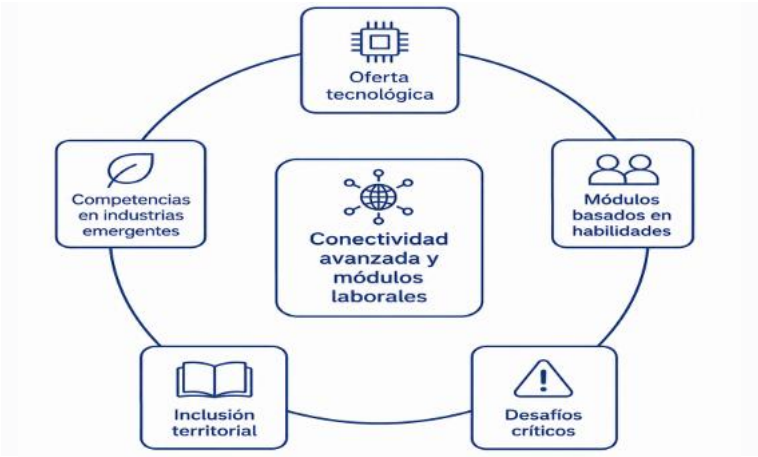
3.Brechas y capacidades digitales: examina las diferencias de acceso, calidad y uso de las tecnologías, así como la disponibilidad de competencias TIC y habilidades transversales, con atención especial a las desigualdades de género, edad y territorio.

4.Modelos laborales emergentes: identifica las nuevas formas de empleo derivadas de la conectividad avanzada, como el trabajo remoto, el outsourcing digital o la economía de plataformas, y evalúa sus efectos en la calidad del empleo y la inclusión social.

5.Riesgos y sostenibilidad laboral: analiza las vulnerabilidades asociadas a la digitalización, tales como la precarización, la exposición a ciberamenazas y la brecha de protección social, considerando su impacto en la sostenibilidad de los modelos laborales a largo plazo.

Estas categorías fueron seleccionadas por su capacidad explicativa y complementariedad, permitiendo abordar el fenómeno de la conectividad avanzada desde una perspectiva multidimensional que articula los componentes tecnológicos, laborales y sociales del estudio.

Figura 6: Categorías de análisis del estudio



Fuente: Elaboración propia a partir de OCDE (2020), CEPAL (2021) y SUBTEL (2023)

Como se muestra en la Figura 6, las categorías analíticas utilizadas en el estudio se organizan en torno al concepto central de conectividad avanzada: oferta tecnológica, modelos laborales habilitados, inclusión territorial, competencias laborales emergentes y desafíos críticos. Esta organización destaca su interdependencia y complementariedad, evidenciando que estas dimensiones no operan de manera aislada, sino como un entramado sistémico que explica el impacto laboral de las infraestructuras digitales.

3.4. Técnicas de análisis

Se aplicaron diversas técnicas metodológicas complementarias con el propósito de fortalecer la validez y confiabilidad del estudio:

1.Revisión documental sistemática: permitió clasificar, sintetizar y contrastar la literatura especializada bajo criterios de rigor metodológico, asegurando la coherencia entre teoría y evidencia empírica (Tranfield, Denyer & Smart, 2003).

2.Análisis comparado de casos: facilitó la identificación de patrones y divergencias en la implementación de la conectividad avanzada, considerando contextos territoriales y socioeconómicos diversos (Ragin, 2014).

3.Triangulación de fuentes: integró perspectivas académicas, institucionales y técnicas, aumentando la confiabilidad de los hallazgos y reduciendo el sesgo interpretativo (Denzin, 2012).
El uso combinado de estas técnicas permitió construir un análisis robusto y equilibrado, capaz de dialogar simultáneamente con los marcos teóricos y la evidencia empírica, garantizando la validez interna del estudio.

3.5. Alcances y limitaciones

El análisis se centró en la interpretación de tendencias y mecanismos que vincularon la conectividad avanzada con los modelos laborales, privilegiando la comprensión cualitativa por sobre la cuantificación exhaustiva de los efectos.

Entre las principales limitaciones se identificaron:

a)la disponibilidad desigual de datos en áreas rurales y sectores informales,

b)y la rápida evolución tecnológica, que dificulta capturar escenarios estables de análisis.

No obstante, estas restricciones se mitigaron mediante la triangulación de información y la selección de casos representativos, lo que otorgó solidez interpretativa y credibilidad a los resultados (Hilbert, 2016; ILO, 2021).

En consecuencia, aunque el estudio no buscó una generalización estadística, sí logró ofrecer un marco interpretativo consistente y transferible, útil para comprender los vínculos entre infraestructura digital, transformación laboral y desigualdad en Chile y América Latina.

En síntesis, la metodología adoptada permitió articular teoría, evidencia e interpretación, abordando la conectividad avanzada como un fenómeno tecnológico, social y económico a la vez. El diseño de investigación, sustentado en la triangulación de fuentes y técnicas cualitativas, aportó solidez al análisis y coherencia entre los niveles teóricos, empíricos y comparativos. Así, los resultados que se presentan a continuación surgen de un proceso sistemático, riguroso y contextualizado, orientado a comprender cómo la infraestructura digital está modelando nuevas configuraciones laborales en Chile y América Latina.

4. Resultados principales

Los resultados obtenidos permiten contrastar los planteamientos teóricos y las hipótesis formuladas con la evidencia empírica disponible. En esta sección se presentan los principales hallazgos del estudio, organizados según las dimensiones analíticas definidas en el marco metodológico. Cada apartado aborda un aspecto específico de la relación entre conectividad avanzada y transformación del trabajo, comenzando con la expansión del teletrabajo y las modalidades híbridas como expresión directa del impacto tecnológico en la organización laboral.

4.1. Expansión del teletrabajo y modalidades híbridas

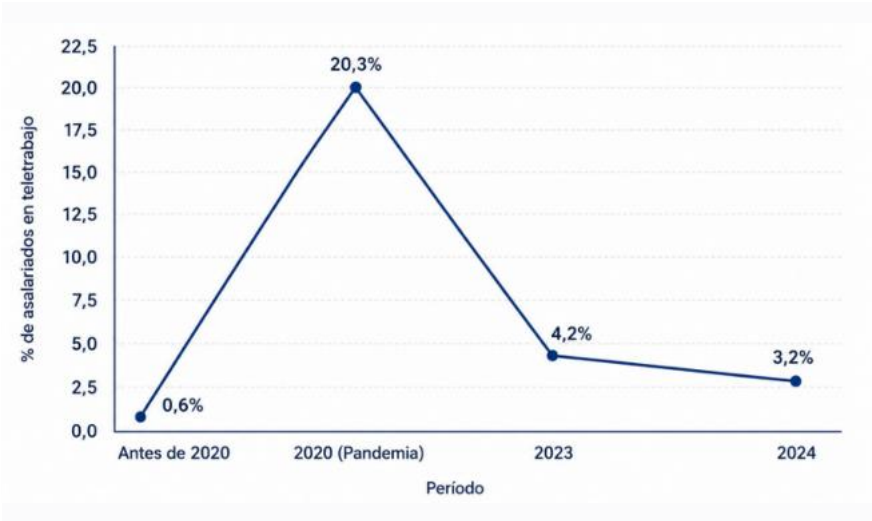
Los datos empíricos confirman que la conectividad avanzada se consolidó como un habilitador decisivo para la expansión del teletrabajo y de los modelos híbridos en Chile. Antes de la pan-

demia, el trabajo remoto representaba apenas un 0,6 % de los asalariados; durante el período más crítico de confinamiento en 2020, la cifra aumentó abruptamente hasta un 20,3 %, para luego descender a un 4,2 % en 2023 (OCEC UDP, 2023; SUBTRAB, 2023). Según estimaciones más recientes, en mayo de 2024 el teletrabajo abarcaba cerca del 3,2 % de los asalariados, lo que confirma una tendencia descendente tras la crisis sanitaria y revela las dificultades estructurales para sostener la masificación del trabajo remoto en ausencia de políticas e incentivos institucionales (Clapes UC, 2024).

Esta evolución evidencia una paradoja central. Por una parte, la conectividad avanzada demostró su capacidad para garantizar la continuidad laboral en contextos de emergencia. Por otra, la reducción del teletrabajo posterior a la pandemia no puede explicarse solo por factores tecnológicos. Durante la crisis sanitaria existió una necesidad casi obligatoria de virtualidad debido a las restricciones de movilidad, lo que elevó temporalmente la demanda por trabajo remoto y actividades digitales. Además, los apoyos estatales, bonos extraordinarios y retiros previsionales generaron condiciones excepcionales que pudieron facilitar iniciativas de emprendimiento y autoempleo digital. Una vez finalizado ese contexto, parte de esa dinámica disminuyó, dejando en evidencia brechas de acceso, desigualdad territorial, déficits de competencias digitales y limitaciones organizacionales para sostener el teletrabajo como práctica permanente.

Los estudios recientes muestran que alrededor del 25,9 % de las ocupaciones en Chile son susceptibles de desempeñarse bajo modalidad de teletrabajo; sin embargo, solo una fracción minoritaria efectivamente opera bajo este esquema (SUBTRAB, 2023). Este contraste sugiere que la infraestructura digital, aunque necesaria, resulta insuficiente sin políticas complementarias que aborden la alfabetización digital, la asequibilidad y la gestión organizacional del trabajo remoto.

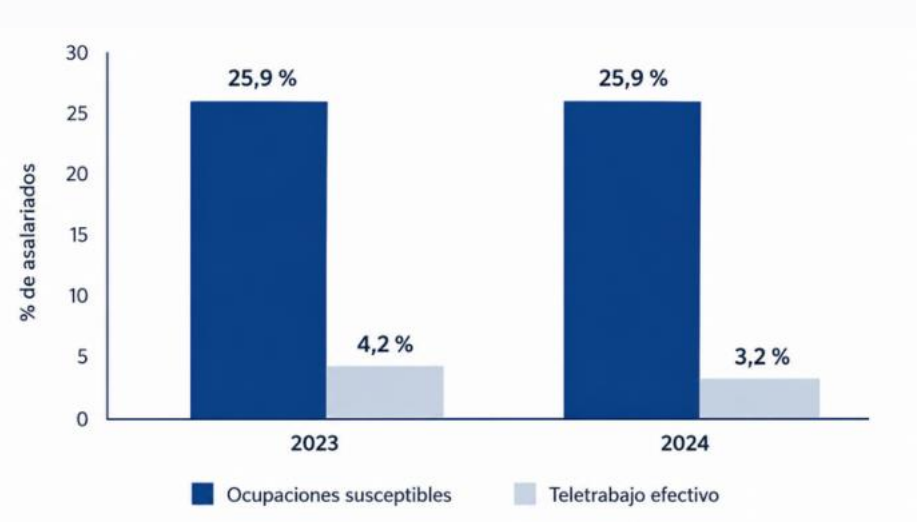
Gráfico 1: Teletrabajo en Chile: antes, durante y después de la pandemia



Fuente: Elaboración propia a partir de OCEC UDP (2023), SUBTRAB (2023) y Clapes UC (2024)

Como se observa en el Gráfico 1, el teletrabajo en Chile aumentó abruptamente durante la crisis sanitaria y luego presentó una reducción sostenida. Esta evolución evidencia tanto la capacidad de las infraestructuras digitales para sostener la continuidad laboral en contextos de emergencia como las limitaciones estructurales que impidieron su consolidación como práctica permanente, entre ellas las brechas de acceso, la desigualdad territorial y la falta de incentivos organizacionales.

Gráfico 2: Ocupaciones susceptibles vs. teletrabajo efectivo (2023 - 2024)



Fuente: Elaboración propia a partir de SUBTRAB (2023) y Clapes UC (2024)

El Gráfico 2 muestra una brecha relevante entre las ocupaciones susceptibles de realizarse mediante teletrabajo y aquellas que efectivamente se desempeñaron bajo esta modalidad entre 2023 y 2024. Esta diferencia evidencia la distancia entre el potencial habilitado por la conectividad avanzada y su aplicación real en el mercado laboral chileno, destacando la influencia de factores institucionales, culturales y de gestión organizacional en la adopción del trabajo remoto.

4.2. Inclusión territorial y reducción de desigualdades

La conectividad satelital y el despliegue de fibra óptica en zonas extremas ampliaron el acceso al mercado laboral digital en territorios históricamente marginados. En particular, las constelaciones satelitales de órbita baja (LEO) facilitaron la integración de comunidades rurales a modalidades de teletrabajo y prestación de servicios digitales, especialmente en ámbitos como la teleeducación, la asistencia técnica remota y la gestión de datos agrícolas (CEPAL, 2022).

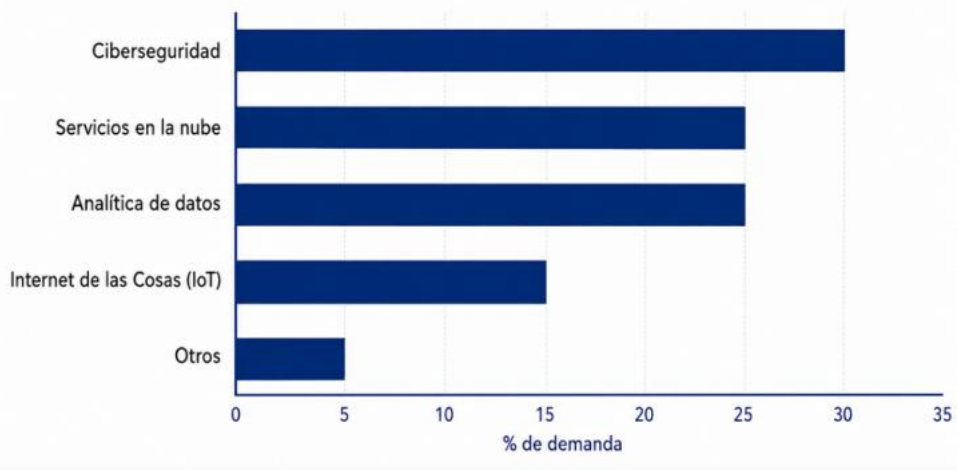
No obstante, los hallazgos mostraron que la asequibilidad continúa siendo un obstáculo estructural, ya que los costos de los planes satelitales superaron en algunos casos el 10 % del ingreso mensual de los hogares rurales (CEPAL, 2021). Este resultado evidencia que la infraestructura tecnológica, aunque indispensable, no garantiza por sí sola la equidad digital. Su impacto positivo depende de la implementación de políticas de subsidio, alfabetización digital y programas de inclusión territorial que permitan democratizar el acceso y reducir las brechas socioeconómicas.

4.3. Emergencia de nuevos empleos digitales y reconversión laboral

La expansión de la conectividad avanzada ha impulsado la creación de nuevos perfiles ocupacionales vinculados a la economía digital, orientados al manejo, protección y análisis de información en tiempo real. Entre los más demandados destacan los especialistas en ciberseguridad, administración de servicios en la nube, analítica de datos e ingeniería en redes 5G e IoT (GSMA, 2022; WEF, 2023). De manera paralela, sectores tradicionales como la manufactura, la logística y los servicios enfrentaron procesos de reconversión laboral que exigieron la adquisición de competencias digitales y cognitivas avanzadas para desempeñar funciones de supervisión, coordinación y análisis en entornos virtuales (World Bank, 2021).

Estos resultados confirman que la conectividad avanzada no destruye necesariamente empleo, sino que transforma su naturaleza y redistribuye el valor hacia tareas de mayor complejidad cognitiva y tecnológica, reforzando el papel del capital humano como eje de la competitividad digital (Autor, 2015).

Gráfico 3: Distribución estimada de nuevos empleos digitales



Fuente: Elaboración propia a partir de GSMA (2022) y WEF (2023).

El Gráfico 3 muestra la distribución porcentual de los nuevos perfiles ocupacionales más demandados, entre los que destacan los especialistas en ciberseguridad, servicios en la nube, analítica de datos y tecnologías IoT. La visualización evidencia que la conectividad avanzada no destruye empleo, sino que genera nuevas especializaciones de mayor complejidad cognitiva y tecnológica, consolidando un mercado laboral orientado al conocimiento y la innovación.

4.4. Competencias laborales emergentes

El análisis evidenció que la conectividad avanzada ha redefinido el conjunto de competencias laborales esenciales en la economía digital. De acuerdo con la OCDE (2020) y el Foro Económico Mundial (WEF, 2020), las habilidades más relevantes se agrupan en cuatro dimensiones clave:

1.Competencias digitales avanzadas: dominio de plataformas colaborativas, gestión de servicios en la nube y prácticas de ciberseguridad.

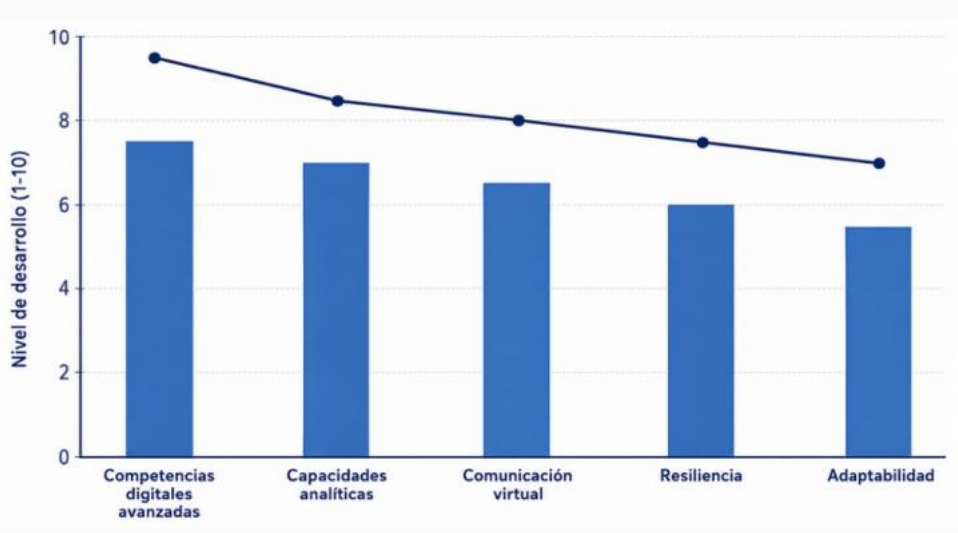
2.Capacidades analíticas: recolección, interpretación y uso estratégico de datos masivos (Big Data) para la toma de decisiones.

3.Habilidades de comunicación virtual: coordinación, liderazgo y gestión de equipos distribuidos en entornos digitales.

4.Resiliencia y adaptabilidad: capacidad para responder de forma efectiva ante la rápida obsolescencia tecnológica y los cambios organizacionales.

Los resultados muestran que la competitividad laboral en la era digital no depende únicamente de la infraestructura disponible, sino también de la capacidad de aprendizaje continuo, actualización de habilidades y adaptación cognitiva de los trabajadores frente a entornos tecnológicos en constante transformación.

Gráfico 4: Competencias laborales emergentes



Fuente: Elaboración propia a partir de OCDE (2020) y WEF (2020, 2023).

El Gráfico 4 sintetiza las competencias más relevantes para el trabajo del futuro, entre las que destacan las habilidades digitales avanzadas, las capacidades analíticas, la comunicación virtual y la resiliencia. La representación permite visualizar la complementariedad entre estas dimensiones y su papel como habilitadores esenciales en entornos laborales digitales y distribuidos, donde la adaptabilidad y la actualización permanente se convierten en factores determinantes de la empleabilidad.

4.5. Desafíos críticos identificados

Si bien la conectividad avanzada generó oportunidades significativas para la transformación laboral, los resultados del estudio confirmaron la existencia de desafíos estructurales que condicionan su impacto en el trabajo del futuro.

Según el Global Connectivity Report 2024 de la International Telecommunication Union (ITU, 2024), las brechas de acceso y calidad siguen siendo uno de los principales factores que limitan el aprovechamiento equitativo de las redes digitales, especialmente en regiones de ingresos medios y bajos.

Entre los principales se identifican:

- Brecha de acceso: persistencia de hogares y pymes sin conexión adecuada, especialmente en áreas rurales y zonas de difícil cobertura (CEPAL, 2021).
- Brecha de calidad: servicios con latencia y estabilidad insuficientes para actividades críticas como videoconferencias, telemedicina o uso de plataformas cloud (Hilbert, 2016).
- Brecha de uso: desigualdades en competencias digitales entre géneros, generaciones y territorios, que limitan la inclusión plena en la economía digital (OCDE, 2020).
- Ciberseguridad: creciente exposición a riesgos tecnológicos y de protección de datos en entornos laborales distribuidos, tanto para trabajadores como para organizaciones (ILO, 2021).
- Precarización laboral: expansión de la economía de plataformas sin marcos regulatorios adecuados que garanticen derechos laborales, estabilidad e inclusión social (De Stefano, 2016).

Tabla 3: Brechas digitales en América Latina y su impacto laboral

Tipo de brecha o riesgo	Ejemplo empírico	Impacto laboral asociado
Acceso	Hogares rurales con menos del 30 % de penetración de internet fijo (CEPAL, 2021)	Exclusión de trabajadores rurales del teletrabajo y de la economía digital.
Calidad	Diferencias significativas entre zonas urbanas y rurales en estabilidad y velocidad de conexión	Productividad desigual en entornos de trabajo remoto.
Uso	Bajos niveles de competencias digitales en adultos mayores y mujeres	Menor participación en empleos digitales y actividades de alto valor agregado.
Precarización laboral	Expansión de la economía de plataformas sin marcos regulatorios adecuados (De Stefano, 2016)	Inseguridad contractual, pérdida de derechos y fragmentación del empleo.
Ciberseguridad	Incremento de incidentes y brechas de datos en entornos laborales distribuidos (ILO, 2021)	Exposición a riesgos tecnológicos, pérdida de confianza y vulnerabilidad en la protección laboral y empresarial.

Fuente: Elaboración propia a partir de CEPAL (2021), Hilbert (2016) e ILO (2021).

La Tabla 3 muestra que la conectividad avanzada constituye un elemento clave para impulsar el trabajo del futuro; sin embargo, su efecto beneficioso requiere que las instituciones y la sociedad fortalezcan la ciberseguridad y reduzcan las brechas estructurales aún existentes. En ausencia de políticas coordinadas de inclusión digital, educación tecnológica y protección de datos, las desigualdades y vulnerabilidades digitales tienden a reproducirse, afectando tanto la productividad como la seguridad laboral en los entornos digitales.

En síntesis, los resultados obtenidos muestran que la conectividad avanzada se ha convertido en un determinante estructural del trabajo del futuro, al posibilitar la expansión del teletrabajo, la diversificación de ocupaciones digitales y la reconfiguración de competencias laborales en Chile y América Latina. No obstante, su impacto positivo sigue condicionado por la persistencia de brechas de acceso, calidad, uso y asequibilidad, junto con riesgos emergentes de ciberseguridad y precarización laboral.

El estudio evidencia que la infraestructura tecnológica, aunque indispensable, no basta por sí sola para garantizar inclusión y productividad. Su efectividad depende de la coordinación entre políticas públicas, estrategias empresariales y programas de formación que promuevan la alfabetización digital, la protección de datos y la equidad territorial. En este sentido, la conectividad avanzada no solo debe entenderse como un medio técnico, sino como una condición de desarrollo social y económico sostenible, cuyo aprovechamiento integral exige cerrar las brechas estructurales y fortalecer la resiliencia institucional frente a la acelerada transformación digital.

5 .Conclusiones

La evidencia presentada permitió confirmar que la conectividad avanzada, a través de la fibra óptica, el 5G y la conectividad satelital de nueva generación, se configuró como un factor habilitador central de los nuevos modelos laborales. En el caso chileno y latinoamericano, el teletrabajo se expandió rápidamente durante la pandemia, alcanzando niveles inéditos en 2020, con un 20,3 % de los asalariados en Chile, para luego estabilizarse en torno al 4,2 % en 2023. Este resultado reflejó tanto el potencial de la conectividad avanzada como las limitaciones estructurales que condicionaron su masificación (OCEC UDP, 2023; SUBTRAB, 2023).

En términos de inclusión territorial, la conectividad satelital y los programas de expansión de fibra en regiones extremas abrieron oportunidades laborales para comunidades históricamente marginadas. Sin embargo, la asequibilidad de los servicios y la persistencia de brechas en competencias digitales limitaron su impacto, reproduciendo desigualdades preexistentes (CEPAL, 2022; Hilbert, 2016). Estos resultados evidencian que la infraestructura tecnológica, aunque necesaria, no resulta suficiente sin políticas públicas activas y programas de acompañamiento social que aseguren acceso equitativo y sostenibilidad.

El análisis también mostró que la conectividad avanzada impulsó la creación de nuevos perfiles laborales vinculados a la economía digital, como ciberseguridad, servicios en la nube, analítica de datos e IoT, y aceleró la reconversión en sectores tradicionales, donde las habilidades digitales se volvieron imprescindibles. Este hallazgo coincide con la literatura que sostiene que la digita-

lización no elimina empleos, sino que redefine tareas y redistribuye valor hacia competencias de mayor complejidad cognitiva y tecnológica (Autor, 2015; ILO, 2021).

Al mismo tiempo, el estudio identificó desafíos estructurales que requieren atención prioritaria:

Brechas de acceso y calidad, que limitan la universalización del teletrabajo y de la economía digital.

• Brechas de uso, asociadas a desigualdades de género, edad y territorio en el desarrollo de competencias digitales.

• Riesgos de precarización laboral, vinculados a la expansión de la economía de plataformas sin marcos regulatorios adecuados (De Stefano, 2016).

• Ciberseguridad y confianza digital, condiciones indispensables para sostener la expansión de modelos laborales distribuidos (ILO, 2021).

En consecuencia, se concluye que la conectividad avanzada constituye una condición necesaria, aunque no suficiente, para impulsar el trabajo del futuro. Su impacto positivo dependerá de la capacidad de los Estados, las empresas y las instituciones educativas para:

• Promover inversiones en infraestructura digital inclusiva, equilibrando despliegues urbanos y rurales.

• Implementar políticas de asequibilidad y subsidio que garanticen acceso equitativo.

• Fortalecer programas de formación y reconversión laboral, orientados a competencias digitales avanzadas.

• Regular la economía de plataformas para asegurar derechos laborales y protección social.

• Desarrollar una cultura de ciberseguridad transversal en todos los sectores productivos.

En una perspectiva futura, la evolución hacia tecnologías 6G, enmarcada en el desarrollo de IMT-2030, podría profundizar estos cambios al habilitar redes de menor latencia, mayor capacidad, conectividad ubicua, inteligencia artificial distribuida y entornos inmersivos de colaboración (ITU, 2023). Estas capacidades podrían ampliar las posibilidades del trabajo remoto avanzado, la automatización industrial, la teleoperación, la realidad extendida aplicada a la formación laboral y la gestión de operaciones críticas en tiempo real. No obstante, su impacto dependerá nuevamente de la capacidad institucional para anticipar brechas de acceso, formación, regulación y seguridad digital.

Por tanto, la conectividad avanzada debe entenderse no solo como un recurso tecnológico, sino como un determinante estructural del desarrollo social y económico. Su adecuada gestión permitirá que las transformaciones digitales se traduzcan en un mercado laboral más productivo,

inclusivo y sostenible. Este análisis se articula con el eje del libro "Tecnologías emergentes y trabajo del futuro", al demostrar que la infraestructura digital, cuando se coordina con políticas públicas y estrategias institucionales, puede convertirse en un motor de desarrollo equitativo para Chile y América Latina.

El capítulo contribuye tanto a la literatura académica sobre trabajo y digitalización como al debate aplicado en torno a la gobernanza de la conectividad en la región. La integración de enfoques teóricos, datos empíricos y definiciones operativas refuerza su carácter innovador, al establecer un puente entre los marcos globales y las realidades locales. Esta perspectiva, además de ser académicamente relevante, ofrece orientaciones prácticas para el diseño de políticas inclusivas, programas de reconversión laboral y estrategias de resiliencia organizacional frente a los desafíos del siglo XXI.

6. Referencias bibliográficas

1. Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2019). Automation and new tasks: How technology displaces and reinstates labor. Journal of Economic Perspectives, 33(2), 3–30. https://doi.org/10.1257/jep.33.2.3

2. Autor, D. H. (2015). Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. Journal of Economic Perspectives, 29(3), 3–30. https://doi.org/10.1257/jep.29.3.3

3. Baxter, G., & Sommerville, I. (2011). Socio-technical systems: From design methods to systems engineering. Interacting with Computers, 23(1), 4–17. https://doi.org/10.1016/j.intcom.2010.07.003

4. CEPAL. (2021). Brechas, desafíos y oportunidades de la digitalización en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. https://hdl.handle.net/11362/46633

5. CEPAL. (2022). Conectividad y transformación digital en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. https://hdl.handle.net/11362/47743

6. Clapes UC. (2024). Informe de empleo y transformación digital en Chile 2024. Centro Latinoamericano de Políticas Económicas y Sociales, Pontificia Universidad Católica de Chile.

7. Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches (4th ed.). SAGE Publications.

8. De Stefano, V. (2016). The rise of the "just-in-time workforce": On-demand work, crowdwork, and labor protection in the gig economy. Comparative Labor Law & Policy Journal, 37(3), 471–504.

9. Denzin, N. K. (2012). Triangulation 2.0. Journal of Mixed Methods Research, 6(2), 80–88. https://doi.org/10.1177/1558689812437186

10. GSMA. (2022). The Mobile Economy 2022. GSM Association. https://www.gsma.com/mobileeconomy/

11. Hilbert, M. (2016). The bad news is that the digital access divide is here to stay: Domestically installed bandwidths among 172 countries for 1986–2014. Telecommunications Policy, 40(6), 567–581. https://doi.org/10.1016/j.telpol.2016.01.006

12. International Labour Organization (ILO). (2021). World Employment and Social Outlook 2021: The role of digital labour platforms in transforming the world of work. ILO. https://www.ilo.org/global/research/global-reports/weso

13. International Telecommunication Union (ITU). (2021). Measuring digital development: Facts and figures 2021. ITU. https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics

14. International Telecommunication Union (ITU). (2023). Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond. ITU-R Recommendation M.2160-0.

15. International Telecommunication Union (ITU). (2024). Global Connectivity Report 2024. ITU. https://www.itu.int/reports/global-connectivity-report-2024

16. OCDE. (2020). OECD Digital Economy Outlook 2020. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/bb167041-en

17. OCEC UDP. (2023). Informe de coyuntura laboral 2023. Observatorio de Coyuntura Económica y Políticas Públicas, Universidad Diego Portales.

18. Ragin, C. C. (2014). The comparative method: Moving beyond qualitative and quantitative strategies. University of California Press.

19. SUBTEL. (2023). Informe de conectividad en Chile 2023. Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile.

20. Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. British Journal of Management, 14(3), 207–222. https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375

21. World Bank. (2021). World Development Report 2021: Data for better lives. World Bank. https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1600-0

22. World Economic Forum (WEF). (2023). Future of Jobs Report 2023. World Economic Forum. https://www.weforum.org/reports/future-of-jobs-report-2023

SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL EN EL DISEÑO DE SERVICIOS CULTURALES: UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA DESDE EL ECODISEÑO

ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY IN CULTURAL SERVICE DESIGN: A METHODOLOGICAL APPROACH BASED ON ECODESIGN

Marcelo Venegas-Marcel[1]

[1]*Departamento de Diseño y Manufactura, Universidad Técnica Federico Santa María, Viña del Mar, Chile (marcelo.venegas@usm.cl)*

https://doi.org/10.17613/030aw-ck178

Resumen

La integración del ecodiseño en el ámbito de los servicios constituye una línea de investigación aún incipiente, pese al potencial que estos presentan en términos de sostenibilidad y su capacidad para incidir en la generación de valor ambiental, productivo y económico. Este estudio aborda dicha problemática desde una perspectiva aplicada, focalizándose en las prácticas de difusión cultural, consideradas como un entorno emergente para la implementación de estrategias de diseño sostenible orientadas a la innovación en servicios. Mediante el análisis de un estudio de caso, se propone un procedimiento secuencial que incorpora fases de evaluación diagnóstica y formulación de alternativas de diseño, orientadas a la mitigación de impactos ambientales. Este enfoque se articula con los principios del diseño centrado en el usuario, integrando sus necesidades, expectativas y experiencias como variables clave en la definición estratégica del servicio, con el fin de generar soluciones sostenibles y contextualizadas.El método demostró ser eficaz para desarrollar un servicio digital adaptable, fortaleciendo la relación organizacional y mejorando la eficiencia y la experiencia del usuario.

Palabras claves:diseño de servicios; difusión cultural; ecodiseño; redes sociales

Abstract:

The integration of ecodesign into service systems remains an emerging research area, despite its potential to enhance sustainability and generate environmental, productive, and economic value. This study addresses this gap through an applied approach focused on cultural dissemination practices, identified as an emerging context for implementing sustainable design strategies aimed at service innovation. Based on a case study, a sequential methodology is proposed, incorporating diagnostic evaluation and the formulation of design alternatives oriented toward environmental impact mitigation. The approach is aligned with user-centered design principles, considering users' needs, expectations, and experiences as key variables in the strategic definition of the service. The method proved effective in developing an adaptable digital service, strengthening organizational relationships and improving operational efficiency and user experience.

Keywords: service design; cultural promotion; eco-design; social media

1. Introducción

Los efectos derivados de la industrialización y el consumo excesivo han generado impactos ambientales significativos, que exigen una perentoria respuesta tanto desde el ámbito productivo e institucional como desde la definición de compromisos sólidos de carácter social. Dicha coyuntura ha impulsado la acción de diversos actores orientados a transformar el modelo vigente, promoviendo nuevos paradigmas económicos que integren la innovación productiva con una responsabilidad activa orientada hacia el bienestar ambiental y social (Hon y Woo, 2019; Corsini y Moultrie, 2021).

En este contexto, la dimensión ambiental enfrenta desafíos gatillados por múltiples actividades productivas, económicas y sociales. Por lo que el diseño sostenible (DS) emerge como una herramienta proyectual clave, capaz de abordar estas problemáticas desde una perspectiva innovadora (He et al., 2020; Baldassarre et al., 2020). La respuesta desde un punto de vista metodológico se fundamenta en la norma ISO 14006 (2011), que establece directrices para incorporar el ecodiseño como sistema de gestión ambiental, orientado a minimizar las externalidades negativas a lo largo del ciclo de vida de productos y servicios (García-Sánchez et al., 2020).

Este enfoque, releva el rol estratégico del diseño en las fases iniciales de un proyecto, permitiendo definir requisitos clave mediante una evaluación exhaustiva de contexto. Resultando fundamental dicha etapa, para delimitar la problemática y facilitar una toma de decisiones estructurada, basada en criterios objetivos que favorezcan una planificación sostenible orientada a la mejora ambiental (Brambila-Macías y Sakao, 2021; Venegas et al., 2023a; Wei Lun Lee et al., 2023).

2. Marco teórico.

El ecodiseño aplicado en productos ya es una práctica consolidada para integrar criterios de sostenibilidad a lo largo de todo su ciclo de vida (Elgazzar, 2024; Singhal et al., 2024). Sin embargo, su incorporación en el diseño de servicios aún sigue siendo limitada, a pesar del alto potencial reconocido para generar valor ambiental, económico y organizacional (Gain et al., 2023; Palazzo et al., 2024). Si bien, los Sistemas Producto-Servicio (SPS/PSS su sigla en inglés) han emergido como modelos híbridos con atributos sostenibles, su enfoque aún continúa dirigido al producto, relegando el concepto de sostenibilidad a una dimensión secundaria percibida como de última instancia por el cliente (Sierra-Pérez et al., 2021; Peripolli et al., 2024).

De igual forma, la co-creación, la definición de oferta y la captura de valor en los SPS suelen excluir la participación del usuario, limitando su integralidad en términos de sostenibilidad. En este sentido, metodologías centradas en el ser humano, propias del diseño de servicios, podrían ser efectivas para cerrar esta brecha (Aagaard y Ritzén, 2020; Barile et al., 2020). Por su parte, el ecodiseño, aunque eficaz como herramienta de evaluación ambiental, tiende a omitir aspectos experienciales considerados como claves para comprender estilos de vida y facilitar la transición hacia modelos sociales sostenibles (Doualle et al., 2020; Soh y Wong, 2021).

En el ámbito de la difusión cultural, los estudios aplicados con perspectiva sostenible son escasos y de baja divulgación, predominando enfoques teóricos sin integración efectiva de actores y variables relevantes (Biedermann et al., 2023; Adewale y Ene, 2024). Paralelamente, la digitalización ha ido transformado la prestación de servicios culturales, abriendo oportunidades para gestionar audiencias, narrativas y datos propios de la interacción (Dinh et al., 2024). Por lo que es necesario monitorear la experiencia del usuario a lo largo de su ciclo de vida, desde la anticipación previa a la experiencia de uso, la identificación de la necesidad/usuario, hasta la evaluación de la experiencia identificada con el servicio (ISO 9241-11, 2018; Mason, 2020).

El diseño de servicios en organizaciones culturales va girando así, hacia modelos digitales que permiten valorar prioridades y generar por tanto, servicios sostenibles adaptables a escenarios cambiantes (Wu et al., 2022; Giannini y Bowen, 2022). Si bien es cierto, el diseño de servicios está ampliamente documentado (Salunke et al., 2019; Vink et al., 2021), su aplicación en el ámbito expositivo cultural desde una perspectiva sostenible sigue siendo limitado (Hansson y Öhman, 2022). Evidenciando una carencia metodológica que exige el desarrollo de instrumentos ágiles y centrados en el usuario, para el ejercicio de prácticas innovativas aplicables dentro del proceso de formación académica, así como también, en el desempeño profesional.

Asumiendo lo anterior, el estudio que se presenta propone avanzar en la elaboración de un instrumento metodológico para el diseño de servicios ambientalmente sostenibles en exposiciones y difusión de tipo cultural. El principal objetivo, es posicionar gradualmente al ecodiseño en el ámbito de los servicios, con énfasis en la co-creación de valor centrada en el usuario. Para ello, se definen los siguientes objetivos específicos: a) Identificar y caracterizar el servicio, considerando información ambiental de la institución, su oferta y audiencias. b) Realizar una evaluación diagnóstica para visualizar escenarios de mejora con enfoque de tipo ambiental. c) Proponer estrategias concretas a partir de la información levantada, como una forma de fijar lineamientos de optimización continua aplicados a la prestación y el proceso para implementarla. d) Explorar soluciones de diseño centradas en la experiencia del usuario como ejercicio para la validación preliminar de la metodología.

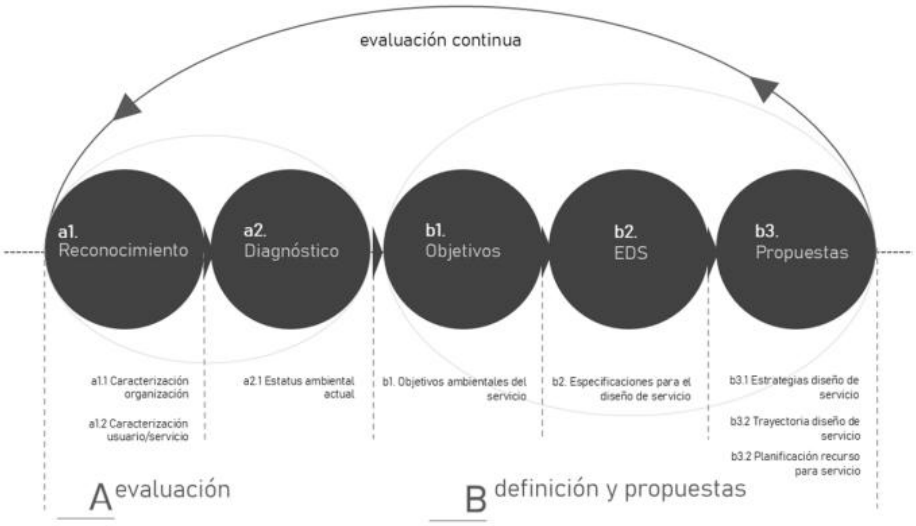
3. Metodología.

El enfoque metodológico planteado se compone de dos fases fundamentales para la implementación del instrumento (véase Figura N°1). La fase inicial (a) corresponde a la delimitación del dominio de intervención, sustentada en un proceso evaluativo de la institución y del servicio en cuestión. Posteriormente, la fase (b) contempla el desarrollo de propuestas de diseño, formuladas a partir del diagnóstico preliminar, que permiten establecer especificaciones conceptuales orientadas a una nueva prestación, que busque reducir las externalidades negativas desde una perspectiva ambiental. La aplicación de dicho esquema requiere una ejecución secuencial que incorpore mecanismos de evaluación continua, con el objetivo de optimizar la solución implementada y promover un ciclo de mejora progresiva en la calidad ambiental del servicio (Carbone et al., 2020; Acartürk et al., 2021). Las subfases que conforman la fase de evaluación del modelo metodológico, se detallan a continuación, junto con sus respectivas definiciones generales:

Fase a. Evaluación

a.1 Reconocimiento de la institución/organización y del servicio

Figura 1. Fases y subfases para esquema metodológico planteado.
Fuente. Elaboración propia 2024.



a.1.1 Caracterización de la organización. El proceso se inicia con la identificación de la entidad objeto de análisis, considerando una descripción sintética que permita reconocer su denominación, fundamentos corporativos y estrategias de posicionamiento sostenible de marca (Barbosa et al., 2020). Asimismo, se recopilan datos evaluativos relevantes que permiten establecer comparaciones entre la institución, sus servicios y su posicionamiento actual en el entorno. Para ello, se aplica un análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas), el cual proporciona una visión integral del estado estratégico de la organización (Benzaghta et al., 2021; Puyt et al., 2023). Finalmente, se incorpora un resumen de los requerimientos generales (brief en inglés), entregado directamente por el mandante, sin mediación de análisis crítico respecto de la información levantada (Blank, 2020; Cross, 2021).

a.1.2 Caracterización del usuario y del servicio. Se procede a identificar al usuario potencial, según lo declarado por el mandante, complementando esta información con una representación arquetípica de su comportamiento y de las interacciones que mantiene con el entorno comunitario vinculado al servicio. Paralelamente, se realiza un análisis de la experiencia de servicio vigente al momento de la recopilación de antecedentes. Esta exploración considera la trayectoria temporal del usuario y las relaciones entre los componentes del servicio y los factores que inciden en su experiencia. Para ello, se emplean dos herramientas combinadas: la caracterización de usuario y el mapa de trayectoria (adaptadas de Stickdorn et al., 2018 y Kalbach, 2020). Estas herramientas permiten sintetizar la información de manera estructurada, facilitando la evaluación y el levantamiento de conclusiones relevantes para la fase en desarrollo.

a.2 Diagnóstico del estatus ambiental actual

En esta subfase se establecen los criterios para identificar los impactos ambientales más significativos asociados a la prestación del servicio. La información se obtiene a partir de un inventario preliminar que permite determinar los siguientes indicadores clave: i) consumo de recursos generales; ii) demanda energética; iii) generación de residuos durante la operación del servicio; iv) transporte y emisiones (Ihobe, 2020a).

Este procedimiento, se orienta a facilitar la evaluación de las entradas elementales que, al ser contrastadas con el comportamiento del usuario, permiten estimar el nivel de impacto ambiental potencial del servicio. Dicho nivel de impacto se constituye como un insumo crítico para la formulación de futuras propuestas de diseño.
Fase b. Definición y propuestas

b.1 Objetivos ambientales del servicio
En esta etapa se definen los objetivos ambientales, atributos jerarquizados y medidas específicas orientadas a la mejora del desempeño ambiental del servicio. Se proponen líneas estratégicas alineadas con principios de ecodiseño, que permiten establecer acciones concretas aplicables en la conceptualización de un nuevo servicio (Ihobe, 2020b).

Las medidas deben considerar tanto atributos internos (relativos a la organización y sus procesos) como externos (relacionados con el usuario final). La estructuración de estos elementos se realiza mediante una matriz de objetivos y atributos, siguiendo lo planteado por Figueroa et al. (2017) e Ihobe (2024), y complementada con una adaptación de la Matriz de Marco Lógico (MML) propuesta por Venegas (2024).

b.2 Especificaciones para el diseño de servicio
Se establecen las Especificaciones para el Diseño de Servicio (EDS), orientadas a minimizar el uso de recursos y energía, así como la generación de residuos. Estas especificaciones se derivan del análisis de la matriz MET (Materiales, Energía, Emisiones Tóxicas), que incorpora principios del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para definir el perfil ambiental del servicio (ISO 14001, 2015; Ihobe, 2023). Los requerimientos identificados incluyen:

A) Eficiencia energética: incorporación de tecnologías eficientes y servicios digitales de bajo consumo.
B) Reducción de emisiones de CO_2: optimización de procesos y rutas de transporte para minimizar el impacto climático o efecto invernadero.
C) Servicios verdes: cumplimiento de normativas ambientales y reducción del impacto ecológico.
D) Educación medioambiental: formación de personal y usuarios en prácticas sostenibles.
E) Innovación continua: adopción de tecnologías emergentes para mejorar el perfil ambiental del servicio.
F) Viabilidad técnica: compatibilidad con infraestructura existente y disponibilidad tecnológica de la institución prestadora del servicio.
G) Viabilidad financiera: sostenibilidad económica del servicio, considerando costos iniciales y retorno de inversión.

La priorización de estas especificaciones se realiza mediante una matriz jerarquizada, alineada con los requerimientos del brief del mandante y las oportunidades de diseño identificadas. La selección de la alternativa conceptual se lleva a cabo mediante la aplicación del método de Ulrich y Eppinger (2009), adaptado por Venegas et al. (2023b).

b.3 Propuesta de nuevo concepto de mejora o servicio
La fase final contempla la definición detallada del concepto seleccionado, utilizando los siguientes instrumentos que permiten estructurar el diseño del servicio:

- b.3.1 Estrategias del servicio propuesto: se formalizan las decisiones estratégicas que configuran el valor diferencial del servicio, en función de los objetivos establecidos (Kaplan y Norton, 2016).
- b.3.2 Trayectoria prospectiva del servicio: se modela la evolución futura del servicio y su interacción con los actores involucrados (Stickdorn et al., 2025b).
- b.3.3 Planificación esquemática de recursos y relaciones: se define el flujo operativo del sistema propuesto (sketch planning), incluyendo los puntos críticos de decisión y su vinculación con la experiencia del usuario (Vyhouski, 2025).

4. Resultados

Los procedimientos definidos previamente fueron validados mediante un estudio de caso desarrollado en el marco de las asignaturas formativas de Diseño, correspondientes la carrera de Ingeniería en Fabricación y Diseño Industrial de la Universidad Técnica Federico Santa María, Chile. Los proyectos, abordados como ejercicios de aplicación, se originaron a partir de un requerimiento real para el diseño de servicios sostenibles, solicitado por el Museo de Historia Natural de Valparaíso, Chile (MHNV), específicamente para la sala Museo Lab de Aprendizaje (MLab). Institución que buscaba avanzar en servicios de tipo educativo, fomentando sobre todo la participación de la comunidad mediante talleres y experiencias prácticas en el ámbito científico y cultural.

La implementación de cada etapa metodológica se desarrolló mediante la elaboración de instrumentos de representación estructurada, destinados a organizar y procesar la información levantada. Se definió un conjunto de recursos gráficos que permitió el análisis eficiente de los datos vinculados al proyecto. El proceso se inició con la construcción de un brief preliminar, seguido por la evaluación y caracterización de la institución, sus atributos corporativos y los servicios asociados a la audiencia objetivo que pudo ser identificada.

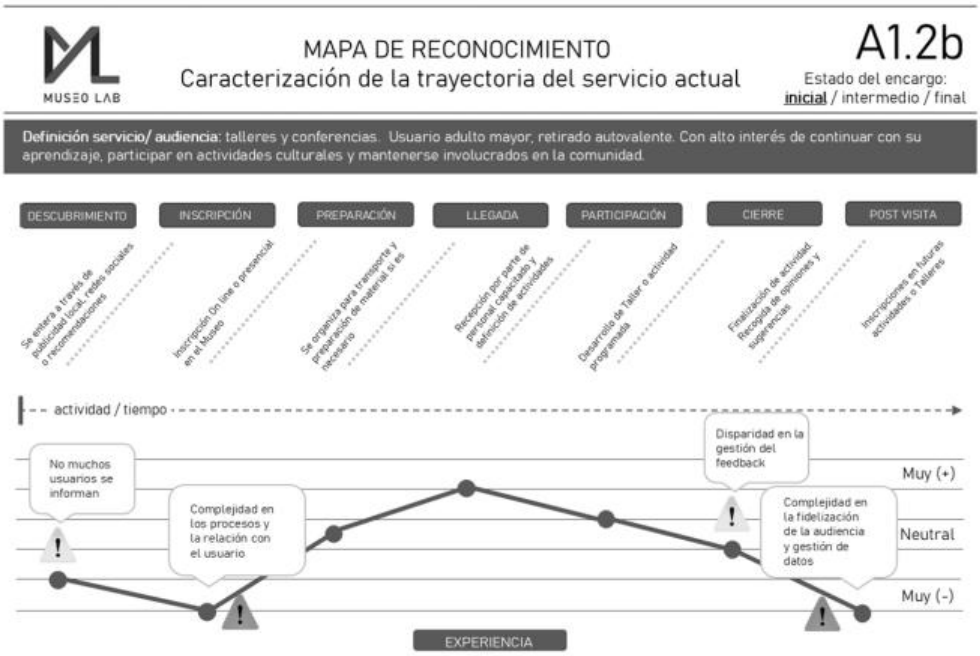
A partir de los datos obtenidos mediante el instrumento inicial, se evidenció el requerimiento más relevante de posicionamiento de marca institucional, que planteaba la participación gratuita, inclusiva y sostenible de la comunidad, en talleres y experiencias vinculadas al ámbito científico y cultural. Se identificó además, como segmento de mayor interés un nuevo perfil de usuario potencial: personas mayores autovalentes, residentes de la comuna, con una alta disposición para continuar procesos de aprendizaje, participar en actividades culturales y mantener vínculos activos con la comunidad. Este grupo, hasta el momento, no había sido considerado de forma específica en la oferta cultural existente por la sala del museo (Figura N°2).

Figura 2. Caracterización arquetípica de usuario potencial.



Fuente. Elaboración propia 2024.

Figura 3. Identificación de la trayectoria actual del servicio.



Fuente. Elaboración propia 2024.

Para comprender la relación entre este segmento y la prestación actual, se procedió al análisis de la trayectoria del servicio vigente proporcionado por MLab. Desde esta perspectiva arquetípica, se avanzó hacia un diagnóstico preliminar que permitió identificar la problemática central del proyecto. La Figura N°3 presenta los antecedentes recopilados, los cuales evidencian la necesidad de mejorar los mecanismos de comunicación con la audiencia objetivo, así como, poder optimizar los procesos internos de registro y gestión de datos fundamentales para establecer una relación continua y eficiente con el usuario.

Paralelamente, se evaluó la dimensión ambiental del servicio, considerando el impacto medioambiental asociado a la operación de la organización. Se constató que, entre los indicadores declarados por el MHNV/MLab (recursos, residuos y emisiones), el aspecto con mayor implicancia y por ende de mayor urgencia para ser abordado, corresponde al manejo de emisiones derivadas del transporte (Mora, 2024). En consecuencia, se realizó una estimación de la huella de carbono generada por el servicio en relación con la audiencia potencial, considerando las siguientes condiciones: i) clubes de adultos mayores de la comuna de Valparaíso (Chile); ii) capacidad máxima de la sala MLab: 40 personas; iii) distancia de desplazamiento no superior a un radio de 4 kilómetros; iv) medios de transporte utilizados: automóvil particular (trayecto puerta a puerta) y bus de transporte público (trayecto puerta–acercamiento–puerta).

La evaluación (Figura N°4) consideró diez (10) clubes de adultos mayores de la comuna de Valparaíso como potenciales participantes, con una asistencia promedio de cuatro (4) personas por evento. Para el cálculo de la huella total de CO_2 equivalente (CO_2 eq), se aplicaron factores de emisión estándar, considerando la distancia total recorrida por los asistentes hasta el lugar de destino (OECC, 2024; Moyano y Espinosa, 2024).

La estimación se realizó utilizando la siguiente fórmula:

$$HC_{total} = \frac{ECO2}{km\ p} x\ d_{total}\ x\ N°_{pasaj}$$

Donde:

HCtotal = es la huella total de CO2 equivalente.
ECO2/kmp = representa las emisiones de Kg CO2 equivalente por kilómetro-pasajero.
dtotal = es la distancia total recorrida en kilómetros.
N°pasaj = número de pasajeros

Se constató, que las actividades ofrecidas no contemplan un sistema de transporte específico para los usuarios, delegando en ellos la elección del medio de traslado, predominando de manera preferente el traslado en automóvil particular. Se entiende por tanto, que esta situación genera un impacto significativo en términos de emisiones. Incluso en el caso de optar por transporte público (bus colectivo), dada las particulares condiciones geográficas de la ciudad, se obliga al usuario a incluir dos tramos de acercamiento, lo que termina incrementando la huella total de CO_2.

Figura 4. Identificación de la trayectoria actual del servicio.

MUSEO LAB

FICHA DE DIAGNÓSTICO
Estatus ambiental actual del servicio

A2
Estado del encargo:
inicial / intermedio / final

Recursos o proceso a cuantificar : emisión CO2 por transporte para 40 pasajeros

N°	Identificación centros de Adultos Mayores	Kms. Ida y regreso a Museo (auto particular)	Kms. Ida, acercamiento y regreso a Museo (bus colectivo)	Factor de emisión total (auto particular) : kgCO2e/km	Factor de emisión total (bus colectivo) : kgCO2e/km
1	CÍRCULO DE VIEJOS TERCIOS SANTIAGO WANDERERS	1,14	1,71	0,19	0,17
2	CLUB ADULTO MAYOR AL PONERSE EL SOL	1,66	2,49	0,28	0,25
3	CLUB ADULTO MAYOR 12 DE OCTUBRE	7,4	11,1	1,26	1,13
4	CLUB ADULTO MAYOR ALEGRIA DE VIVIR EN LA ADULTEZ	5,2	7,8	0,88	0,80
5	CLUB ADULTO MAYOR AMANTES DEL PROGRESO	0,56	0,84	0,10	0,09
6	CLUB ADULTO MAYOR BENJAMIN VICUÑA MACKENNA	0,96	1,44	0,16	0,15
7	CLUB ADULTO MAYOR CORAZONES ALEGRES	0,84	1,26	0,14	0,13
8	CLUB ADULTO LOS LUCEROS	2,2	3,3	0,37	0,34
9	CLUB ADULTO MAYOR EL RENACER DE GABRIELA MISTRAL	7,6	11,4	1,29	1,17
10	CLUB ADULTO MAYOR ENLACES DORADOS	4,4	6,6	0,75	0,67
	Km TOTALES	31,96	47,94	5,43	4,90
			SUBTOTAL POR SERVICIO	217,11	195,98
			TOTAL ton.CO2e/km	0,22	0,20

Fuente. Elaboración propia 2024.

En respuesta a estas deficiencias – y de acuerdo con el propósito principal de la propuesta – se plantearon medidas orientadas al rediseño del servicio, con énfasis en sostenibilidad y eficiencia operativa; las siguientes, pueden ser revisadas en la Figura N° 5.

Así mismo, se recogen las medidas establecidas en busca de formular una estrategia general para el servicio propuesto, considerando las características de la organización mandante. Donde se ponderan perspectivas de viabilidad financiera para la implementación, de mejora interna institucional, así como también, respecto de la conformidad del cliente expresada en la optimización de la experiencia y su fidelización como consecuencia de esta. El detalle de esto puede ser revisado en la Figura N°6.

Figura 5. Identificación de atributos ambientales y medidas propuestas para el servicio.

MUSEO LAB

FICHA DE DIAGNÓSTICO
Estatus ambiental actual del servicio

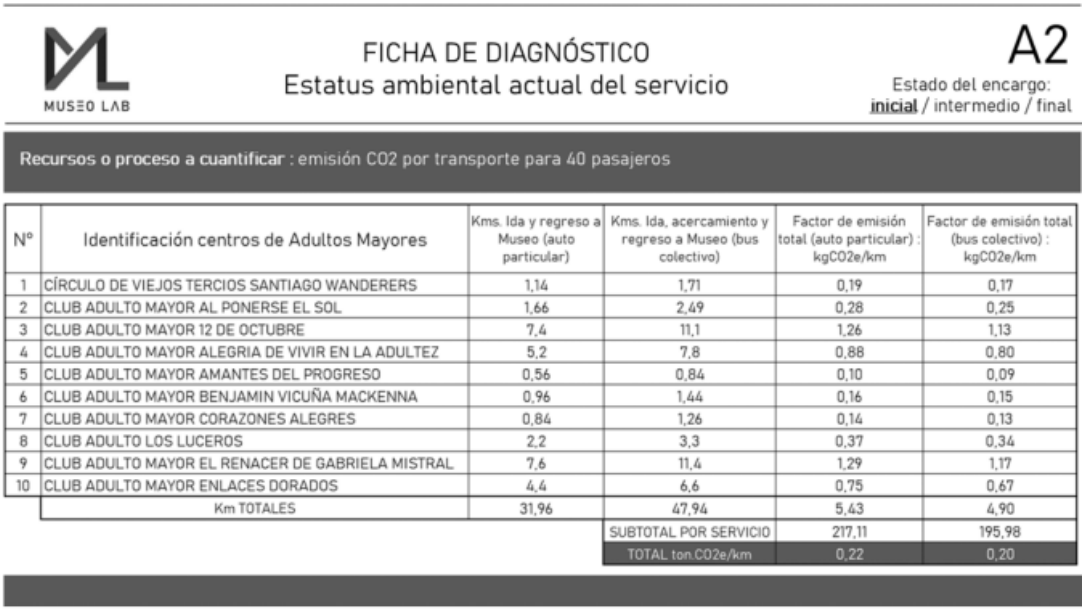
A2
Estado del encargo:
inicial / intermedio / final

Recursos o proceso a cuantificar : emisión CO2 por transporte para 40 pasajeros

N°	Identificación centros de Adultos Mayores	Kms. Ida y regreso a Museo (auto particular)	Kms. Ida, acercamiento y regreso a Museo (bus colectivo)	Factor de emisión total (auto particular) : kgCO2e/km	Factor de emisión total (bus colectivo) : kgCO2e/km
1	CÍRCULO DE VIEJOS TERCIOS SANTIAGO WANDERERS	1,14	1,71	0,19	0,17
2	CLUB ADULTO MAYOR AL PONERSE EL SOL	1,66	2,49	0,28	0,25
3	CLUB ADULTO MAYOR 12 DE OCTUBRE	7,4	11,1	1,26	1,13
4	CLUB ADULTO MAYOR ALEGRIA DE VIVIR EN LA ADULTEZ	5,2	7,8	0,88	0,80
5	CLUB ADULTO MAYOR AMANTES DEL PROGRESO	0,56	0,84	0,10	0,09
6	CLUB ADULTO MAYOR BENJAMIN VICUÑA MACKENNA	0,96	1,44	0,16	0,15
7	CLUB ADULTO MAYOR CORAZONES ALEGRES	0,84	1,26	0,14	0,13
8	CLUB ADULTO LOS LUCEROS	2,2	3,3	0,37	0,34
9	CLUB ADULTO MAYOR EL RENACER DE GABRIELA MISTRAL	7,6	11,4	1,29	1,17
10	CLUB ADULTO MAYOR ENLACES DORADOS	4,4	6,6	0,75	0,67
	Km TOTALES	31,96	47,94	5,43	4,90
			SUBTOTAL POR SERVICIO	217,11	195,98
			TOTAL ton.CO2e/km	0,22	0,20

Fuente. Elaboración propia 2024.

Figura 6. Definición de estrategia general para servicio propuesto.



MUSEO LAB

FICHA DE DIAGNÓSTICO
Estatus ambiental actual del servicio

A2
Estado del encargo:
inicial / intermedio / final

Recursos o proceso a cuantificar : emisión CO2 por transporte para 40 pasajeros

N°	Identificación centros de Adultos Mayores	Kms. Ida y regreso a Museo (auto particular)	Kms. Ida, acercamiento y regreso a Museo (bus colectivo)	Factor de emisión total (auto particular) : kgCO2e/km	Factor de emisión total (bus colectivo) : kgCO2e/km
1	CÍRCULO DE VIEJOS TERCIOS SANTIAGO WANDERERS	1,14	1,71	0,19	0,17
2	CLUB ADULTO MAYOR AL PONERSE EL SOL	1,66	2,49	0,28	0,25
3	CLUB ADULTO MAYOR 12 DE OCTUBRE	7,4	11,1	1,26	1,13
4	CLUB ADULTO MAYOR ALEGRIA DE VIVIR EN LA ADULTEZ	5,2	7,8	0,88	0,80
5	CLUB ADULTO MAYOR AMANTES DEL PROGRESO	0,56	0,84	0,10	0,09
6	CLUB ADULTO MAYOR BENJAMIN VICUÑA MACKENNA	0,96	1,44	0,16	0,15
7	CLUB ADULTO MAYOR CORAZONES ALEGRES	0,84	1,26	0,14	0,13
8	CLUB ADULTO LOS LUCEROS	2,2	3,3	0,37	0,34
9	CLUB ADULTO MAYOR EL RENACER DE GABRIELA MISTRAL	7,6	11,4	1,29	1,17
10	CLUB ADULTO MAYOR ENLACES DORADOS	4,4	6,6	0,75	0,67
	Km TOTALES	31,96	47,94	5,43	4,90
			SUBTOTAL POR SERVICIO	217,11	195,98
			TOTAL ton.CO2e/km	0,22	0,20

Fuente. Elaboración propia 2024.

Considerando lo anterior, las propuestas de diseño se estructuraron en tres conceptos para la puesta en marcha del potencial servicio:

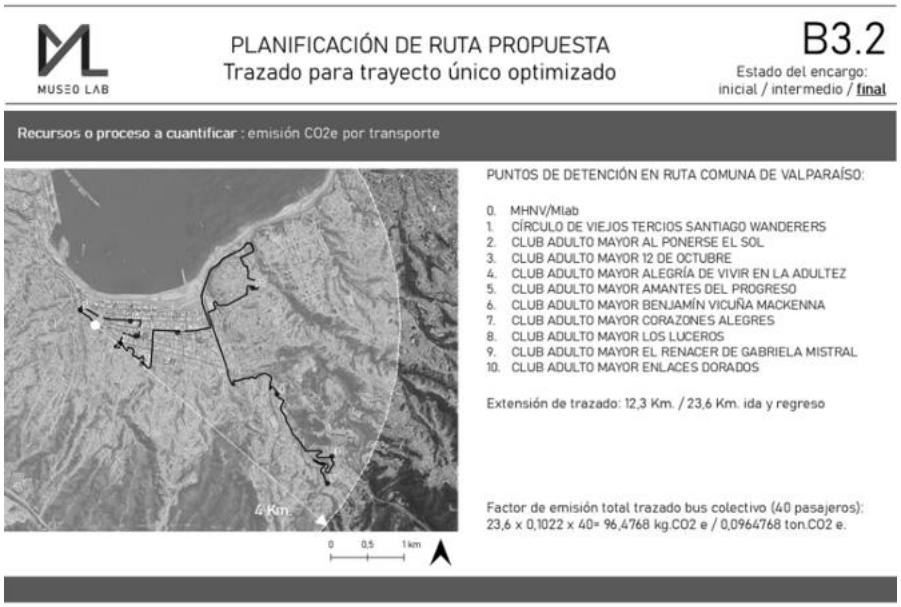
- Concepto A: itinerancia de actividades
- Concepto B: difusión / fidelización mediante mensajería y redes sociales
- Concepto C: definición de rutas integradas a los eventos de MLab

La selección final se realizó en función de criterios de sostenibilidad económica y ambiental, por lo que la alternativa elegida (B) fue evaluada en función de su propósito estratégico, orientado a fortalecer las nuevas actividades desarrolladas por MLab. Esta propuesta busca fomentar la inclusión y establecer una comunicación continua con nuevos segmentos de usuarios, particularmente con personas mayores, mediante el uso de herramientas digitales y plataformas pertinentes. Facilitando la inscripción asistida mediante mensajería y promoviendo la participación a través de incentivos.

Desde el inicio, se reconoció el potencial de las redes sociales como medios eficaces para la promoción y vinculación con las audiencias, con el objetivo de mejorar la experiencia del usuario y fomentar su fidelización. En este contexto, se adoptó el enfoque de CRM colaborativo (Customer Relationship Management), utilizando medios digitales como soporte para la gestión de relaciones con los usuarios (Fauziyyah y Sugiantoro, 2024; Amali, 2024).

Considerando las características del público objetivo y su relación con el uso de Internet en el contexto nacional (Pérez, 2022; Observatorio del Envejecimiento, 2022), se propuso la creación de un canal de difusión mediante la aplicación WhatsApp Business. Esta plataforma se consideró conveniente para las necesidades del museo y adecuada para facilitar la interacción con personas mayores. El grupo creado tiene como finalidad compartir información sobre MLab, invitar a actividades, coordinar su realización y ofrecer asistencia personalizada a través de mensajes interactivos. Además, se contempla el uso de estados, mensajes periódicos y un sistema de premios simbólicos como estrategia para incentivar la participación y el aprendizaje continuo; como por ejemplo, la creación del programa de embajadores MLab, destinado a reconocer los usuarios más activos y considerados lideres de grupo.

Figura 7. Trazado para trayecto único propuesto.



Fuente. Elaboración propia 2024.

Otro aspecto relevante del servicio fue la optimización de la huella de carbono asociada al transporte. Dado que las actividades requieren la presencia física en sala de los participantes, se propuso la organización de un sistema de transporte basado en una ruta única para la recogida de usuarios. Esta ruta fue diseñada mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica (SIG), utilizando el software de código abierto QGIS. La planificación consideró variables como las características urbanas de la comuna de Valparaíso, los puntos de detención previstos y las vías principales de acceso, todas ellas georreferenciadas para obtener un trazado eficiente. La extensión del recorrido y las emisiones estimadas pueden ser consultadas en la Figura N°7.

La articulación de la ruta de transporte propuesta se fundamenta en las confirmaciones de asistencia realizadas por los usuarios a través del Grupo de Difusión de WhatsApp (GDW), creado para las actividades programadas por MLab. A partir de esta interacción, se inicia un proceso de geolocalización de puntos potenciales de detención, considerando tanto la ubicación de los clubes de adultos mayores como zonas cercanas que faciliten el acceso de los participantes.

Con base en esta estructura conceptual, se procedió a la planificación prospectiva de la trayectoria del servicio, definiendo el perfil del usuario esperado por MLab, los puntos clave del recorrido, los requerimientos para su participación y los medios tecnológicos involucrados. Estos elementos se integran en las distintas fases del servicio, conectando todos sus componentes, itinerario de acciones, puntos de contacto y la experiencia del usuario. Esto es factible resumirlo en los siguientes puntos:

- A) Necesidades del usuario: comunicación inclusiva; fácil acceso a la tecnología; actividades acordes a sus intereses (adulto mayor); pertinencia horaria; reconocimiento y motivación; transporte cómodo y confiable; apoyo con contenido visual y auditivo.
- B) Acciones por parte del usuario: unirse a GDW; indicar asistencia y responder encuesta; agendar hora y parada para transporte; invitar a otros pares; desplazarse al punto de recogida de transporte; asistir y participar en las actividades; proporcionar data relevante en sala MLab.
- C) Facilitadores para la acción: tangibles (internet y smartphones, transporte por parte de MLab., infraestructura y dispositivos MLab).; intangibles (disposición para actividades y capacitación, facilitación y monitoreo de MLab.)

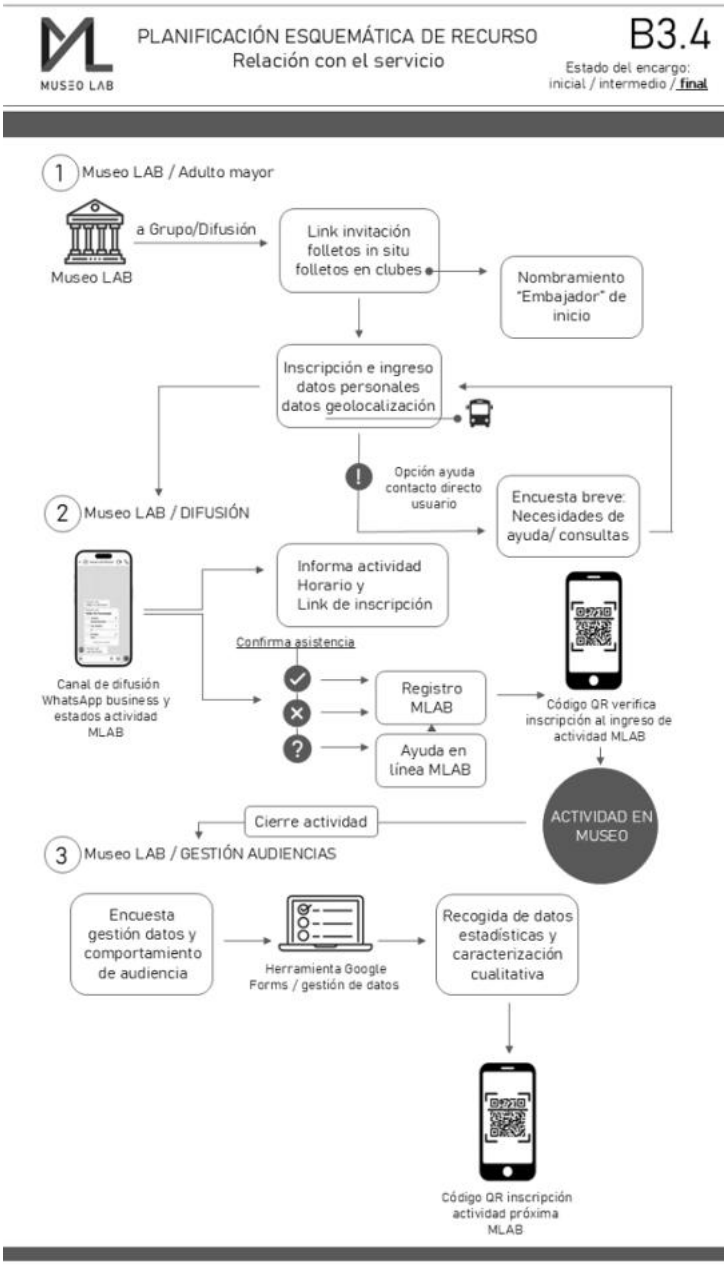
Posteriormente, se desarrolló la planificación esquemática de la trayectoria del usuario dentro del servicio, estableciendo su relación con el sistema de CRM colaborativo a través del GDW, así como, a partir de la asistencia en sala. Considerando para esto formularios en línea para la recogida y gestión de datos.

La planificación contempló tres instancias fundamentales para su configuración:

1. Activación institucional desde MLab hacia organizaciones de adultos mayores.
2. Interacción digital entre MLab y el GDW.
3. Gestión de audiencias / levantamiento de datos por parte de MLab.

El flujo de estas interacciones, junto con los puntos de contacto entre el usuario y el servicio, se presenta en la Figura N°8.

Figura 8. Trazado para trayecto único propuesto.



Fuente. Elaboración propia 2024.

5. Discusión.

La estrategia metodológica planteada incorporó principios de ecodiseño como una directriz estratégica para fortalecer el desarrollo de servicios, integrando además la participación del usuario como eje central en la gestión co-creativa de valor y experiencia. Esta orientación fue respaldada por la institución proveedora, que reconoció dicho enfoque como un componente no gestionado hasta el momento, pero como un factor diferenciador relevante, así como, sostenible dentro del proyecto.

Una característica destacada del método fue su flexibilidad, permitiendo su adaptación a los requerimientos específicos de la institución mandante. En este contexto, se consideró innecesario realizar diagnósticos sobre la huella de carbono en áreas no solicitadas por MLab, como el cálculo de consumo energético y generación de residuos. La aplicabilidad práctica del enfoque metodológico fue valorada positivamente durante el desarrollo del proyecto y en la fase específica de formulación de propuestas. Dada la facilidad de adaptación de este, a las urgencias y escenarios que desde la institución en evaluación pudieron ser identificados.

El usuario potencial, como actor clave en la definición del servicio, estableció la necesidad de garantizar acceso y conectividad informativa, como prestaciones prioritarias a considerar. Factores como la dificultad de desplazamiento en zonas residenciales con topografía compleja y las barreras de alfabetización digital fueron determinantes en la conceptualización del servicio. En función de lo anterior, se propuso la implementación de una plataforma digital de comprensión simplificada y de frecuente utilización (GDW), la cual demostró ser una solución eficaz para avanzar en la propuesta. Esta plataforma se ajustó funcionalmente tanto al contexto territorial como a las características conductuales de los usuarios, facilitando una implementación operativa del servicio. Se destacó su capacidad de generar asistencia e interacción inmediata, de fácil comprensión y con alto dinamismo entre la institución y los usuarios, contribuyendo por tanto al cumplimiento de los objetivos ambientales definidos.

Finalmente, la plataforma permitió una gestión eficiente del trazado óptimo del recorrido asociado al servicio, considerando las condiciones geográficas de la ciudad. Por lo que la planificación por georeferenciación se tradujo en una reducción del consumo de combustible y, por ende, en una disminución de la huella de carbono vinculada a la movilización. Así mismo, dicho espacio de interacción virtual facilitó la recogida y gestión de datos relativos a la fidelización de los usuarios, su satisfacción y por tanto la experiencia vinculada.

6. Conclusiones.

El método implementado permitió avanzar hacia soluciones de diseño orientadas a la sostenibilidad ambiental, particularmente en el contexto de la generación de exposiciones para la divulgación cultural. La herramienta desarrollada en este proceso se consolidó como un recurso útil para el ensayo de proyectos colaborativos en entornos académico-formativos, y al mismo tiempo, mostró un potencial significativo para su aplicación profesional en el sector de las industrias culturales y creativas del país.

El procedimiento metodológico facilitó la identificación y caracterización del servicio abordado, mediante la recopilación y análisis de información relevante proveniente de las partes involucradas. Esta información fue ponderada con énfasis en las externalidades ambientales, estableciendo así un eje central para su evaluación. La presentación estructurada de los datos permitió una visualización integral de las variables implicadas, funcionando como una efectiva guía que respaldó el análisis contextual del servicio.

La evaluación diagnóstica realizada tuvo una influencia directa en la formulación de estrategias orientadas a la mejora ambiental del servicio. Estas estrategias debían responder tanto a los requerimientos generales definidos por el mandante como a las condiciones específicas del museo en términos financieros, logísticos, normativos y de personal. Por ende, se requirió una selección dirigida de alternativas de servicio, regulada por criterios objetivos y sustentada en evaluaciones sistemáticas de los conceptos desarrollados durante la etapa de diseño. En este marco, el poder cruzar de forma sistemática las especificaciones de diseño con distintas alternativas conceptuales, se constituyó como un ejercicio clave e indispensable para la ponderación y búsqueda de soluciones óptimas, alineadas con los criterios establecidos.

Las estrategias de diseño propuestas lograron adecuarse al análisis contextual, sustentado en la gestión de información relevante y en las necesidades prioritarias identificadas directamente por el mandante (ficha B1). Las alternativas consideradas incorporaron medidas específicas de mitigación ambiental desde la concepción misma del servicio, posicionando estas iniciativas como elementos estructurantes y fundamentales para la agregación de valor. Asimismo, se contemplaron mecanismos que favorecieran la revisión continua del servicio y su articulación con la organización proveedora (MLab). En este sentido, la integración de plataformas digitales para la gestión de mejoras fue la opción preferente, al constituirse como una herramienta eficaz para avanzar de manera simultánea en la eficiencia organizacional, así como, en la satisfacción del usuario (Lee et al., 2021). Se pondera favorablemente la proyección de resultados en relación con la audiencia establecida, destacando la lealtad y el compromiso del cliente, quien percibe la institución como un espacio pertinente y accesible.

Las soluciones de diseño desarrolladas pusieron especial atención en las características del usuario y en su experiencia directa, reconociendo este aspecto como un factor determinante para la valoración del servicio. Se concluye, por tanto, que esta perspectiva representa un enfoque más integral, superando la mera incorporación de medidas de mitigación ambiental como remedial agregado. En su lugar, se propone una integración equilibrada de variables técnicas, sociales y ambientales, junto con la ponderación de los intereses de las partes involucradas y las interacciones necesarias en el proceso de ideación de servicios sostenibles.

En consecuencia, se considera que este enfoque favorecería la integración colectiva de los principios que sustentan las buenas prácticas medioambientales, así como su impacto en la generación de valor dentro de instituciones y organizaciones prestadoras de servicios (Font et al., 2021; Tran y Vu, 2021).

Finalmente, es relevante señalar que las propuestas obtenidas a partir de la aplicación del procedimiento metodológico constituyen el resultado de un ensayo académico inicial para el diseño de servicios sostenibles. No obstante, este proceso permitió integrar conceptos fundamentales del ecodiseño, mediante la implementación de procedimientos abreviados que podrían ser incorporados en las fases habituales del diseño de servicios, en estrecha relación con la gestión de mejoras orientadas a la experiencia del usuario.

7. Referencias

1. Aagaard, A., y Ritzén, S. (2020). The critical aspects of co-creating and co-capturing sustainable value in service business models. *Creativity and Innovation Management, 29*(2), 292-302.
https://doi.org/10.1111/caim.12339

2. Acartürk, C., Ulubay, M., y Erdur, E. (2021). Continuous improvement on maturity and capability of Security Operation Centres. *IET Information Security, 15*(1), 59-75.
https://doi.org/10.1049/ise2.12005

3. Adewale, B. A., y Ene, V. O. (2024). An Assessment of the Implementation of Green Design Strategies in Selected Museums in Abuja, Nigeria. *Civil Engineering and Architecture, 12*(3A), 2461-2481. https://doi.org/10.13189/cea.2024.121337

4. Amali, M. I. (2024). E-CRM based on instagram social media as a museum promotion forum. *perspektif: Journal of Social and Library Science, 2*(1), Article 1. https://doi.org/10.70489/perspektif.v2i1.242

5. Baldassarre, B., Keskin, D., Diehl, J. C., Bocken, N., y Calabretta, G. (2020). Implementing sustainable design theory in business practice: A call to action. *Journal of Cleaner Production, 273*, 123113. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123113

6. Barbosa, M., Castañeda -Ayarza, J. A., y Lombardo Ferreira, D. H. (2020). Sustainable Strategic Management (GES): Sustainability in small businesses. *Journal of Cleaner Production, 258*, 120880. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120880

7. Barile, S., Grimaldi, M., Loia, F., y Sirianni, C. A. (2020). Technology, Value Co-Creation and Innovation in Service Ecosystems: Toward Sustainable Co-Innovation. *Sustainability, 12*(7), Article 7.
https://doi.org/10.3390/su12072759

8. Benzaghta, M., Elwalda, A., Mousa, M., Erkan, I., y Rahman, M. (2021). SWOT analysis applications: An integrative literature review. *Journal of Global Business Insights, 6*(1), 55-73.
https://doi.org/10.5038/2640-6489.6.1.1148

9. Biedermann, A. M., López, N. M., Lapesa, I. R., Pérez, F. J. G., y Sáenz, J. L. S. (2023). Sustainable services planning. Methods supporting the design of cultural exhibitions. *Heliyon, 9*(9). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19866

10. Blank, S. (2020). *The Four Steps to the Epiphany: Successful Strategies for Products that Win* (5°). John Wiley & Sons.

11. Brambila-Macias, S. A., y Sakao, T. (2021). Effective ecodesign implementation with the support of a lifecycle engineer. *Journal of Cleaner Production, 279*, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123520

12. Carbone, F., Oosterbeek, L., Costa, C., y Ferreira, A. M. (2020). Extending and adapting the concept of quality management for museums and cultural heritage attractions: A comparative study of southern European cultural heritage managers' perceptions. T*ourism Management Perspectives, 35*, 100698.
https://doi.org/10.1016/j.tmp.2020.100698

13. Corsini, L., Moultrie, J. (2021). What Is Design for Social Sustainability? A Systematic Literature Review for Designers of Product-Service Systems. *Sustainability, 13*(11), Article 11.
https://doi.org/10.3390/su13115963

14. Cross, N. (2021). *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design* (5°). John Wiley & Sons Ltd.

15. Dinh, T. L., Dam, N. A. K., Ourabi, H. E., Menvielle, W., Trespeuch, L., y Zouiten, S. (2024). Customer Intelligence in the Cultural Sector: The Case of a Quebec Museum. *ITM Web of Conferences, 66*(1003), 10. https://doi.org/10.1051/itmconf/20246601003

16. Doualle, B., Medini, K., Boucher, X., Brissaud, D., y Laforest, V. (2020). Selection method of sustainable product-service system scenarios to support decision-making during early design stages. *International Journal of Sustainable Engineering, 13*(1), 1-16.
https://doi.org/10.1080/19397038.2019.1660432

17. Elgazzar, M. A. G. (2024). The impact of Eco-Design strategies in improving Industrial Product Lifecycle. *International Design Journal, 14*(1), 381-395. https://doi.org/10.21608/idj.2024.329320

18. Fauziyyah, K., y Sugiantoro, H. A. (2024). Customer Relations Management Sonobudoyo Museum in Improving Brand Loyality. *AICCON, 1*, 155-165.

19. Figueroa, B., Mollenhauer, K., Rico, M., Salvatierra, R., y Wuth, P. (2017). *Creando valor a través del diseño de servicios* (Bernasconi, Renato). Pontificia Universidad Católica de Chile. https://innovadorespublicos.cl/documentation/publication/62/

20. Font, X., English, R., Gkritzali, A., y Tian, W. (Stella). (2021). Value co-creation in sustainable tourism: A service-dominant logic approach. *Tourism Management, 82*, 104200. https://doi.org/10.1016/j.tourman.2020.104200

21. Gain, A. M., McColl-Kennedy, J. R., y Breidbach, C. F. (2023). Managing Sustainable Services: A Systematic Literature Review. *Business Research Proceedings, 1*(1), 29-31. https://doi.org/10.51300/brp-2023-69

22. García-Sánchez, I.-M., Gallego-Álvarez, I., y Zafra-Gómez, J.-L. (2020). Do the ecoinnovation and ecodesign strategies generate value added in munificent environments? *Business Strategy and the Environment, 29*(3), 1021-1033. https://doi.org/10.1002/bse.2414

23. Giannini, T., y Bowen, J. P. (2022). Museums and Digital Culture: From Reality to Digitality in the Age of COVID-19. *Heritage, 5*(1), Article 1. https://doi.org/10.3390/heritage5010011

24. Hansson, P., y Öhman, J. (2022). Museum education and sustainable development: A public pedagogy. *European Educational Research Journal, 21*(3), 469-483. https://doi.org/10.1177/14749041211056443

25. He, B., Li, F., Cao, X., y Li, T. (2020). Product Sustainable Design: A Review From the Environmental, Economic, and Social Aspects. *Journal of Computing and Information Science in Engineering, 20*(4). https://doi.org/10.1115/1.4045408

26. Hong, Z., Woo, X. (2019). Green product supply chain contracts considering environmental responsibilities. *Omega, 83*, 155-166. https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.02.010

27. Ihobe. (2020). *Métodos de huella ambiental de productos y servicios. Indicadores Ambientales* [Web de de información y educación]. https://www.ihobe.eus.

28. Ihobe. (2023). E*codiseño circular. Manual práctico de Ecodiseño para una economía circular* [Web de de información y educación]. https://www.ihobe.eus.

29. Ihobe. (2024). *Guía metodológica para la integración de métricas de evaluación de impacto ambiental de organización* [Web de de información y educación]. https://www.ihobe.eus.

30. International Standar Organization ISO. (2011). ISO 14006:2011(es), Sistemas de gestión ambiental—*Directrices para la incorporación del ecodiseño* [Web de de información y educación]. ISO, Online Browsing Platform (OBP). https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14006:ed-1:v1:es

31. International Standar Organization *ISO. (2015). ISO 14001:2015* [Web de de información y educación]. ISO. https://www.iso.org/es/norma/14001

32. International Standar Organization ISO. (2018). ISO 9241-11:2018(en), *Ergonomics of human-system interaction—Part 11: Usability: Definitions and concepts* [Informativa]. ISO, Online Browsing Platform (OBP). https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:9241:-11:ed-2:v1:en

33. Kalbach, J. (2020). *Mapping Experiences* (2°). O'Reilly Media, Inc.

34. Kaplan, R., y Norton, D. (2016). *El cuadro de mando integral* (2°). Gestión 2000.

35. Lee, S., Oh, H. Y., y Choi, J. (2021). Service Design Management and Organizational Innovation Performance. *Sustainability, 13*(1), Article 1. https://doi.org/10.3390/su13010004

36. Mason, M. (2020). The Elements of Visitor Experience in Post-Digital Museum Design. *Design Principles and Practices: An International Journal—Annual Review, 14*(1), 1-14. https://doi.org/10.18848/1833-1874/CGP/v14i01/1-14

37. Mora, C. (2024, junio 5). *Memoria de Sostenibilidad N°2. Museo de Historia Natural de Valparaíso* [Web información ministerial]. Museo de historia natural Valparaíso. Servicio Nacional del Patrimonio Cultural. https://www.mhnv.gob.cl/publicaciones/

38. Moyano, N., y Espinosa, A. (2024). *Factores de emisión para el cálculo de la huella de carbono. Nivel básico* (3; Huella Chile. Programa gestión del carbono, p. 9). Ministerio del Medio ambiente. Gobierno de Chile. https://huellachile.mma.gob.cl/

39. Oficina Española de Cambio Climático. (2024). *Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización*. © Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/

40. Palazzo, A. C., Bertelli, M., y Gaspari, J. (2024). A Systemic Review on the Adoption of Service Design Practices to Improve the Quality of User Experience and Organization in the Healthcare Environment. *Sustainability, 16*(13), Article 13. https://doi.org/10.3390/su16135595

41. Pérez, C. (2022, junio 22). *WhatsApp y Facebook: Por primera vez, más de la mitad de los mayores en Chile usan teléfonos inteligentes* [Noticias y reportajes]. La Tercera. https://www.latercera.com/que-pasa/noticia/

42. Peripolli, C., Marques da Rosa, J., y Eccel, G. (2024). The Adoption of Product-Service System Business Models: A Multiple Case Study. *Journal of technology management & innovation, 19*(3), 3-14. https://doi.org/10.4067/S0718-27242024000300003

43. Puyt, R. W., Lie, F. B., y Wilderom, C. P. M. (2023). The origins of SWOT analysis. *Long Range Planning, 56*(3), 102304. https://doi.org/10.1016/j.lrp.2023.102304

44. Salunke, S., Weerawardena, J., y McColl-Kennedy, J. R. (2019). The central role of knowledge integration capability in service innovation-based competitive strategy. *Industrial Marketing Management, 76*, 144-156. https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2018.07.004

45. Sierra-Pérez, J., Teixeira, J. G., Romero-Piqueras, C., y Patrício, L. (2021). Designing sustainable services with the ECO-Service design method: Bridging user experience with environmental performance. *Journal of Cleaner Production, 305*, 127228. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127228

6. Singhal, T. S., Jain, J. K., Ramacharyulu, D. A., Jain, A., Abdul-Zahra, D. S., Manjunatha, M., y Srivastava, A. P. (2024). Eco-Design of Products and Processes: A Review on Principles and Tools for Sustainable Manufacturing. *E3S Web of Conferences, 505*, 1033. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450501033

47. Soh, K. L., y Wong, W. P. (2021). Circular economy transition: Exploiting innovative eco-design capabilities and customer involvement. *Journal of Cleaner Production, 320*, 128858. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128858

48. Stickdorm, M., Lawrence, A., Hormess, M., y Schneider, J. (2025). *Method Library—This is Service Design Doing* [Web de de información y educación]. This is service design doing. https://www.thisisservicedesigndoing.com/methods

49. Stickdorn, M., Hormess, M. E., Lawrence, A., y Schneider, J. (2018). *This Is Service Design Doing*. O'Reilly Media, Inc.

50. Tran, T. B. H., y Vu, A. D. (2021). From customer value co-creation behaviour to customer perceived value. *Journal of Marketing Management, 37*(9-10), 993-1026. https://doi.org/10.1080/0267257X.2021.1908398

51. Venegas, M. E. (2024). *Didáctica proyectual desde la perspectiva económica circular.* [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València]. https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/207339

52. Venegas, M. E., Martínez, M. B., & Jacob, R. (2023). Diseño de envases y embalajes. Una propuesta de Ecodiseño abreviado, bajo los requerimientos normativos de la ley REP en Chile. *Revista 180, 51*, Article 51. http://dx.doi.org/10.32995/rev180.Num-51.(2022).art-1064

53. Venegas, M., Martinez, M., y Jacob, R. (2023). Prospects for the Applicability of Ecodesign in University Industrial Designer Training in Chile. *AUS [Arquitectura / Urbanismo / Sustentabilidad]; No. 33 (2023); 12-19.* https://doi.org/10.4206/aus.2023.n33-03

54. Vink, J., Koskela-Huotari, K., Tronvoll, B., Edvardsson, B., y Wetter-Edman, K. (2021). Service Ecosystem Design: Propositions, Process Model, and Future Research Agenda. *Journal of Service Research, 24*(2), 168-186. https://doi.org/10.1177/1094670520952537

55. Vyhouski, N. (2025). *Todo Lo Que Necesitas Saber Sobre UX Sketching | Toptal®* [Web de de información y educación]. Toptal Design Blog. https://www.toptal.com/designers/ux/

56. Wei Lun Lee, A., Ying Chung, S., Shee Tan, Y., Mun Ho Koh, S., Feng Lu, W., y Sze Choong Low, J. (2023). Enhancing the environmental sustainability of products through ecodesign: A systematic review. *Journal of Engineering Design, 34*(10), 814-843. https://doi.org/10.1080/09544828.2023.2261094

57. Wu, Y., Jiang, Q., Liang, H., y Ni, S. (2022). What Drives Users to Adopt a Digital Museum? A Case of Virtual Exhibition Hall of National Costume Museum. *Sage Open,12*(1),21582440221082105. https://doi.org/10.1177/21582440221082105

8. Notas:

1 Los recursos aplicados, se encuentran disponibles en el siguiente link para su revisión completa: https://drive.google.com/drive/folders/1lj5MZZV8MPC1wo7wBnlb_L9FmtwNgFQb?usp=-drive_link

ALCANCE Y LIMITACIONES DE LA IA GENERATIVA EN LA CREACIÓN DE MODELOS 3D MEDIANTE PROMPTS EN LENGUAJE NATURAL: ESTUDIO EXPLORATORIO EN DISEÑO INDUSTRIAL CON IMPRESIÓN 3D

SCOPE AND LIMITATIONS OF GENERATIVE AI IN THE CREATION OF 3D MODELS THROUGH NATURAL LANGUAGE PROMPTS: AN EXPLORATORY STUDY IN INDUSTRIAL DESIGN WITH 3D PRINTING

Juan-Pablo Olguin[1], Emanuel Gustavo Contreras Alarcón[1], Rafael-Leonardo Ochoa-Urrego[1]

[1]*Departamento de Tecnologías de Gestión, Facultad Tecnológica, Universidad Santiago de Chile, Santiago, Chile (Juan-Pablo Olguin, juanpablo.olguin@usach.cl; Emanuel Gustavo Contreras Alarcón, emanuel.contreras@usach.cl; Rafael-Leonardo Ochoa-Urrego, rafael.ochoa@usach.cl)*

https://doi.org/10.17613/xa5yd-d2481

Resumen

Este capítulo presenta un estudio exploratorio sobre el alcance de herramientas basadas en IA generativa para producir modelos 3D a partir de prompts en lenguaje natural, con foco en diseño industrial y validación mediante impresión 3D. Se evaluaron dos sistemas (ChatGPT y DeepSeek) mediante tres casos de complejidad creciente: un cubo de 30 mm, una llave Allen de especificación dimensional, y un cierre tipo "tip-top" para cinta de 20 mm. Los criterios de éxito fueron: apertura correcta en software 3D e imprimibilidad y funcionalidad en fabricación aditiva. En paralelo, se consideró un flujo tradicional basado en ingeniería inversa y modelado CAD por un diseñador industrial. Los hallazgos indican que, aunque la IA logra resolver geometrías simples cuando se solicita salida tipo STL, no se alcanzó consistencia suficiente para obtener piezas funcionales de complejidad media solo mediante lenguaje natural, evidenciando una brecha actual entre "descripción" y "geometría manufacturable". Este resultado es coherente con una tendencia reciente en la cual gran parte del progreso en text-to-3D se orienta a activos 3D visuales, mientras que el uso físico requiere integración de restricciones y validación mecánica.

Palabras clave: Inteligencia Artificial Generativa, Text-To-3D, Text-To-CAD, Modelado 3D, Impresión 3D

Abstract:

This chapter presents an exploratory study on the scope of generative AI-based tools for producing 3D models from natural language prompts, focusing on industrial design and validation through 3D printing. Two systems (ChatGPT and DeepSeek) were evaluated through three cases of increasing complexity: a 30 mm cube, an Allen wrench with dimensional specifications, and a "tip-top" type fastener for 20 mm straps. The success criteria were: correct opening in 3D software, as well as printability and functionality in additive manufacturing. In parallel, a traditional workflow based on reverse engineering and CAD modeling conducted by an industrial designer was considered. The findings indicate that, although AI can solve simple geometries when STL-type output is requested, sufficient consistency was not achieved to obtain functional medium-complexity parts solely through natural language, revealing a current gap between "description" and "manufacturable geometry." This result is consistent with a recent trend in which much of the progress in text-to-3D has focused on visual 3D assets, whereas physical applications require the integration of constraints and mechanical validation.

Keywords: Generative artificial intelligence, text-to-3D, text-to-CAD, 3D modeling, 3D printing.

1. Introducción

Las interfaces del software especializado en diseño asistido por computador (CAD) y de las herramientas de modelado tridimensional se basan en lenguajes geométricos especializados, interfaces paramétricas y habilidades técnicas que demandan una curva de aprendizaje considerable. Bajo este escenario, aparecen las herramientas de inteligencia artificial (IA) generativa y especialmente los grandes modelos de lenguaje (LLM por sus siglas en inglés) los cuales prometen acortar la distancia entre el lenguaje natural y las geometrías tridimensionales. Este enfoque conocido como "text-to-3D" reactiva una búsqueda técnica en donde se acerca la intención del usuario y la representación formal del objeto. En los últimos años se ha presentado un crecimiento importante en los métodos capaces de producir modelos 3D a partir de texto. Dichos métodos se basan en representaciones 3D más flexibles, preentrenamiento multimodal y técnicas de difusión y renderizado diferenciable. Como resultado se obtienen "activos visuales" los cuales son muy llamativos para las fases de visualización, animación y prototipado (Lee et al., 2024; Park et al., 2026).

A pesar de estos avances, la promesa de describir para diseñar se enfrenta a un nuevo desafío cuando el objetivo no es visualizar un objeto, sino pasar a su fabricación directamente mediante técnicas como la fabricación aditiva (impresión 3D) y, más ampliamente, el diseño para manufactura aditiva (DfAM) las cuales exigen condiciones geométricas, tolerancias y restricciones de proceso de una precisión muy alta.

La literatura clásica de DfAM muestra que la libertad de diseño en forma y complejidad se enfrenta de manera constante con limitaciones estructurales y formales tales como la discretización, orientación de fabricación, necesidad de soportes, anisotropías mecánicas y parámetros de proceso que afectan calidad superficial, estabilidad dimensional y consistencia del resultado (Thompson et al., 2016). En este sentido, distintos estudios han concluido que, aunque existen métodos, guías y software que apoyan el DfAM, persiste el reto de traducir los elementos propios de diseño en objetos cuyas geometrías sean realistas en términos funcionales, de verificación y de posibilidades de fabricación (Wiberg et al., 2019).

Dicha brecha de factibilidad se profundiza cuando los modelos generados con IA o LLM se exportan directamente a formatos de malla, tales como los archivos STL/OBJ propios de los flujos de impresión 3D. Es posible generar un archivo con un formato STL correcto desde el punto de vista computacional, pero que el objeto representado no pueda ser impreso debido a violaciones topológicas (no-manifold), auto-intersecciones, superficies de espesor cero o ambigüedades volumétricas que impiden definir un sólido consistente. En este sentido Attene (2018) estudia la brecha entre lo computacionalmente correcto y lo imprimible y propone un procedimiento automático de reparación que convierta el modelo 3D en uno que sea tan exacto como sea posible, minimizando las distorsiones. Como resultado se evidencia que la generación automática de modelos 3D no puede ser evaluada únicamente por su apariencia o por la fidelidad entre el objeto y el prompt, sino que requiere incluir una evaluación de la calidad geométrica para la fabricación y el costo, tanto en tiempo como en dinero, de las correcciones para alcanzar la imprimibilidad.

Adicionalmente, es necesario incluir restricciones asociadas a la impresión 3D, especialmente a las tecnologías de deposición de material (FDM por sus siglas en inglés). La exactitud de dichas tecno-

logías está condicionada por parámetros del proceso tales como la temperatura, velocidad, altura de la capa u orientación; las cuales inducen desviaciones sistemáticas en los objetos impresos. En estudios empíricos y de optimización se ha documentado que la precisión dimensional de los objetos impresos en 3D puede mejorarse considerablemente mediante estrategias de ajuste de parámetros de impresión y criterios de diseño experimental. Estos resultados confirman que la factibilidad de un objeto no está solamente definida por la claridad del modelo, sino que emerge de la combinación entre geometría, material y proceso (Mohamed et al., 2016). Adicionalmente, la evidencia disponible sugiere que, aunque se exploran integraciones de modelos de lenguaje en flujos CAD para asistir el diseño y reducir tareas repetitivas, persisten desafíos de robustez, verificación y trazabilidad del modelado cuando se busca precisión geométrica y reproducibilidad (Deng et al., 2024).

En resumen, la evaluación de la IA generativa como una herramienta para crear modelos 3D orientados a la impresión debe considerar como mínimo la imprimibilidad topológica y la geometría de la malla, la adecuación del diseño a las restricciones DfAM y la sensibilidad del resultado a las condiciones de fabricación y tolerancia.

Buscando aportar a esta discusión, este capítulo realiza un estudio exploratorio orientado a describir el alcance las limitaciones de la IA generativa, específicamente los LLM, en la generación de modelos 3D mediante prompts de lenguaje natural. Como consecuencia, este estudio busca responder a las siguientes preguntas ¿qué tan posible es obtener modelos 3D listos para impresión 3D mediante herramientas de IA generativa, considerando factores de control, precisión y confiabilidad? Adicionalmente, se buscar responder a la pregunta ¿qué tan eficiente es el proceso de generación de modelos 3D utilizando IA generativa frente al flujo tradicional de diseño basado en ingeniería inversa y CAD, realizado por una persona experta en diseño industrial? De manera coherente, los objetivos del estudio son tres. Primero, evaluar el desempeño de la IA en la generación de geometrías simples, medias y complejas usando criterios de impresión 3D; segundo, documentar iteraciones de prompts y tipologías de fallas (semánticas, geométricas y de manufacturabilidad); y, finalmente, comparar, con registro reproducible, el flujo basado en IA frente a un flujo tradicional en términos de control y tiempo de producción del modelo.

El aporte principal del capítulo es doble. En primer lugar, propone una lectura crítica que conecta la literatura de text-to-3D (centrada con frecuencia en la calidad visual) con el cuerpo consolidado de DfAM y con problemas técnicos de imprimibilidad y reparación de mallas, subrayando que "generar" no equivale a "fabricar" (Attene, 2018; Thompson et al., 2016; Wiberg et al., 2019). En segundo lugar, ofrece evidencia empírica organizada para orientar decisiones pedagógicas y profesionales sobre cuándo el uso de prompts en lenguaje natural puede ser útil como apoyo a la ideación y cuándo, por el contrario, introduce costos ocultos en corrección, parametrización y verificación que desplazan el esfuerzo desde el modelado hacia la depuración y validación. En suma, el capítulo se sitúa en la intersección entre automatización del diseño, prácticas de manufactura aditiva y alfabetización técnica en herramientas emergentes, buscando aportar criterios para un uso informado y responsable de la IA generativa en el diseño industrial.

2. Marco teórico y estado del arte

2.1. Inteligencia artificial generativa y representación tridimensional

En los últimos años, la inteligencia artificial generativa se ha posicionado como uno de los ejes centrales del aprendizaje automático, esto gracias al desarrollo de modelos entrenados con grandes de volúmenes de datos muy variados. Esta expansión se ha incluido en el ámbito del diseño y la computación gráfica, en donde ha impulsado la aparición de sistemas con la capacidad de generar representaciones tridimensionales a partir de entradas textuales, imágenes y otras expresiones. Conceptualmente hablando, estos enfoques se realizan mediante la conversión de contenido a partir de modelos probabilísticos con el objetivo de generar instancias nuevas que, no solo reproduzcan el objeto, sino que sean plausibles dentro del conocimiento ya adquirido por la inteligencia artificial (Goodfellow et al., 2014).

Un ejemplo particular de este enfoque, es el text-to-3D, donde se busca crear un mapeo entre las descripciones textuales y las representaciones tridimensionales de objetos. Algunos estudios recientes indican que muchos de estos sistemas utilizan representaciones intermedias tales como campos de radiancia neural (NeRF), funciones implícitas o mallas trianguladas que se optimizan mediante técnicas de difusión o aprendizaje contrastivo multimodal (Lee et al., 2024; Poole et al., 2022). Estos modelos buscan obtener una alta fidelidad visual, donde la coherencia entre el texto de entrada y la calidad de representación del modelo tridimensional generado es la principal variable de evaluación. Dichos criterios se alinean principalmente con necesidades de visualización, entretenimiento digital y prototipado conceptual temprano.

Sin embargo, la priorización de la visualización introduce una limitación importante a la evaluación estructural cuando los modelos generados pasan de la conceptualización a la fabricación. Como señalan Lee et al. (2024), la mayoría de las comparaciones y métricas utilizadas para evaluar text-to-3D priorizan aspectos perceptuales o de similitud semántica, dejando en segundo plano propiedades críticas como continuidad geométrica, definición volumétrica o consistencia topológica, todas ellas indispensables para la manufactura.

2.2. Text-to-3D y la orientación hacia activos visuales

El análisis de la literatura muestra que los desarrollos recientes tendientes a traducir texto en modelos 3D se enfocan en la creación de activos visuales de alta calidad, más que en la generación de modelos funcionales o fabricables, Algunos sistemas de gran escala como los basados en 3D o en pipelines multimodales texto–imagen–3D han demostrado ser muy efectivos para producir objetos texturizados, adecuados para motores gráficos, realidad virtual o videojuegos (Park et al., 2026; Poole et al., 2022).

Analizando este enfoque desde el punto de vista técnico se puede entender porqué la generación de activos visuales tolera algunas inconsistencias geométricas o estructurales que no son aceptables en la fabricación física. Superficies no manifold, espesores variables o detalles puramente decorativos no afectan la experiencia visual, pero sí podrían comprometer la integridad estructural o incluso la

posibilidad misma de impresión. En este sentido, la literatura reconoce una brecha persistente entre la geometría plausible para visualización y la geometría válida para manufactura (Attene, 2018). Esta diferenciación entre geometría plausible y viable es prioritaria para el diseño industrial, donde el modelo 3D no es el objetivo final, sino que se requiere producir objetos que cumplan con funciones mecánicas, estructurales, dimensionales y de uso muy específicas. Así, mientras que los enfoques text-to-3D actuales representan un avance significativo en términos de accesibilidad y velocidad de generación, su aplicabilidad directa en contextos productivos sigue siendo limitada.

2.3. Del text-to-3D al text-to-CAD: modelado paramétrico y control geométrico

Teniendo en cuenta las limitaciones de los enfoques anteriormente descritos, aparece una línea de investigación que propone solucionar estos inconvenientes y desplazarlo hacia la generación de modelos CAD paramétricos partiendo de entradas textuales. Este nuevo enfoque, llamado texto-to-CAD se apoya en la idea de que los modelos paramétricos definidos mediante operaciones geométricas explícitas tales como extrusiones, barridos, revoluciones u operaciones booleanas, ofrecen un mayor control sobre las dimensiones relaciones y modificaciones posteriores (Wiberg et al., 2019). Algunas investigaciones recientes exploran la utilización de LLM para generar scripts CAD, por ejemplo, en lenguajes tales como CadQuery u OpenSCAD, usando como entrada prompts textuales. Deng et al. (2024) demostraron que los LLM pueden apoyar el desarrollo de flujos CAD estándar al automatizar tareas repetitivas o al traducir intenciones de diseño en secuencias paramétricas. Sin embargo, estos autores encontraron importantes problemas de robustez y verificación de los resultados. Igualmente, Booth et al. (2017) afirman que la importancia del diseño paramétrico es su capacidad para capturar, más allá de la representación visual, la lógica funcional del objeto, elemento que es difícil de inferir solo desde la malla final.

Para el diseño industrial, el text-to-CAD no es interesante solamente para automatizar acciones repetitivas. Por el contrario, este enfoque es valioso por la posibilidad de integrar la validación geométrica y las restricciones de diseño en las primeras etapas de modelamiento. Sin embargo, la literatura coincide en que estos enfoques aún se encuentran en fases muy experimentales por lo que se hace necesaria la intervención de una mano experta que asegure la coherencia geométrica y la adecuación funcional, principalmente para piezas de alta o media complejidad.

2.4. Diseño para manufactura aditiva (DfAM) y validación física

Por otro lado, el diseño para la manufactura aditiva es una disciplina desarrollada y consolidada y enfatiza que la libertad geométrica de la impresión 3D no elimina la necesidad de diseñar con restricciones funcionales y estructurales. Thompson et al. (2016) identifican algunas necesidades críticas para el diseño para DfAM tales como la orientación de la impresión, los soportes, la anisotropía, las tolerancias y la calidad superficial del objeto impreso. La combinación de estos factores influye directamente en el desempeño funcional del objeto y no suelen estar consideradas en los sistemas de generación automática de geometrías, limitando su aplicabilidad directa en la fabricación.

Estudios recientes han analizado la precisión dimensional en impresión 3D demostrando que incluso en las geometrías más simples es posible encontrar desviaciones significativas si no se consideran adecuadamente los parámetros de proceso y diseño (Mohamed et al., 2016). Debido a esto, la evaluación de un modelo generado por IA no puede concentrarse únicamente en que el archivo tenga el formato adecuado para ser interpretado por el software 3D o por la impresora, sino que debe incluir su comportamiento durante el laminado y la impresión.

Teniendo en cuenta estos nuevos parámetros, la reparación automática de las mallas y la verificación de sus posibilidades de impresión se han convertido en áreas clave de la investigación. Siguiendo esta línea Attene (2018) propone algunos métodos para reparar archivos STL no imprimibles, poniendo así en evidencia que un número importante de modelos generados de manera automática necesitan de la intervención humana para que puedan ser fabricados. Este hallazgo confirma la idea de que la fabricación física requiere unas actividades de validación que sobrepasa las capacidades actuales de las herramientas completamente digitales.

2.5. Implicaciones teóricas para el uso de IA generativa en diseño industrial

En el análisis de la literatura se puede evidencia una tensión central nacida del avance importante de la IA y su efecto en la reducción de barreras de acceso al modelo 3D, el cual aún no logra llegar de manera efectiva a las actividades de diseño industrial y de la manufactura aditiva. Tal como ya se manifestó anteriormente, los enfoques de text-to-3D privilegian la representación visual, dejando de lado requerimientos del diseño industrial tales como el control paramétrico, la validación geométrica y las restricciones físicas.

Como consecuencia, debido al nivel de desarrollo actual, la IA generativa debe verse como una herramienta complementaria de los flujos de diseño, más que como un sustituto del modelado CAD. La literatura confirma que la automatización basada en el lenguaje natural es valiosa en fase tempranas de ideación y comunicación, pero pierde confiabilidad cuando se incrementan las exigencias funcionales, estructurales y aquellas propias para la fabricación del objeto (Thompson et al., 2016; Wiberg et al., 2019).

En este contexto, el presente estudio se posiciona en la intersección entre estas corrientes, utilizando casos empíricos de impresión 3D para evaluar hasta qué punto las promesas del text-to-3D pueden sostenerse cuando se aplican criterios propios del diseño industrial y del DfAM. El marco teórico aquí desarrollado proporciona así la base conceptual para interpretar los resultados experimentales y discutir el rol actual y los límites de la IA generativa en la creación de modelos 3D funcionales.

3. Metodología

Este estudio es de carácter exploratorio y de carácter cualitativo-técnico y está orientado a analizas los alcances y limitaciones de las herramientas de inteligencia artificial generativa al momento de crear modelos tridimensionales a partir de prompts de lenguaje natural. Los resultados son evaluados usando criterios propios del diseño industrial y la fabricación aditiva.

El alcance exploratorio es justificado por el carácter emergente del fenómeno investigado y por la poca consolidación que existe de marcos empíricos que articulen de manera sistemática la generación automática de geometrías y su validación física mediante impresión 3D. Siguiendo esta línea de análisis, este artículo no busca crear generalizaciones estadísticas sino que busca producir conocimiento analítico que permita evidenciar los patrones de desempeño, los tipos de fallas y demás debilidades que existen en el proceso de automatización de la generación de modelos 3D. Este enfoque coincide con lo planteado por Stebbins (2001) y con los enfoques metodológicos utilizados en investigación en diseño (Blessing & Chakrabarti, 2009).

El diseño de la investigación se basa en el estudio de casos múltiples con una lógica comparativa. Esta estrategia permite examinar un mismo fenómeno bajo distintas condiciones de complejidad; al mismo tiempo que permite la contrastación de los resultados sin perder la profundidad analítica. En el proceso desarrollado se comparó el desempeño del modelado de distintos objetos realizado mediante IA y un flujo tradicional basado en ingeniería inversa y modelado CAD ejecutado por un diseñador industrial. Esta combinación de modelos y su comparación coincide con las recomendaciones metodológicas de los estudios de caso orientados a la explicación analítica y a la construcción teórica (Yin, 2008).

Para la realización de los casos se seleccionaron tres objetos con complejidad geométrica y funcional creciente. Inicialmente, se realizaron las pruebas con un cubo de 30 mm de arista. Este objeto tiene una geometría muy sencilla y carece de requerimientos funcionales complejos. Este objeto permitió evaluar la capacidad básica de la IA para generar modelos imprimibles y sin ambigüedad geométrica.

Posteriormente, se probó el modelado de una llave Allen con especificación dimensional. Esta pieza de complejidad media exige continuidad geométrica en un codo a 90°, control preciso de una sección hexagonal normalizada y coherencia dimensional global, lo que implica operaciones CAD avanzadas como extrusión, barrido y control de orientación del perfil.

Finalmente, y como tercer caso, se seleccionó un cierre tipo tip-top para cinta de 20 mm, considerado un objeto de complejidad alta debido a la integración de múltiples componentes, encajes funcionales, espesores definidos y requerimientos de flexión y tolerancia propios de piezas con mecanismo. Se evaluaron dos de los LLM más populares y de propósito general ChatGPT y DeepSeek. En ambos casos fueron utilizados exclusivamente mediante interacción en lenguaje natural. No se emplearon extensiones externas, scripts CAD automáticos ni herramientas adicionales de verificación geométrica, con el objetivo de aproximar el experimento a un escenario de uso realista por parte de diseñadores o usuarios sin formación avanzada en programación CAD. Con esta selección metodológica se buscó evaluar el desempeño de los LLM en condiciones de accesibilidad máxima, evidenciando las limitaciones propias de la ausencia de una validación geométrica programática, conclusión que coincide con las conclusiones de estudios recientes (Deng et al., 2024).

Como siguiente etapa, se realizó la validación física de los modelos generados mediante la impresión 3D por deposición de material fundido (FDM). Se utilizó una impresora Anycubic Kobra S1 y filamento PLA. Esta selección se debe a que este tipo de equipos y materiales están ampliamente difundidos en las instituciones educativas y en ambientes industriales. Además, esta combinación es frecuentemente utilizada como referencia en la literatura sobre diseño para manufactura aditiva (Thompson et al., 2016). Buscando mantener las condiciones lo más constantes posibles, el laminado de los objetos se realizó siempre con un mismo perfil de impresión, de tal manera que las diferencias observadas en los objetos puedan ser atribuibles a la calidad geométrica del modelo y no a los cambios en los parámetros de impresión.

La evaluación de los modelos se realizó en dos etapas. Inicialmente, se considera la apertura del modelo creado en el software de visualización y laminado ORCA Slicer. Dentro de esta fase se analiza la capacidad de crear archivos que cumplan con el formato informático y, además, que el archivo contenga un modelo cuya geometría y definición volumétrica sean coherentes y válidas. Esta primera fase de evaluación corresponde a las condiciones mínimas de integridad geométrica y topológica propuestas en la literatura sobre imprimibilidad de mallas (Attene, 2018).

Como segunda fase de evaluación, se analizó la posibilidad de imprimir el modelo y su funcionalidad. En esta segunda fase se evaluó la posibilidad de laminar e imprimir las piezas sin problemas estructurales atribuibles a la geometría tales como las discontinuidades, superficies no manifold y espesores insuficientes. Adicionalmente, se evaluó el cumplimiento de la función esperada del objeto. Este segundo criterio se apoya en principios del diseño para manufactura aditiva, que reconocen que la imprimibilidad es un resultado emergente de la interacción entre geometría, material y proceso (Wiberg et al., 2019).

La creación de los prompts se realizó de manera progresiva e iterativo. Inicialmente se diseñaron prompts usando solo lenguaje natural, evitando los tecnicismos CAD, con el fin de simular el uso de una persona no experta en el ámbito del diseño industrial. Cuando se detectaban errores o inconsistencias en los modelos, se introdujeron iteraciones correctivas que incluían nuevas especificaciones relacionadas con las dimensiones, la continuidad geométrica y las incoherencias funcionales.

Todo el proceso fue documentado mediante un protocolo de registro reproducible que incluyó el sistema de IA utilizado, el contenido completo de cada prompt, el tipo de salida generada, el resultado de la evaluación y la evidencia asociada, como archivos STL, capturas de pantalla o fotografías de las piezas impresas. Este nivel de trazabilidad responde a recomendaciones metodológicas para la evaluación de sistemas generativos y de interacción humano–IA, donde la reproducibilidad depende críticamente del registro detallado de entradas y salidas (Deng et al., 2024).

En el tercer caso se complementó la prueba con la inclusión de referencias visuales para evaluar la capacidad de los LLM para hacer procesos de ingeniería inversa. Inicialmente se solicitó a la IA buscar referencias visuales en línea y construir el modelo a partir de dichas referencias. En una segunda iteración, se cargaron fotos del objeto desde distintos ángulos y se le solicitó a la IA la generación de los modelos 3D. En ambos casos, la evaluación de los modelos siguió los criterios anteriormente descritos.

A modo de comparación, se incluyó un flujo tradicional de diseño con los mismos tres casos. El cual fue realizado por un diseñador industrial mediante ingeniería inversa y un software CAD paramétrico. En este flujo se registró el tiempo total invertido desde el levantamiento de las dimensiones hasta la exportación del modelo listo para la impresión. La comparación entre ambos enfoques no busca establecer una superioridad absoluta, sino que busca evidenciar las diferencias en términos de control geométrico, confiabilidad del resultado y tiempo total requerido para obtener una pieza válida. Esta secuencia sigue la lógica de comparación analítica propia de estudios exploratorios basados en casos (Yin, 2008).

Finalmente, es necesario señalar que, debido al carácter exploratorio del estudio, los resultados no pretenden ser generalizables a todos los sistemas de IA generativa ni a todas las tecnologías de impresión 3D. No obstante, la validez del trabajo se sustenta en la selección intencionada de casos representativos, en la definición explícita de criterios de evaluación alineados con literatura especializada y en el registro detallado y reproducible del proceso experimental. Estas decisiones metodológicas permiten que los hallazgos contribuyan de manera significativa a la discusión teórica y práctica sobre el rol actual de la inteligencia artificial generativa en el diseño industrial y su integración y sus límites dentro de flujos de manufactura aditiva.

4. Resultados

Los resultados del estudio se estructuraron en función de los tres casos experimentales definidos en la metodología, a partir de los siguientes criterios de evaluación:

-Correcta apertura del modelo en el software de laminado.
-Posibilidad de impresión del objeto sin errores geométricos críticos.
-Cumplimiento funcional de la pieza una vez impresa.

De manera complementaria, se registró el número de iteraciones necesarias para obtener un modelo válido y el tiempo aproximado requerido para alcanzar una versión imprimible.

4.1. Caso 1: Cubo de 30 mm

El primer caso experimental consistió en la generación de un cubo de 30 mm de arista, seleccionado por tratarse de un objeto geométricamente simple y adecuado como referencia inicial para evaluar la capacidad básica de los modelos de inteligencia artificial en la producción de mallas tridimensionales.

Tanto ChatGPT como DeepSeek generaron archivos en formato STL que se abrieron correctamente en el software ORCA Slicer. La geometría obtenida correspondió de manera efectiva a un cubo, sin presentar errores topológicos evidentes ni ambigüedades en su definición volumétrica.

Desde el punto de vista de la manufactura, el modelo pudo laminarse e imprimirse sin inconvenientes. Las dimensiones de la pieza impresa se aproximaron a las especificaciones solicitadas, dentro de los márgenes de tolerancia propios del proceso FDM. En este caso, la generación asistida por inteligencia artificial demandó un número reducido de iteraciones de prompt.

1° PROMPT

Tengo una impresora anycubic kobra s1 con filamento PLA, necesito realizar una impresión de un cubo 30 mm de dimensión al 20% de relleno, entrégame el archivo gcode para imprimir directamente en la impresora, no tengo ningún software laminador como ORCA por lo que necesito que esté listo para imprimir y dame una previsualización del modelo.

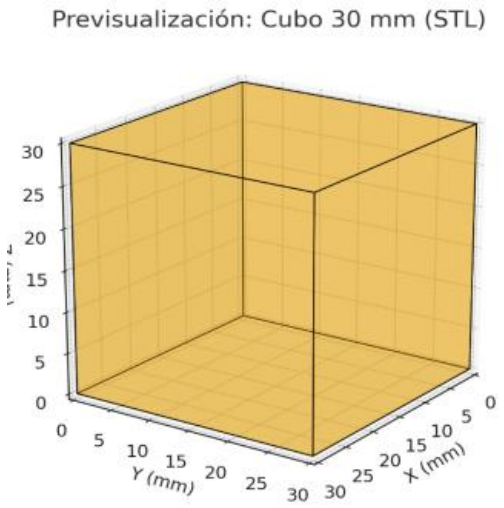
En una primera etapa, se planteó la posibilidad de omitir el uso del software laminador y pasar directamente a la impresión. Sin embargo, este objetivo no pudo alcanzarse, ya que todas las iteraciones realizadas arrojaron resultados erróneos. En consecuencia, se modificó el enfoque metodológico y se comenzó a solicitar la generación de archivos en formato STL, con el fin de evaluar su apertura, laminado e impresión en condiciones controladas.

2° PROMPT

Tengo una impresora anycubic kobra s1 con filamento PLA, necesito realizar una impresión de un cubo 30 mm de dimensión al 20% de relleno, entrégame el archivo STL para utilizarlo en un software laminador como ORCA y dame una previsualización del modelo.

En la Figura 1 se puede observar el resultado dado por ChatGPT

Figura 1. Previsualización del Cubo de 30mm



Fuente: Construcción propia

Ambas IA generativas lograron resultados satisfactorios una vez que la solicitud se orientó exclusivamente a la generación de archivos STL. Esto llevó a redefinir el punto de partida del procedimiento experimental, privilegiando la solicitud de archivos STL en lugar de archivos G-code.

Este resultado sugiere que los sistemas de IA generativa poseen la capacidad de producir correctamente geometrías primitivas simples, especialmente cuando la descripción textual es clara y no requiere inferencias geométricas complejas.

No obstante, es importante señalar que este tipo de objeto presenta un bajo nivel de complejidad geométrica, por lo que no demanda operaciones CAD avanzadas ni la resolución de relaciones dimensionales complejas.

4.2. Caso 2: Llave Allen 6mm con especificación dimensional

El segundo caso experimental consistió en la generación de una llave Allen de 6 mm, objeto que incorpora un nivel intermedio de complejidad geométrica debido a la presencia de una sección hexagonal normalizada, un codo de 90° y relaciones dimensionales específicas entre sus distintos segmentos.

En este caso se observaron diferencias significativas entre la geometría esperada y los resultados obtenidos. Los modelos generados inicialmente por las IA presentaron diversos problemas geométricos, entre los cuales se identificaron:

- Inconsistencias en la forma de la sección hexagonal.
- Pérdida de continuidad geométrica en el punto de curvatura.
- Dimensiones incorrectas o no respetadas.
- Representaciones aproximadas de la geometría solicitada.

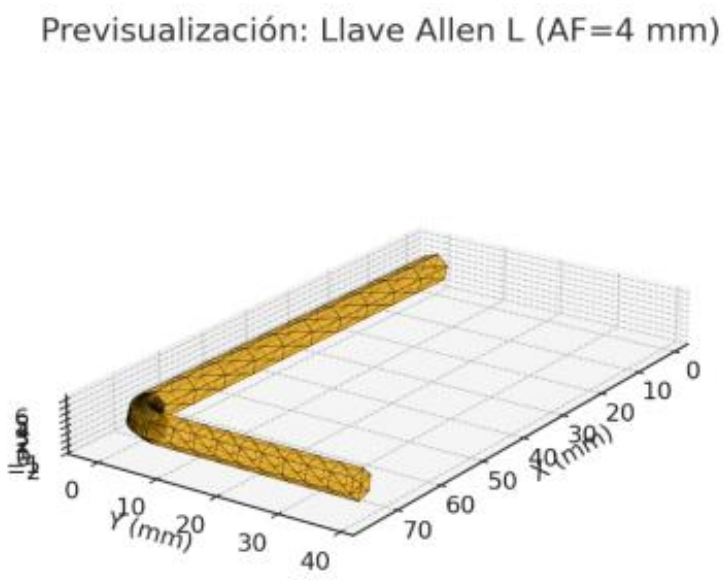
En algunos intentos, la IA generó modelos que, desde el punto de vista visual, se aproximaban a una llave Allen, pero que no correspondían a una pieza dimensionalmente correcta.

1° PROMPT

Tengo una impresora anycubic kobra s1 con filamento PLA, necesito realizar una impresión de una llave Allen hexagonal de las siguientes dimensiones largo 74mm ancho 39mm profundidad 4,5mm y entre caras hexagonales 4mm, entrégame el archivo STL para el software laminador ORCA, listo para descargar y dame una previsualización del modelo.

Tras tres iteraciones, DeepSeek no logró generar en ningún caso un modelo coherente. En consecuencia, se decidió continuar el proceso únicamente con ChatGPT y evaluar los modelos obtenidos a partir de esta herramienta. En la se puede ver la visualización de la Llave Allen.

Figura 2. Previsualización de la llave Allen



Fuente: Construcción propia

No obstante, los resultados presentaron problemas en la continuidad geométrica de la llave, lo que llevó a formular un nuevo prompt con el fin de corregir dichas inconsistencias.

2° PROMPT

Necesito que corrijas la continuidad de la sección hexagonal girando el lado A en 90° para crear el lado B conservando siempre la forma estándar de una llave Allen, corrige además el ancho total a 39mm, mantén una cara plana para utilizarla en la cama de impresión.

En términos de imprimibilidad, algunos modelos podían ser laminados, aunque presentaban problemas estructurales o errores geométricos que comprometían su funcionalidad, en particular, se detectaron:

- Superficies con espesor insuficiente
- Aristas mal definidas
- Errores en la unión entre los segmentos de la pieza

La impresión de estos modelos dio lugar a objetos que, si bien podían materializarse físicamente, no cumplían con la función esperada de una llave Allen, principalmente debido a desviaciones en la geometría de la sección hexagonal.

Para obtener un modelo aceptable fue necesario realizar múltiples iteraciones de prompts, incorporando especificaciones geométricas cada vez más detalladas, las cuales se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Iteraciones para la corrección de la llave Allen

Iteración	Prompt
1	Añadir radio interno en el codo 6mm
2	Modifica el radio interno a externo 6mm uniendo el lado A con el lado B
3	Esta mal el modelo, el codo quiero que sea una sección uniforme con continuidad uniendo el lado A con el lado B en un Ángulo de 90° manteniendo la forma de una llave Allen estándar.
4	Los modelos anteriores están mal. Necesito que construyas la llave Allen de la siguiente forma: genera una extrusión de sección hexagonal distancia entre caras 4 mm y de extensión total 113mm y lo dobles a 90° en 39mm.

Fuente: Construcción propia

Pese a ello, el resultado final no logró equiparar el nivel de precisión que normalmente ofrece el modelado CAD paramétrico.

4.3. Caso 3: Cierre tipo "Tip-Top" para cinta de 20 mm

El tercer caso correspondió al objeto de mayor complejidad geométrica y funcional del estudio: un cierre tipo tip-top destinado a cintas de aproximadamente 20 mm de ancho.

Este objeto incorpora múltiples elementos geométricos y funcionales, entre los que se destacan:

- Mecanismos de encaje.
- Superficies flexibles.
- Espesores definidos.
- Tolerancias necesarias para permitir las operaciones de cierre y apertura.

El prompt utilizado en este caso fue el siguiente y presentó un enfoque distinto al de los casos anteriores, debido al mayor nivel de dificultad que implicaba describir e introducir con precisión todas las dimensiones requeridas.

1° PROMPT

Conoces el cierre tip-top? , puedes darme una imagen

En la Figura 3 se pueden visualizar las imágenes que entregó.

Figura 3.Imágenes del cierre tip-top entregada por ChatGPT



2° PROMPT

Con esa información necesito que me generes un modelo 3D de un cierre tip-top de para el paso de una cinta de 20mm quiero que el sistema de cierre esté por separado, el archivo que necesito es un STL listo para descargar y usar en el software de laminado ORCA.

3° PROMPT

El archivo no está correcto necesito que tomes la referencia de las imágenes que entregaste y realiza nuevamente el archivo STL

En los intentos iniciales, los modelos generados no lograron representar correctamente la estructura funcional del objeto. Las piezas obtenidas correspondían a aproximaciones geométricas simplificadas que no incorporaban los elementos necesarios para el funcionamiento adecuado del mecanismo.

Posteriormente, se realizaron nuevas iteraciones en las que se incorporaron
- Una mayor especificación dimensional.
- Descripciones funcionales más detalladas.
- Referencias visuales del objeto.

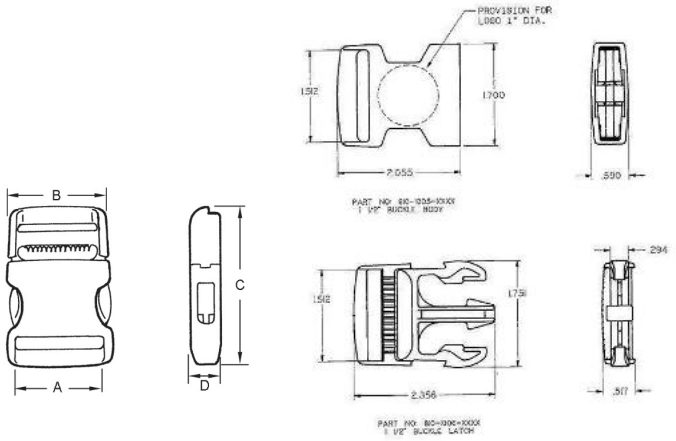
4° PROMPT

No está correcto el archivo, necesito que la hembra tenga un hueco de acceso para la pieza macho, la pieza macho debe tener las 3 patitas según los modelos de las imágenes que encontraste. el grosor de la pared debe ser 2 mm de la pieza hembra, también suma la parte para poner la cinta y que el modelo sea funcional.

5° PROMPT

Puedes encontrar planimetría técnica de un cierre tip top busca las imágenes en internet.

Figura 4. Planimetría técnica de un cierre tip top



Fuente: Resultado de la consulta en ChatGPT

6° PROMPT

Con esa información necesito que me generes un modelo 3d de un cierre tip-top para el paso de una cinta de 20mm quiero que el sistema de cierre esté por separado, el archivo que necesito es un STL listo para descargar y usar en el software de laminado ORCA.

A pesar de estas mejoras en los prompts, los modelos generados continuaron presentando problemas geométricos importantes, tales como:

Falta de coherencia estructural.
Mecanismos incompletos.
Espesores no adecuados para impresión.
Piezas fusionadas o mal separadas.

En la mayoría de los casos, los archivos STL generados podían abrirse en el software de laminado; sin embargo, no representaban objetos funcionalmente válidos.

Las impresiones realizadas evidenciaron que las piezas obtenidas no cumplían con la función mecánica y funcional esperada, lo que evidencia la dificultad actual de los sistemas text-to-3D para producir objetos funcionales de complejidad media o alta.

Frente a estos resultados, se evaluó la posibilidad de reorientar el enfoque metodológico hacia técnicas de fotogrametría.

7° PROMPT

Necesito que realices un modelo 3D en formato STL desde imágenes utilizando la técnica de foto grametría que necesitas para realizarlo.

Se entregaron las fotos solicitadas que incluían todas las caras del objeto, sin embargo, se repitieron los resultados anteriores.

4.4. Comparación con el flujo tradicional de diseño

El flujo tradicional de modelado CAD, realizado por un diseñador industrial, permitió obtener modelos funcionales en los tres casos evaluados.
Las principales diferencias observadas fueron las siguientes:

- **Control geométrico**. El modelado CAD paramétrico permitió definir con precisión dimensiones, perfiles y relaciones geométricas, garantizando la coherencia estructural de los modelos generados.

- **Tiempo de producción**. En los casos simples, el tiempo requerido para modelar mediante CAD fue similar al necesario para obtener un resultado válido mediante IA. Sin embargo, en los casos de mayor complejidad, el uso de IA generativa implicó múltiples iteraciones de prompts, lo que incrementó de manera significativa el tiempo total necesario para alcanzar un resultado aceptable.

- **Confiabilidad del resultado**. El flujo de trabajo basado en CAD permitió obtener de manera consistente modelos imprimibles y funcionales, mientras que el proceso apoyado en IA generativa presentó resultados más variables y menos predecibles.

Estos resultados sugieren que, en el estado actual de desarrollo de la tecnología, los sistemas de IA generativa pueden constituir una herramienta de apoyo para la generación de geometrías simples, pero aún presentan limitaciones significativas cuando se requieren relaciones geométricas precisas y un control paramétrico riguroso.

5. Discusión

Los resultados obtenidos permiten reflexionar sobre el alcance actual de las herramientas de IA generativa en la creación de modelos tridimensionales orientados a la manufactura.

En primer lugar, los experimentos confirman que los modelos de lenguaje pueden generar estructuras geométricas simples cuando el problema puede resolverse mediante la construcción de primitivas básicas. Esto sugiere que existe una correspondencia relativamente directa entre descripciones textuales simples y representaciones geométricas elementales.

Sin embargo, a medida que aumenta la complejidad del objeto, se evidencian limitaciones vinculadas con la capacidad del sistema para inferir relaciones geométricas explícitas. Este fenómeno resulta particularmente visible en el caso de la llave Allen, donde la correcta definición de la sección hexagonal y la continuidad geométrica en el codo requieren operaciones paramétricas que no pueden deducirse únicamente a partir de una descripción textual general.

En el caso del cierre tipo tip-top, la dificultad se incrementa considerablemente debido a la presencia de múltiples restricciones funcionales y tolerancias mecánicas. Este tipo de objetos no solo exige una representación geométrica precisa, sino también la incorporación de criterios de diseño orientados a la manufactura y al ensamblaje.

Estos resultados son consistentes con la literatura reciente sobre text-to-3D, la cual señala que muchos de los avances actuales se orientan principalmente a la generación de activos visuales, más que a la producción de objetos físicamente fabricables. Como se ha señalado previamente, una geometría visualmente plausible no necesariamente equivale a una geometría válida para manufactura (Lee et al., 2024).

Otro aspecto relevante observado en el estudio es la dependencia del proceso de iteración de prompts. A diferencia del modelado CAD, en el que el diseñador controla de manera explícita cada operación geométrica, en los sistemas basados en IA el usuario depende de un proceso iterativo de refinamiento textual para aproximarse al resultado deseado (Venket, 2025).
Este procedimiento introduce un grado de incertidumbre que puede incrementar los tiempos de desarrollo y dificultar la reproducibilidad de los resultados.

Desde una perspectiva pedagógica y profesional, estos hallazgos sugieren que la IA generativa puede desempeñar un papel importante en las etapas tempranas del proceso de diseño, particularmente en actividades de ideación, exploración conceptual y comunicación de ideas (Chandrasekera et al., 2025).

No obstante, cuando el objetivo es producir modelos funcionales listos para manufactura, el modelado CAD paramétrico continúa siendo el método más confiable.

6. Conclusiones

Este estudio exploratorio analizó el alcance y las limitaciones de herramientas de inteligencia artificial generativa para la creación de modelos tridimensionales a partir de prompts en lenguaje natural, considerando su posterior validación mediante impresión 3D. Los resultados obtenidos permiten extraer varias conclusiones relevantes.

En primer lugar, los sistemas de IA generativa pueden producir con éxito geometrías simples, particularmente cuando la descripción textual se corresponde con primitivas geométricas básicas.
En segundo lugar, la generación de objetos de complejidad geométrica intermedia presenta dificultades significativas vinculadas con el control dimensional, la continuidad geométrica y la coherencia estructural.

En tercer lugar, la generación de objetos funcionales de mayor complejidad mediante prompts en lenguaje natural continúa estando limitada por la incapacidad de los modelos para incorporar restricciones mecánicas, tolerancias y relaciones paramétricas propias del diseño industrial.

Adicionalmente, el estudio pone en evidencia una brecha entre la capacidad actual de la IA para producir representaciones tridimensionales plausibles y los requerimientos técnicos necesarios para fabricar objetos físicos mediante impresión 3D.

Desde una perspectiva práctica, estos resultados sugieren que las herramientas de IA generativa deben entenderse, en su estado actual, como recursos complementarios dentro del flujo de diseño, capaces de apoyar procesos de ideación y exploración conceptual, pero no como sustitutos del modelado CAD paramétrico en contextos que exigen precisión geométrica y confiabilidad manufacturable.

Asimismo, los resultados obtenidos abren nuevas interrogantes sobre el alcance futuro de la inteligencia artificial generativa en los procesos de diseño industrial y manufactura aditiva. Más allá de la capacidad técnica para generar geometrías tridimensionales, emerge el desafío de comprender cómo estas herramientas podrían transformar las competencias requeridas en diseño, la relación entre automatización y creatividad, y los mecanismos necesarios de validación para garantizar reproducibilidad, trazabilidad y confiabilidad en objetos fabricados mediante IA. En este contexto, futuras líneas de investigación podrían orientarse al desarrollo de sistemas híbridos text-to-CAD con validación geométrica integrada, incorporación automática de restricciones propias del DfAM y evaluación comparativa entre distintos modelos generativos bajo criterios de funcionalidad e imprimibilidad. Igualmente, resulta relevante estudiar cómo la interacción entre usuarios expertos y sistemas generativos modifica los flujos tradicionales de diseño y redefine el rol del conocimiento técnico en contextos de automatización creciente.

7. Referencias bibliográficas.

1. Attene, M. (2018). As-exact-as-possible repair of unprintable STL files. *Rapid Prototyping Journal, 24*(5), 855–864. https://doi.org/10.1108/RPJ-11-2016-0185

2. Blessing, L. T. M., & Chakrabarti, A. (2009). *DRM, a Design Research Methodology.* Springer London. https://doi.org/10.1007/978-1-84882-587-1

3. Booth, J. W., Alperovich, J., Chawla, P., Ma, J., Reid, T. N., & Ramani, K. (2017). The Design for Additive Manufacturing Worksheet. J*ournal of Mechanical Design, 139*(10). https://doi.org/10.1115/1.4037251

4. Chandrasekera, T., Hosseini, Z., & Perera, U. (2025). Can artificial intelligence support creativity in early design processes? *International Journal of Architectural Computing, 23*(1), 122–136. https://doi.org/10.1177/14780771241254637

5. Deng, H., Khan, S., & Erkoyuncu, J. A. (2024). An Investigation on Utilizing Large Language Model for Industrial Computer-Aided Design Automation. *Procedia CIRP, 128,* 221–226. https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.07.049

6. Goodfellow, I. J., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A., & Bengio, Y. (2014). Generative Adversarial Nets. In Z. Ghahramani, M. Welling, C. Cortes, N. Lawrence, & K. Q. Weinberger (Eds.), *Advances in Neural Information Processing Systems* (Vol. 27). Curran Associates, Inc. https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2014/file/f033ed80deb0234979a61f95710dbe25-Paper.pdf

7. Lee, H., Savva, M., & Chang, A. X. (2024). Text-to-3D Shape Generation. *Computer Graphics Forum, 43*(2). https://doi.org/10.1111/cgf.15061

8. Mohamed, O. A., Masood, S. H., & Bhowmik, J. L. (2016). Optimization of fused deposition modeling process parameters for dimensional accuracy using I-optimality criterion. *Measurement, 81*, 174–196. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.12.011

9. Park, J., Murdivien, S. A., Choi, K., Mun, D., & Um, J. (2026). Generative 3D appearance design: A survey of generation, segmentation and editing by artificial intelligence. *Journal of Computational Design and Engineering, 13*(1), 1–23. https://doi.org/10.1093/jcde/qwaf128

10. Poole, B., Jain, A., Barron, J. T., & Mildenhall, B. (2022). D*reamFusion: Text-to-3D using 2D Diffusion*.

11. Stebbins, R. A. (2001). *Exploratory research in the social sciences* (Vol. 48). Sage.

12. Thompson, M. K., Moroni, G., Vaneker, T., Fadel, G., Campbell, R. I., Gibson, I., Bernard, A., Schulz, J., Graf, P., Ahuja, B., & Martina, F. (2016). Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints. *CIRP Annals, 65*(2), 737–760. https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.05.004

14. Venket, K. (2025). P*rompt Refinement and Iteration Methods* (pp. 95–120). https://doi.org/10.4018/979-8-3373-0250-8.ch004

15. Wiberg, A., Persson, J., & Ölvander, J. (2019). Design for additive manufacturing – a review of available design methods and software. *Rapid Prototyping Journal, 25(*6), 1080–1094. https://doi.org/10.1108/RPJ-10-2018-0262

16. Yin, R. K. (2008). *Case Study Research. Design and Methods*.

TECNOLOGÍAS EMERGENTES PARA LA PREVENCIÓN DE TRASTORNOS MUSCULOESQUELÉTICOS EN TRABAJADORES DE BAJA CALIFICACIÓN

EMERGING TECHNOLOGIES FOR THE PREVENTION OF MUSCULOSKELETAL DISORDERS IN LOW-SKILLED WORKERS

Margarita Zamora Saá[1]

[1]*Fundación Instituto Profesional Duoc UC, Santiago, Chile (m.zamorsa@profesor.duoc.cl)*

https://doi.org/10.17613/5c4t4-40139

Resumen

Los trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo constituyen una de las principales causas de discapacidad laboral y ausentismo, con alta prevalencia en trabajadores de baja calificación, quienes presentan mayor exposición a riesgos ergonómicos y psicosociales, y acceso limitado a intervenciones preventivas, afectando de manera desproporcionada a las mujeres. Este capítulo analiza críticamente el aporte de las tecnologías emergentes a la prevención de estos trastornos mediante una revisión narrativa de la literatura científica reciente. La evidencia indica que sensores portátiles, aplicaciones móviles e inteligencia artificial permiten avanzar hacia modelos de prevención más eficientes que los enfoques tradicionales. En particular, los sensores portátiles inerciales destacan por su capacidad para identificar y cuantificar la exposición a riesgos ergonómicos en condiciones reales de trabajo. Su impacto se potencia al integrarse con intervenciones complementarias, como ejercicios kinésicos guiados y microintervenciones ergonómicas digitales, orientadas a reducir la sobrecarga biomecánica mediante la modificación de posturas, ritmos y patrones de movimiento.

Palabras clave: Trastornos Musculoesqueléticos Laborales, Tecnologías Emergentes, Sensores Portátiles, Ergonomía Ocupacional.

Abstract:

Work-related musculoskeletal disorders are among the leading causes of work disability and absenteeism, with a high prevalence among low-skilled workers, who experience greater exposure to ergonomic and psychosocial risks and limited access to preventive interventions, disproportionately affecting women. This chapter critically examines the contribution of emerging technologies to the prevention of these disorders through a narrative review of the recent scientific literature. The evidence indicates that wearable sensors, mobile applications, and artificial intelligence enable more efficient prevention models than traditional approaches. Inertial wearable sensors stand out for their ability to identify and quantify exposure to ergonomic risks under real working conditions. Their preventive impact is enhanced when integrated with complementary interventions, such as guided kinesiological exercises and digital ergonomic micro-interventions, aimed at reducing biomechanical overload through modifications in posture, work pace, and movement patterns.

Keywords: Work-Related Musculoskeletal Disorders, Emerging Technologies, Wearable Sensors, Occupational Ergonomics.

1. Introducción

Los trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo (TMET) engloban una variedad de afecciones dolorosas que afectan principalmente músculos, tendones, nervios, ligamentos y otros tejidos blandos. Estas afecciones son ocasionadas o empeoradas por tareas laborales que implican movimientos repetitivos, posturas incómodas y/o esfuerzos físicos intensos o prolongados [1]. Representan una de las principales causas de discapacidad laboral y ausentismo en el mundo, consolidándose como uno de los factores predominantes que conducen a lesiones y a discapacidad en diversos sectores productivos [2]. Estas afecciones generan pérdidas económicas considerables, tanto directas, relacionadas con tratamientos médicos, ausentismo e indemnizaciones, como indirectas, asociadas a la disminución de la productividad laboral [3].

En Chile, la Superintendencia de Seguridad Social en su informe anual reportó que durante el año 2023, las denuncias por enfermedades musculoesqueléticas correspondieron en un 11% a casos de origen laboral y en un 89% a casos de origen no laboral. De un total de 85.618 trabajadores diagnosticados, el 61% (52.441) correspondió a mujeres y el 39% (33.177) a hombres, evidenciándose un incremento sostenido en la incidencia de TMET y llegando a constituirse como el segundo grupo de las enfermedades profesionales más denunciadas [4]. Sectores como el comercio, industria, construcción y los empleos de baja calificación concentran la mayor frecuencia de casos [5]. No solo en Chile se evidencia una tasa mayor en mujeres, diversos estudios internacionales reportan este desequilibrio por género [6,7].

La prevalencia de los TMET es particularmente elevada entre trabajadores que realizan tareas físicamente exigentes, con bajo control sobre el ritmo de trabajo y limitada disponibilidad de recursos preventivos [8]. Este escenario es característico de los denominados empleos de baja calificación (EBC), en los cuales predominan actividades manuales y rutinarias, bajos niveles de educación formal y escasas oportunidades de capacitación técnica. La evidencia indica que los trabajadores pertenecientes a estratos socioeconómicos bajos presentan una tasa hasta 2,7 veces mayor de enfermedades ocupacionales en comparación con aquellos de niveles socioeconómicos más altos, fenómeno asociado a condiciones laborales precarias, mayor exposición a riesgos físicos y químicos, y una cobertura limitada de salud ocupacional [9].

En este contexto, los enfoques tradicionales de prevención de riesgos ocupacionales presentan limitaciones para abordar de manera sostenida la complejidad de la identificación, evaluación y control de factores de riesgo ergonómico presentes en los EBC, lo que evidencia la necesidad de revisar críticamente los modelos actuales y avanzar hacia aproximaciones preventivas innovadoras y contextualizadas. En este sentido, las tecnologías emergentes se posicionan como una alternativa potencialmente transformadora para reducir la incidencia y el impacto de los TMET. Entre ellas, la inteligencia artificial ha adquirido un rol creciente en el ámbito de la seguridad y salud ocupacional, al permitir el procesamiento automatizado de grandes volúmenes de datos, la identificación de patrones complejos de riesgo, la monitorización continua y el desarrollo de modelos predictivos orientados a la prevención [10]. No obstante, su implementación efectiva depende de variables críticas como el costo, la factibilidad técnica y, por cierto, la aceptación por parte de los trabajadores.

El objetivo de este capítulo es analizar críticamente la evidencia científica reciente sobre el aporte de las tecnologías emergentes a la prevención de los trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo, con especial atención a su aplicabilidad en trabajadores de baja calificación. El análisis se centra en tecnologías orientadas a la identificación, evaluación y control de factores de riesgo ergonómico, particularmente inteligencia artificial, sensores portátiles, aplicaciones móviles, sistemas de seguimiento ocular y exoesqueletos ocupacionales. Asimismo, se proponen lineamientos para priorizar soluciones tecnológicas factibles, escalables y adaptables a contextos laborales con recursos limitados. Debido a su carácter narrativo, el capítulo no pretende realizar una comparación cuantitativa de la efectividad de las tecnologías ni establecer relaciones causales, sino integrar críticamente la evidencia disponible e identificar alternativas con potencial preventivo en condiciones reales de trabajo.

En las secciones siguientes se abordan los antecedentes que sustentan esta problemática, profundizando en la etiología de los TMET, las características estructurales de los empleos de baja calificación, la marcada presencia femenina en algunos de estos empleos y la evidencia sobre la mayor prevalencia de TMET en mujeres. Finalmente, se fundamenta la necesidad de incorporar tecnologías emergentes en los EBC, se analizan distintas alternativas, y se presenta un modelo integrado de intervención tecnológica como estrategia clave para avanzar hacia entornos laborales más seguros, equitativos y sostenibles.

2. Antecedentes teóricos

2.1. Trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo y su etiología

Se considera TMET al conjunto de enfermedades periarticulares de las extremidades y la columna vertebral causadas por el sobreesfuerzo laboral. Este cuadro compromete músculos, tendones, ligamentos, nervios, huesos, articulaciones, vasos sanguíneos, nervios periféricos y estructuras de soporte como los discos intervertebrales. Entre sus síntomas más comunes se encuentran el dolor generalizado o localizado, la rigidez articular, la inflamación y/o las limitaciones en el rango de movimiento [11]. Su etiología es multifactorial e incluye factores de riesgo ergonómico, psicosociales y personales.

Los factores de riesgo ergonómico se asocian a una mayor probabilidad de desarrollar trastornos musculoesqueléticos, ya que la naturaleza e intensidad de las tareas físicas realizadas en el trabajo pueden generar una sobrecarga del sistema locomotor. Esta sobrecarga provoca compresión mecánica de las estructuras corporales, lo que incrementa la susceptibilidad a lesiones que pueden manifestarse desde molestias leves hasta incapacidades permanentes, según la región anatómica involucrada en el esfuerzo físico [12]. Los principales riesgos ergonómicos causantes de TMET son: la generación de fuerzas en la manipulación manual de cargas pesadas, movimientos repetitivos sin descanso, posturas estáticas o forzadas, ya sea de pie, sentado o en posiciones incómodas, esfuerzos físicos excesivos de cualquier tipo, exposición a vibración de cuerpo completo y del segmento mano-brazo [13]. La vibración ocupacional, generada habitualmente por maquinarias, herramientas manuales o vehículos, produce oscilaciones rápidas y continuas que pueden transmitirse al cuerpo, generando daños más o menos graves dependiendo de su frecuencia, intensidad y tiempo de exposición.

A estos factores se suman los riesgos psicosociales, tales como sistemas de turnos extensos, altas demandas laborales, bajo control sobre el trabajo, apoyo social insuficiente, desequilibrio esfuerzo-recompensa, tensión psicológica, precariedad laboral, doble presencia y características deficientes en la organización del trabajo. La exposición crónica a estos estresores se relaciona con aumento de inflamación leve [14], dolor musculoesquelético en diversas zonas corporales [15] y estados de agotamiento sostenido [16]. Existe evidencia sólida que vincula el agotamiento emocional con la aparición de dolor físico asociado a TMET [17]. Cuando la exposición a estos factores se prolonga en el tiempo, se activa el sistema nervioso central y aumenta el tono muscular; este incremento favorece la mayor carga biomecánica en músculos y tendones [15]. Este efecto se potencia cuando los riesgos psicosociales coexisten con alta carga física, especialmente en contextos de precariedad laboral [18,19].

Asimismo, variables individuales como edad, sexo, índice de masa corporal, nivel socioeconómico, educación, hábitos de vida y años de trabajo influyen en la susceptibilidad a desarrollar TMET [20]. Por ejemplo, el envejecimiento se asocia con un declive fisiológico progresivo que incrementa el riesgo de afecciones musculoesqueléticas, artritis u otras enfermedades crónicas [21]. De igual modo, un bajo nivel educacional y socioeconómico se ha identificado como determinante significativo en la incidencia de TMET [22,23]. La literatura confirma que los trabajadores con empleos precarios presentan mayor riesgo de daño musculoesquelético y peor salud general, tanto física como mental [24,25]. En Corea, estudios recientes reportan que trabajadores manuales no cualificados presentan incluso mayor prevalencia de ideas suicidas [26], mientras que en Chile se ha documentado una mayor incidencia de accidentes laborales, de trastornos musculoesqueléticos, de enfermedades respiratorias y de estrés laboral, en trabajadores sin calificación formal comparados con aquellos con calificación más alta [27].

2.2. Empleos de baja calificación

Los trabajadores que integran este grupo, caracterizado por una alta vulnerabilidad social y laboral, se desempeñan en los denominados empleos de baja calificación (EBC). Estas ocupaciones requieren un nivel limitado de educación formal, escasa o nula capacitación técnica especializada y competencias fundamentalmente manuales o rutinarias. Los EBC se distinguen por la combinación de elevadas demandas laborales, bajo reconocimiento social, escasa autonomía en la toma de decisiones, alta repetitividad de tareas, bajo control sobre el ritmo de trabajo, y con frecuencia, condiciones contractuales precarias. En comparación con otros grupos ocupacionales, quienes trabajan en los EBC suelen presentar mayor inestabilidad en su trayectoria laboral, con interrupciones frecuentes del empleo y jubilaciones más tempranas [28].

Entre las ocupaciones más representativas se incluyen labores de aseo y limpieza, carga y descarga de materiales, operarios de producción en líneas de ensamblaje, auxiliares de servicios generales en instituciones de salud o educación, trabajadores agrícolas temporales, vigilantes o guardias de seguridad, y peones de la construcción. Aunque esenciales para el funcionamiento de múltiples sectores productivos, estas ocupaciones están asociadas a una exposición significativamente mayor a riesgos laborales. Este escenario se ve agravado por el acceso limitado a programas de prevención y protección en salud ocupacional. La falta de formación adecuada, la escasa experiencia, la insuficiente evaluación y control de riesgos, así como la inestabilidad laboral, contribuyen a una mayor exposición a riesgos ergonómicos y psicosociales.

Los trabajadores de baja calificación presentan, además, una prevalencia notablemente superior de trastornos musculoesqueléticos en comparación con grupos con mayor nivel educativo o profesional. Estudios recientes indican que cerca de dos tercios de los trabajadores manuales de países de ingresos bajos y medios desarrollan al menos un trastorno musculoesquelético a lo largo de su vida laboral, con prevalencias agrupadas cercanas al 65% en trabajadores de la confección y al 72% en tejedores manuales, predominando el dolor lumbar y cervical [29,30]. La falta de pausas adecuadas, el acceso limitado a intervenciones ergonómicas, la baja satisfacción laboral y la elevada presión por productividad intensifican este problema, lo que subraya la necesidad de estrategias específicas, tales como formación en factores de riesgo, rediseño ergonómico de los puestos de trabajo y vigilancia activa de síntomas. Finalmente, el ausentismo y la discapacidad asociados a estos trastornos generan un impacto económico y social considerable para quienes se desempeñan en EBC, traduciéndose en pérdidas de productividad y mayores costos sanitarios, especialmente en contextos con recursos limitados [29,30].

2.3. Perspectiva de género en los empleos de baja calificación

Una dimensión habitualmente subestimada es la elevada participación femenina en los EBC, especialmente en labores de aseo, limpieza, cocina, trabajo doméstico y cuidado de personas mayores o niños [31,32]. En el ámbito sanitario, se ha demostrado que el personal de aseo, por ejemplo, se encuentra entre los grupos más afectados por los TMET, debido a las intensas exigencias físicas y cognitivas asociadas a sus tareas [33]. Diversas investigaciones confirman que la prevalencia de TMET es mayor en mujeres [33], independientemente del puesto de trabajo, aunque esta diferencia se acentúa en los EBC. Las tareas altamente repetitivas, la demanda física sostenida, el escaso control sobre el proceso productivo y la insuficiencia de pausas de recuperación generan una combinación de factores de riesgo que expone desproporcionadamente a las trabajadoras. A ello se suma la baja autonomía para modificar sus condiciones de trabajo y la limitada implementación de medidas preventivas específicas. Si bien afecciones como dolor cervical, lumbalgia, osteoartritis o artritis reumatoide son frecuentes en la población general, su prevalencia es considerablemente mayor entre las mujeres [34]. Esta diferencia no responde únicamente a determinantes biológicos como variaciones hormonales, densidad ósea o características anatómicas, sino también a factores sociales, organizacionales y estructurales. Entre ellos destacan la segregación ocupacional que concentra a las mujeres en puestos de baja calificación, el menor acceso a programas ergonómicos y la persistencia de la doble carga laboral, que combina trabajo remunerado con responsabilidades domésticas y de cuidado [35].

Como resultado, la exposición acumulativa a esfuerzos físicos y psicosociales se traduce en un riesgo más elevado de TMET y en una evolución menos favorable de estas patologías. Desde esta perspectiva, los TMET en mujeres trabajadoras deben comprenderse como el producto de la interacción entre condiciones ergonómicas adversas, desigualdades estructurales de género y dinámicas laborales propias de los EBC. Esta realidad enfatiza la necesidad de visibilizar las inequidades de género en salud ocupacional y de diseñar estrategias de intervención basadas en tecnologías emergentes, orientadas específicamente a mujeres en EBC. Asimismo, refuerza la importancia de promover un enfoque preventivo integral que considere tanto los factores ergonómicos como los determinantes sociales del trabajo.

2.4. Limitaciones de la prevención tradicional y necesidad de innovaciones ergonómicas basadas en tecnologías emergentes

A pesar de la elevada exposición a factores de riesgo biomecánicos, persisten limitaciones significativas en materia de prevención y acceso a intervenciones ergonómicas adecuadas. Los trabajadores de baja calificación suelen desempeñarse en sectores productivos con escasos recursos destinados a la ergonomía, la seguridad o la innovación, lo que dificulta la implementación de medidas correctivas sostenibles. Esta situación se ve agravada por la ausencia de programas de capacitación específicos, la falta de evaluaciones periódicas de riesgo y la limitada cobertura de los servicios de salud laboral. Asimismo, la alta rotación de personal y la informalidad del empleo obstaculizan la continuidad de estrategias preventivas o rehabilitadoras y reducen la posibilidad de intervenir tempranamente frente a los TMET.

En este contexto, la evaluación de los factores de riesgo biomecánicos se ha basado tradicionalmente en métodos observacionales, como el autoinforme de síntomas y exposiciones mediante encuestas o entrevistas, así como en la observación visual directa de posturas y movimientos durante las tareas laborales, apoyada en herramientas ergonómicas estandarizadas. Si bien estas estrategias han constituido el enfoque predominante para la identificación de riesgos, presentan limitaciones relevantes asociadas a la subjetividad del evaluado y del observador, la limitada validez y fiabilidad de las estimaciones de la exposición, y la escasa precisión temporal y cuantitativa de los datos obtenidos. Estas restricciones dificultan la generalización de los resultados y limitan la capacidad de implementar acciones preventivas oportunas y sostenidas.

Como consecuencia, la prevención tiende a centrarse en acciones correctivas de corto plazo, más que en estrategias de gestión integral del riesgo o de rediseño de tareas, lo que contribuye a la perpetuación de ciclos de sobrecarga física y daño musculoesquelético. Las implicancias de esta realidad son amplias y multidimensionales. A nivel individual, los trabajadores experimentan dolor crónico, pérdida de capacidad funcional y un mayor riesgo de incapacidad temporal o permanente, con un impacto directo en su calidad de vida y bienestar. En el plano organizacional, los TMET se asocian a un aumento del ausentismo, la rotación de personal, la disminución de la productividad y mayores costos derivados de licencias médicas, reemplazos o indemnizaciones. Desde una perspectiva social, esta problemática contribuye a la exclusión laboral y a la precarización económica, profundizando desigualdades preexistentes en salud y en el acceso a condiciones de trabajo seguras.

En el contexto latinoamericano, y particularmente en Chile, este fenómeno adquiere especial relevancia por su estrecha relación con la vulnerabilidad socioeconómica de los grupos más expuestos, donde la falta de inversión en prevención y la escasa fiscalización agravan el riesgo ergonómico y limitan las oportunidades de rehabilitación efectiva. Frente a este escenario, se vuelve imprescindible avanzar hacia un modelo de prevención proactiva, que no se limite a la identificación de daños ya instalados, sino que integre la vigilancia continua, la gestión participativa del riesgo y la innovación en los procesos productivos.

En este sentido, la incorporación de tecnologías emergentes con inteligencia artificial, sensores portátiles, sistemas de análisis automatizado, plataformas digitales de monitoreo continuo, entre otros, representa una oportunidad estratégica para fortalecer la salud ocupacional en EBC, al permitir la medición objetiva y continua de variables biomecánicas en condiciones reales de trabajo, facilitando la detección temprana de sobrecargas físicas y optimizando la toma de decisiones preventivas. Tal

como señala la literatura especializada, estas innovaciones deben adaptarse a trabajadores de distintas clases ocupacionales y acompañarse de políticas públicas inclusivas y programas de formación que promuevan la alfabetización tecnológica y la equidad de género en su implementación [36,37,38]. Solo mediante un enfoque integral, que combine la evidencia científica, la innovación tecnológica y la participación activa de trabajadores y empleadores, será posible reducir de manera sostenida la incidencia de los TMET y avanzar hacia entornos laborales más seguros, saludables y sostenibles.

3. Metodología

Este capítulo se desarrolló mediante una revisión narrativa de la literatura, orientada a integrar y analizar de manera crítica la evidencia científica disponible sobre el uso de tecnologías emergentes para la prevención de los TMET, con especial énfasis en trabajadores de baja calificación. Este enfoque metodológico se seleccionó por su pertinencia para abordar un campo de estudio heterogéneo y en rápida evolución, en el cual convergen aportes provenientes de la ergonomía, la salud ocupacional, la ingeniería, las ciencias sociales y la tecnología aplicada.

La búsqueda bibliográfica se realizó en PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect y Google Scholar, complementada con literatura gris de organismos internacionales y agencias especializadas en salud y seguridad laboral. Se consideraron publicaciones en inglés y español, del período 2017–2025, para el caso específico de las tecnologías emergentes se consideraron solo publicaciones de los últimos cinco años. Los términos de búsqueda se combinaron mediante operadores booleanos y contemplaron, entre otros: work-related musculoskeletal disorders, ergonomic risk, emerging technologies, artificial intelligence, machine learning, wearable sensors, eye tracking, occupational exoskeletons, low-skilled workers, precarious employment y gender perspective. La estrategia de búsqueda fue adaptada a cada base de datos.

Siguiendo un proceso de selección estructurado, se identificaron inicialmente 90 resúmenes de artículos potencialmente relevantes. Tras aplicar criterios de inclusión y exclusión definidos previamente, se seleccionaron 62 artículos para el análisis en profundidad. Se incluyeron estudios empíricos, revisiones y documentos técnicos relevantes para la evaluación y prevención de los TMET en contextos laborales, particularmente en EBC, y se excluyeron aquellos de enfoque exclusivamente clínico o sin aporte sustantivo a los objetivos del capítulo.

La síntesis de la información se realizó mediante un análisis narrativo y temático, priorizando la calidad metodológica, la coherencia con los objetivos del capítulo y la relevancia para contextos reales de trabajo. Los estudios seleccionados se organizaron en ejes temáticos que abarcan: antecedentes de los TMET y tecnologías emergentes, con énfasis en inteligencia artificial, sensores portátiles y estrategias de intervención integradas, incorporando de manera transversal una perspectiva de género y un enfoque contextual orientado a trabajadores de baja calificación.
Finalmente, la integración crítica de la evidencia se complementó con la experiencia acumulada de evaluaciones ergonómicas en terreno, permitiendo identificar brechas entre la detección del riesgo y la implementación de intervenciones preventivas en contextos reales. Este proceso fundamentó la propuesta de un modelo integrado de tecnologías emergentes, orientado a fortalecer la prevención de los TMET de forma equitativa, factible y adaptada a las condiciones reales del trabajo.

4. Resultados y discusión

4.1. Tecnologías emergentes aplicadas a la prevención de TMET: el rol de la inteligencia artificial

En los últimos años, el avance de las tecnologías emergentes ha abierto nuevas oportunidades útiles para fortalecer la prevención de los TMET, particularmente en contextos caracterizados por alta exposición a riesgos ergonómicos y limitaciones estructurales en la gestión preventiva. A diferencia de los modelos convencionales, centrados en evaluaciones puntuales, observación directa y análisis retrospectivos de síntomas de enfermedades o accidentes, las tecnologías emergentes permiten desarrollar sistemas de prevención dinámicos, continuos y con mayor capacidad predictiva. Estas herramientas facilitan una comprensión más profunda de la interacción entre las exigencias físicas del trabajo, las características individuales de los trabajadores y la organización de las tareas, contribuyendo a una gestión más eficiente y oportuna de los riesgos ergonómicos.

Dentro de este marco, la incorporación de técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje automático (machine learning) ha adquirido especial relevancia para la identificación y predicción de riesgos laborales. Estas tecnologías permiten procesar grandes volúmenes de información provenientes de diversas fuentes, tales como registros de accidentes, evaluaciones ergonómicas, datos de desempeño laboral y comportamientos observados durante la ejecución de tareas, con el objetivo de identificar patrones complejos asociados a la ocurrencia de lesiones o enfermedades laborales [39].

A partir de estos análisis, es posible desarrollar modelos predictivos capaces de anticipar escenarios de riesgo y orientar la implementación de medidas preventivas más focalizadas, reduciendo así la probabilidad de eventos adversos y mejorando la eficiencia de la gestión en salud ocupacional [40]. En el contexto específico de los TMET, diversos estudios han demostrado que los algoritmos de machine learning pueden mejorar sustancialmente la evaluación de las demandas biomecánicas del trabajo, al procesar automáticamente grandes volúmenes de datos provenientes de sistemas integrados de dispositivos inteligentes. Investigaciones recientes han evidenciado que el análisis automatizado de variables cinemáticas, obtenidas a partir de señales inerciales como la aceleración y la velocidad angular, permite clasificar de manera fiable posturas laborales seguras e inseguras durante tareas de levantamiento manual de cargas [41]. Estas técnicas contribuyen a disminuir la dependencia de la evaluación visual subjetiva y favorecen la estandarización de los criterios de riesgo. Asimismo, se han propuesto marcos analíticos basados en machine learning que incorporan un enfoque sensible al género, permitiendo identificar diferencias en la exposición y en la manifestación de los TMET entre hombres y mujeres, especialmente en sectores altamente demandantes como la construcción [42]. Estos planteamientos subrayan la necesidad de estrategias preventivas diferenciadas y adaptadas a las características específicas de la fuerza laboral.

Paralelamente, el desarrollo de dispositivos portátiles y sistemas de monitoreo continuo ha permitido avanzar hacia modelos de evaluación y gestión del riesgo ergonómico en tiempo real. Estas tecnologías posibilitan la medición permanente de variables biomecánicas, como la postura corporal, la repetitividad de los movimientos, la amplitud articular y la fuerza aplicada durante la actividad laboral, superando las limitaciones de los métodos tradicionales basados en observación puntual o autoinforme, asociados a la incertidumbre debida a la variabilidad y diversidad inherentes a los individuos, propensos a errores, estrés o fatiga [43]. En consecuencia, una de sus principales ventajas es la capacidad de generar retroalimentación inmediata ante la detección de comportamientos que

superan determinados umbrales de riesgo, lo que facilita la corrección temprana de las tareas y la prevención de lesiones acumulativas, particularmente en trabajos con altas exigencias físicas.

Los sensores portátiles y los sistemas de captura de movimiento constituyen una de las principales expresiones de estas tecnologías emergentes aplicadas a la ergonomía laboral. Están diseñados para monitorear y analizar en tiempo real la postura, los movimientos y las cargas biomecánicas a las que están expuestos los trabajadores en entornos laborales [44]. Estos sistemas incluyen distintos tipos de sensores, cada uno orientado a la captura de variables específicas asociadas a la carga biomecánica. Entre los más utilizados se encuentran los sensores inerciales, formados por acelerómetros y giroscopios triaxiales, que con frecuencia se combinan con magnetómetros para conformar una unidad de medición inercial (IMU), encargada de registrar aceleraciones lineales y velocidades angulares del segmento corporal donde se fijan, siendo especialmente útiles para la evaluación de posturas, movimientos repetitivos y patrones de movimiento durante la jornada laboral [45]. Asimismo, los sensores de fuerza y presión, comúnmente integrados en superficies de trabajo, herramientas o calzado, permiten cuantificar la carga soportada y la distribución de presión corporal, aportando información crucial sobre la exigencia física y el riesgo de sobrecarga. Por su parte, la electromiografía portátil posibilita la medición de la actividad eléctrica muscular, extremadamente útil para evaluar fatiga y sobrecarga muscular [46], mientras que los sensores de posición, goniómetros y sensores de flexión permiten registrar rangos de movimiento articular y detectar posturas potencialmente riesgosas. Adicionalmente, están los sensores de contacto que permiten identificar interacciones entre segmentos corporales o con el entorno de trabajo, ampliando de esta manera el análisis de las condiciones ergonómicas [47].

Por lo general, los sensores se integran en prendas de vestir, pulseras, cascos o calzado. Entre sus características más relevantes se encuentran la miniaturización, la conectividad inalámbrica de bajo consumo energético, la sincronización en tiempo real de múltiples sensores y la capacidad de proporcionar retroalimentación inmediata sobre posturas inadecuadas o movimientos potencialmente peligrosos. Estudios recientes han destacado estas características, concluyendo que los sensores portátiles permiten cuantificar el riesgo ergonómico con mayor precisión que los métodos tradicionales, aunque aún persisten desafíos asociados a la aceptación por parte de los trabajadores y a la necesidad de continuar avanzando en la miniaturización y facilidad de uso de los dispositivos [47]. Adicionalmente, la incorporación de algoritmos de inteligencia artificial y machine learning ha ampliado el potencial preventivo de estos sistemas, permitiendo no solo la detección temprana de exposiciones de riesgo, sino también la personalización de recomendaciones ergonómicas y la predicción de la aparición de trastornos musculoesqueléticos.

Otra tecnología emergente con creciente aplicación en ergonomía son los sistemas de seguimiento ocular o eye-tracking. Esta herramienta permite analizar patrones de movimiento ocular, tiempos de fijación y distribución de la atención visual durante la ejecución de tareas laborales, aportando información relevante sobre la carga visual, cognitiva y postural. Su uso ha sido documentado en distintos contextos productivos, donde ha demostrado utilidad para identificar signos tempranos de fatiga, desajustes posturales y demandas visuales excesivas, especialmente en entornos de alta complejidad operativa como el sector manufacturero y la construcción [48,49]. Esta evidencia sugiere que la integración de estos datos en el diseño ergonómico de los puestos de trabajo puede contribuir a reducir la exposición prolongada a posturas inadecuadas, a la fatiga visual, y a mejorar la eficiencia de las intervenciones preventivas.

En este escenario de innovación tecnológica, han surgido también los exoesqueletos ocupacionales, que son dispositivos de asistencia destinados a reducir la carga biomecánica en tareas físicamente demandantes. Generalmente están hechos de materiales como fibra de carbono, aluminio o plástico y comprenden un marco o estructura liviana que se usa en el torso, los brazos o las piernas, brindando soporte externo a las articulaciones y músculos del cuerpo para reducir el esfuerzo físico y la fatiga al realizar tareas manuales. Se clasifican principalmente en pasivos y activos. Los exoesqueletos pasivos son dispositivos livianos que no utilizan energía eléctrica y aprovechan el movimiento natural del cuerpo para proporcionar apoyo, siendo comunes en sectores como la manufactura, la construcción y la agricultura. Los activos, en cambio, incorporan sistemas eléctricos que ofrecen asistencia motorizada, permitiendo mayor nivel de soporte y control; por ello, se emplean tanto en ámbitos industriales exigentes como en áreas clínicas para apoyar a personas con lesiones o discapacidades. Además, existe una tercera categoría denominada exoesqueletos híbridos, que integran componentes pasivos y activos para optimizar la asistencia. La evidencia disponible indica que estos sistemas pueden contribuir a disminuir la fatiga muscular y el estrés mecánico sobre segmentos corporales específicos; sin embargo, sus efectos no son uniformes y dependen de múltiples factores, como el tipo de tarea, el diseño del dispositivo y las características individuales del trabajador [50]. Evaluaciones recientes enfatizan la importancia de una selección adecuada, un ajuste personalizado y una implementación contextualizada de los exoesqueletos, así como de la consideración de las percepciones subjetivas de los usuarios, con el fin de maximizar sus beneficios y minimizar posibles efectos adversos [51].

Finalmente, la integración de estas tecnologías en plataformas digitales de gestión ergonómica y de salud ocupacional permite consolidar información proveniente de múltiples fuentes y facilitar el seguimiento longitudinal del riesgo musculoesquelético. Estas plataformas favorecen la automatización de procesos, la generación de indicadores en tiempo real y el desarrollo de sistemas de alerta temprana, constituyendo una herramienta estratégica para todo tipo de organizaciones, incluso aquellas con recursos limitados o con alta rotación de personal. No obstante, la adopción de tecnologías emergentes en la prevención de TMET requiere considerar aspectos organizacionales, éticos y sociales, tales como la protección de la privacidad de los datos, la formación, la alfabetización tecnológica de los trabajadores y la incorporación de una perspectiva de género que permita abordar de manera equitativa las desigualdades en la exposición al riesgo.

Desde una perspectiva comparativa, las tecnologías revisadas cumplen funciones complementarias. Los sensores portátiles permiten medir objetivamente la exposición biomecánica [44,45,46,47], mientras que la inteligencia artificial facilita el análisis de datos y la predicción de riesgos [39,40,41,42]. El seguimiento ocular evalúa principalmente la carga visual y cognitiva [48,49], y los exoesqueletos pueden reducir cargas físicas específicas, aunque su efectividad depende de la tarea y del ajuste individual [50,51]. Por su menor costo, portabilidad y escalabilidad, los sensores inerciales presentan una mayor aplicabilidad en EBC.

4.2. Sensores portátiles: una estrategia efectiva, viable y sostenible en EBC

En el contexto de los EBC, caracterizados por recursos limitados, alta rotación laboral y acceso restringido a evaluaciones ergonómicas especializadas, la selección de tecnologías para la prevención

de los TMET debe responder a criterios de costo, escalabilidad y factibilidad de implementación en entornos reales de trabajo. En este escenario, los sensores portátiles emergen como una alternativa especialmente eficiente y precisa para la evaluación de riesgos, al permitir la medición objetiva y continua de variables biomecánicas mediante dispositivos de bajo costo relativo y de fácil integración en la rutina laboral. A diferencia de otras tecnologías más complejas o intensivas en infraestructura, los sensores portátiles facilitan la vigilancia continua de los movimientos y posturas, posibilitando la identificación temprana de riesgos, incluso en contextos con limitada capacidad técnica, lo que contribuye a la toma de decisiones preventivas basadas en datos [52].

Una revisión sistemática de 36 estudios demuestra que la implementación adecuada de sensores portátiles contribuye de manera significativa a la mejora de la seguridad y el desempeño laboral en entornos industriales. Su uso se correlaciona con una reducción de las lesiones ocupacionales debido a la detección temprana de riesgos biomecánicos. Se informan también mejoras en la productividad y en la precisión de tareas que requieren movimientos controlados. Los estudios referidos reportan beneficios económicos sustantivos, con retornos de la inversión alcanzables en plazos relativamente acotados, lo que respalda el potencial de estas tecnologías como herramientas eficaces para la optimización ergonómica y la prevención de riesgos laborales [53]. Considerando las limitaciones económicas y operativas características de las empresas con recursos restringidos, la literatura científica coincide en recomendar de manera prioritaria el uso de sensores portátiles inerciales. Estos dispositivos presentan ventajas significativas, como su bajo costo relativo, alta portabilidad y capacidad de análisis en tiempo real, lo que permite la captura de datos cinemáticos clave para la evaluación ergonómica sin requerir inversiones elevadas ni infraestructura tecnológica especializada [54,55].

Los sensores inerciales y los sistemas basados en teléfonos inteligentes han demostrado ser tecnologías viables y efectivas tanto en aplicaciones clínicas [56] como en diversos entornos industriales [53,57], dado que facilitan la detección de posturas forzadas, movimientos repetitivos y exposiciones prolongadas, factores clave en la prevención de los TMET. Asimismo, su robustez frente a interferencias y a condiciones variables de trabajo, su capacidad para generar información objetiva en tiempo real, su bajo costo relativo y su facilidad de implementación, los posicionan como una estrategia tecnológica efectiva, viable y sostenible para fortalecer la prevención de esta patología en contextos laborales con recursos limitados. No obstante, a pesar de sus múltiples beneficios, la evidencia revisada indica que el uso de sensores portátiles como herramienta aislada, centrada exclusivamente en la evaluación del riesgo, resulta insuficiente para generar cambios sostenidos en la exposición biomecánica y en la prevención de los TMET.

La literatura subraya que para lograr mejoras reales en salud y seguridad, se requiere una estrategia integrada que combine la información objetiva de los sensores con otras intervenciones organizacionales que promuevan procesos de mejora ergonómica en los lugares de trabajo [47,58,59]. Por lo tanto, en contextos de EBC, la identificación objetiva del riesgo debe ir acompañada de intervenciones accesibles que permitan traducir la información generada por los sensores en acciones preventivas concretas y sostenidas en el tiempo. En consecuencia, se hace necesario avanzar hacia enfoques integrados que articulen la evaluación ergonómica con estrategias de intervención y retroalimentación continua, aprovechando tecnologías complementarias que potencien el impacto preventivo en condiciones reales de trabajo.

4.3. Hacia un modelo integrado de tecnologías emergentes para la prevención de TMET en trabajadores de baja calificación

A partir de la evidencia revisada y de la experiencia acumulada en evaluaciones ergonómicas en puestos de trabajo de baja calificación, se identifica una brecha persistente entre la detección de riesgos ergonómicos y la implementación de intervenciones preventivas sostenidas en el tiempo. Si bien estos trabajadores presentan una alta exposición a factores de riesgo biomecánicos y psicosociales, el acceso a programas estructurados de prevención y rehabilitación continua es limitado debido a la combinación de restricciones organizacionales, escasez de recursos humanos especializados, alta rotación laboral y condiciones de informalidad. Este escenario evidencia la necesidad de avanzar hacia enfoques preventivos que no se limiten a la identificación del riesgo, sino que incorporen mecanismos de intervención continuos, factibles y ajustados a las condiciones reales del trabajo.

La revisión bibliográfica desarrollada en este capítulo pone de manifiesto que las tecnologías emergentes ofrecen un amplio abanico de posibilidades para fortalecer la prevención de los TMET; sin embargo, su aplicabilidad no es homogénea en todos los contextos laborales. Tecnologías de alta complejidad o que requieren infraestructura especializada, como sistemas avanzados de realidad virtual o exoesqueletos de última generación, presentan importantes barreras de implementación en EBC. En contraste, las soluciones basadas en dispositivos portátiles, aplicaciones móviles y sistemas de retroalimentación digital simple destacan por su pertinencia contextual, al permitir su integración en entornos productivos con limitadas capacidades técnicas y organizacionales. Desde esta perspectiva, se propone un modelo integrado de intervención tecnológica, compuesto por tres componentes complementarios: sensores portátiles para la evaluación objetiva del riesgo biomecánico, aplicaciones móviles orientadas a la prescripción y seguimiento de ejercicios kinésicos compensatorios, y sistemas de microintervenciones ergonómicas digitales dirigidas a la modificación de conductas y a la prevención secundaria. La articulación de estos componentes permite abordar de manera simultánea la identificación del riesgo, la intervención terapéutica y la promoción de comportamientos preventivos, configurando un enfoque completo y continuo para la prevención de los TMET.

El primer componente del modelo corresponde al uso de sensores portátiles inerciales como base objetiva para la evaluación de la exposición biomecánica en condiciones reales de trabajo. Tal como se ha discutido en secciones previas, estos dispositivos permiten registrar variables relevantes asociadas a la postura, la repetitividad, el rango y la velocidad de movimiento, superando las limitaciones de las evaluaciones ergonómicas puntuales y retrospectivas. En el marco de esta estrategia integrada, los sensores cumplen un rol central al proporcionar información continua que permite identificar sobrecargas físicas incipientes y orientar de manera temprana la toma de decisiones antes de la aparición de síntomas clínicos severos.

No obstante, la experiencia de campo y la bibliografía revisada demuestran que la evaluación del riesgo, por sí sola, resulta insuficiente si no se acompaña de intervenciones accesibles y sostenidas para los trabajadores. En este sentido, el segundo componente del modelo corresponde a la incorporación de aplicaciones móviles para la prescripción y ejecución de ejercicios kinésicos, técnica ampliamente reportada por la literatura como eficiente para tratar y/o prevenir TMET [60,61,62]. La amplia disponibilidad de teléfonos inteligentes, incluso en sectores laborales vulnerables, ofrece una oportunidad concreta para implementar intervenciones digitales que permitan extender el al-

cance de la intervención terapéutica más allá de la atención presencial. Estas aplicaciones facilitan la entrega de pautas estructuradas de ejercicios, adaptadas a las demandas específicas del puesto de trabajo, mediante instrucciones visuales y temporización adecuada para su realización durante pausas laborales o al término de la jornada, favoreciendo la adherencia y la continuidad de las estrategias preventivas.

El tercer componente del modelo corresponde a la implementación de microintervenciones ergonómicas digitales orientadas a reforzar conductas preventivas y reducir la exposición acumulativa al riesgo. Estas microintervenciones pueden materializarse en acciones simples, como recordatorios de pausas activas, alertas para el cambio postural o mensajes breves con recomendaciones ergonómicas. Su principal valor radica en la posibilidad de integrarse de forma dinámica con los datos generados por los sensores y con las aplicaciones móviles, proporcionándole al trabajador retroalimentación inmediata y contextualizada. Desde la experiencia en terreno, este tipo de estrategias resulta especialmente útil en EBC, donde las exigencias productivas suelen limitar la capacidad de autorregulación de la carga física.

La integración de estos tres componentes permite configurar un modelo preventivo que articula evaluación e intervención de manera continua. Los datos objetivos obtenidos a partir de los sensores pueden utilizarse para personalizar las recomendaciones de ejercicios kinésicos y activar microintervenciones específicas en función del nivel de exposición o de la acumulación de carga biomecánica. A su vez, las aplicaciones móviles operan como una plataforma central que facilita la educación, el seguimiento y la retroalimentación, fortaleciendo la participación activa del trabajador en el proceso preventivo.

Desde una perspectiva de salud ocupacional, este enfoque integrado presenta notables ventajas. En primer lugar, favorece la escalabilidad y sostenibilidad de las intervenciones preventivas en contextos con recursos limitados. En segundo lugar, contribuye a reducir las inequidades en el acceso a estrategias de prevención, particularmente en trabajadores de baja calificación y en sectores caracterizados por mayor vulnerabilidad social y laboral. Finalmente, permite avanzar hacia un enfoque preventivo y proactivo, centrado en la detección temprana del riesgo y en la intervención oportuna, más que en la gestión reactiva a daños ya instalados.

En conjunto, el modelo propuesto se alinea con los desafíos actuales de la ergonomía y la salud ocupacional, al integrar el conocimiento científico existente con soluciones tecnológicas adaptadas a las realidades del trabajo cotidiano. No obstante, la evidencia disponible presenta limitaciones asociadas a muestras pequeñas, seguimientos breves, heterogeneidad metodológica y escasez de estudios longitudinales, especialmente en trabajadores de baja calificación y contextos latinoamericanos. Asimismo, la implementación de estas tecnologías enfrenta barreras económicas, técnicas, organizacionales y de aceptación. Su aplicación debe garantizar la confidencialidad y el uso exclusivamente preventivo de los datos, evitando fines disciplinarios. Para favorecer su escalamiento, se requieren estudios piloto participativos, protocolos estandarizados y evaluaciones de factibilidad y costo-efectividad en condiciones reales de trabajo.

5. Conclusiones

Los TMET afectan de forma desproporcionada a los trabajadores de baja calificación y a las mujeres, como resultado de la convergencia de altas exigencias físicas, riesgos psicosociales y desigualdades estructurales. La evidencia revisada confirma que los enfoques preventivos tradicionales resultan insuficientes para abordar esta problemática de manera sostenida en contextos laborales con recursos limitados.

Las tecnologías emergentes, en particular los sensores portátiles y las plataformas digitales, abren interesantes perspectivas para avanzar hacia modelos de prevención más eficientes. Su impacto preventivo se potencia cuando la evaluación del riesgo se articula con intervenciones accesibles, como aplicaciones móviles para ejercicios kinésicos y microintervenciones ergonómicas digitales, orientadas a promover cambios sostenidos en la exposición y en las conductas laborales.
En relación con las investigaciones futuras, se hace necesario fortalecer la solidez y comparabilidad de la evidencia disponible, superando las limitaciones asociadas a tamaños muestrales reducidos y a la fragmentación de datos y algoritmos. Asimismo, resulta prioritario ampliar el campo de investigación a entornos reales no controlados, con el fin de mejorar la aplicabilidad de estas soluciones tecnológicas en condiciones reales de trabajo y favorecer su transferencia a contextos laborales diversos. Avanzar en estrategias colaborativas, basadas en el intercambio de datos, metodologías abiertas y evaluaciones en terreno, será clave para consolidar el uso de estas tecnologías emergentes como herramientas efectivas, equitativas y sostenibles para la prevención de los TMET.

6. Referencias bibliográficas

1. Organización Mundial de la Salud. (2022). Musculoskeletal conditions. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions

2. Kodle, N. R., Bhosle, S. P., & Pansare, V. B. (2023). Ergonomic risk assessment of tasks performed by workers in granite and marble units using the REBA tool. Materials Today: Proceedings, 72, 1903–1916. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.10.153

3. Mateos-González, L., Rodríguez-Suárez, J., Llosa, J. A., Agulló-Tomás, E., & Herrero, J. (2023). Influence of job insecurity on musculoskeletal disorders: A mediation model with nursing aides. International Journal of Environmental Research and Public Health, 20(2), 1586. https://doi.org/10.3390/ijerph20021586

4. Superintendencia de Seguridad Social. (2023). Informe regional: Estadísticas de accidentes del trabajo y enfermedades profesionales. Ministerio del Trabajo y Previsión Social. https://www.suseso.cl/605/articles-729381_recurso_1.pdf

5. Superintendencia de Seguridad Social. (2018). Estudio descriptivo de las variables personales, biomecánicas y organizacionales registradas en los Estudios de Puestos de Trabajo (EPTs). Ministerio del Trabajo y Previsión Social. https://www.suseso.cl/619/articles-672178_archivo_01.pdf

6. Panhale, V. P., Walankar, P. P., & Sayed, M. A. (2022). Gender differences in chronic musculoskeletal pain: Role of kinesiophobia, acceptance behaviors, pain catastrophizing, and quality of life. Journal of Integrative Health Sciences, 10(1), 13–16. https://doi.org/10.4103/jihs.jihs_30_21

7. Overstreet, D. S., Strath, L. J., Jordan, M., Jordan, I. A., Hobson, J. M., Owens, M. A., et al. (2023). A brief overview: Sex differences in prevalent chronic musculoskeletal conditions. International Journal of Environmental Research and Public Health, 20(5), 4521. https://doi.org/10.3390/ijerph20054521

8. Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo. (2020). Trastornos musculoesqueléticos. https://osha.europa.eu/es/themes/musculoskeletal-disorders

9. Van der Molen, H. F., de Vries, S., & Sluiter, J. K. (2018). Occupational diseases among workers in lower and higher socioeconomic positions. International Journal of Environmental Research and Public Health, 15(12), 2849. https://doi.org/10.3390/ijerph15122849

10. El-Helaly, M. (2024). Artificial intelligence and occupational health and safety: Benefits and drawbacks. La Medicina del Lavoro, 115(2), e2024014. https://doi.org/10.23749/mdl.v115i2.15835

11. European Agency for Safety and Health at Work. (2021). Musculoskeletal disorders and psychosocial risk factors in the workplace: Statistical analysis of EU-wide survey data (Executive summary). https://osha.europa.eu/en/publications/musculoskeletal-disorders-and-psychosocial-risk-factors-workplace-statistical-analysis-eu-wide-survey-data

12. Fontes, A., Alves, A., & Ribeiro, H. (2017). Instrumento breve para rastreio de perturbações músculo-esqueléticas relacionadas com o trabalho (LMERT). Revista Portuguesa de Saúde Ocupacional, 3, 29–38. https://doi.org/10.31252/RPSO.08.02.2017

13. Medina Gavidia, K. E., & Díaz Hidalgo, J. A. (2024). Riesgos ergonómicos en el entorno laboral: Importancia y factores de riesgo. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 8(3), 1115–1130. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.11323

14. Duchaine, C. S., Brisson, C., Talbot, D., Gilbert-Ouimet, M., Trudel, X., Vézina, M., et al. (2021). Psychosocial stressors at work and inflammatory biomarkers: Prospective Quebec Study on Work and Health. Psychoneuroendocrinology, 133, 105400. https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2021.105400

15. Ballester Arias, A. R., & García, A. M. (2017). Occupational exposure to psychosocial factors and presence of musculoskeletal disorders in nursing staff: A systematic review and meta-analysis. Revista Española de Salud Pública, 91, e201704028.

16. Alves, L., Abreo, L., Petkari, E., & da Costa, M. P. (2023). Psychosocial risk and protective factors associated with burnout in police officers: A systematic review. Journal of Affective Disorders, 332, 283–298. https://doi.org/10.1016/j.jad.2023.03.081

17. Davila, V. J., Meltzer, A. J., Hallbeck, M. S., Stone, W. M., & Money, S. R. (2019). Physical discomfort, professional satisfaction, and burnout in vascular surgeons. Journal of Vascular Surgery, 70(3), 913–920.e2. https://doi.org/10.1016/j.jvs.2018.11.026

18. Bliese, P. D., Edwards, J. R., & Sonnentag, S. (2017). Stress and well-being at work: A century of empirical trends reflecting theoretical and societal influences. Journal of Applied Psychology, 102(3), 389–402. https://doi.org/10.1037/apl0000109

19. Badarin, K., Mangot-Sala, L., Matilla-Santander, N., Kreshpaj, B., Hernando-Rodríguez, J. C., Aronsson, A. E., et al. (2024). Precarious employment, strenuous working conditions and long-term risk of diagnosed chronic musculoskeletal disorders. Occupational and Environmental Medicine. Advance online publication. https://doi.org/10.1136/oemed-2024-109867

20. Da Silva Pontes, N., Costa de Assis, S. J., de Oliveira, G. S., de Castro Santana, R., de Oliveira Nunes, R. F., Bezerra Rocha, E. A., et al. (2024). Social determinants and work-related musculoskeletal disorders in Brazil. PLOS ONE, 19(7), e0306840. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0306840

21. Li, Z., Zhang, Z., Ren, Y., Wang, Y., Fang, J., Yue, H., et al. (2021). Aging and age-related diseases: From mechanisms to therapeutic strategies. Biogerontology, 22(2), 165–187. https://doi.org/10.1007/s10522-021-09910-5

22. Park, S., & Lee, J. (2021). Precarious employment and increased incidence of musculoskeletal pain among wage workers in Korea. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(12), 6299. https://doi.org/10.3390/ijerph18126299

23. Sun, K., Ming, Y., Wu, Y., Zeng, Y., Xu, J., Wu, L., et al. (2023). Genetic causal association between educational attainment and musculoskeletal disorders. Orthopaedic Surgery, 15(11), 2814–2821. https://doi.org/10.1111/os.13821

24. Julià, M., Vanroelen, C., Bosmans, K., Van Aerden, K., & Benach, J. (2017). Precarious employment and health in Europe. International Journal of Health Services, 47(3), 389–409. https://doi.org/10.1177/0020731417707491

25. Julià, M., Vives, A., Tarafa, G., & Benach, J. (2017). Changing the way we understand precarious employment and health. Safety Science, 100, 66–73. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.01.015

26. Ahn, J., Kim, N. S., Lee, B. K., Park, J., & Kim, Y. (2019). Relationship of occupational category with risk of physical and mental health problems. Safety and Health at Work, 10(4), 504–511. https://doi.org/10.1016/j.shaw.2019.07.007

27. Superintendencia de Seguridad Social. (2025). Informe anual de seguridad y salud en el trabajo. https://www.suseso.cl/607/articles-755198_archivo_01.pdf

28. Federal Institute for Occupational Safety and Health. (2023). Work and health situation of employees in low-skilled work (Project F 2518). https://www.baua.de/EN/Research/Research-projects/f2518

29. Geto, A. K., Daba, C., Desye, B., Berihun, G., & Berhanu, L. (2025). Prevalence of work-related musculoskeletal disorders among weavers. BMJ Open, 15(8), e093124. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2024-093124

30. Gebrye, T., Mbada, C., Apeagyei, P., et al. (2025). Prevalence of musculoskeletal disorders among garment workers. BMJ Open, 15, e085123. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2024-085123

31. Organización Internacional del Trabajo. (2024, May 2). Dónde trabajan las mujeres: Ocupaciones y sectores con predominio femenino. https://ilostat.ilo.org/blog/where-women-work-female-dominate-occupations-and-sectors/

32. Locke, S. J., Colt, J. S., Stewart, P. A., et al. (2014). Identifying gender differences in reported occupational information. Occupational and Environmental Medicine, 71(12), 855–864. https://doi.org/10.1136/oemed-2013-101801

33. Ríos García, M. (2018). Trastornos musculoesqueléticos del miembro superior. Revista Médica Electrónica, 40(6), 1819–1834.

34. Kahere, M., & Ginindza, T. (2021). The prevalence and risk factors of chronic low back pain among adults in KwaZulu-Natal, South Africa: An observational cross-sectional hospital-based study. BMC Musculoskeletal Disorders, 22, 955. https://doi.org/10.1186/s12891-021-04790-9

35. Sharma, A., & Mathur, M. (2024). The impact of women's unpaid work on their health and well-being: A theoretical analysis. African Journal of Biomedical Research, 27(4S), 11150–11156. https://doi.org/10.53555/AJBR.v27i4S.5817

36. Messing, K. (2016). Gender in occupational safety and health: The systemic approach of the ILO. La Medicina del Lavoro, 107(2), 90–100.

37. Stock, S. R., & Messing, K. (2023). Gender and work in ergonomics: Recent trends. Applied Ergonomics, 107, 103909. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103909

38. UNESCO. (2023). UNESCO committed to technology and innovation for gender equality. UNESCO.

39. Molina-Castaño, C. F., & Arango-Alzate, C. M. (2024). Aplicaciones de la inteligencia artificial en salud y seguridad en el trabajo: Una revisión sistemática. Revista de la Asociación Española de Especialistas en Medicina del Trabajo, 33(4), 485–502. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S3020-11602024000400010

40. Foment del Treball. (2024). Guía de posibles aplicaciones de la inteligencia artificial a la seguridad y salud laboral. Foment del Treball Nacional.

41. Trkov, M., Stevenson, D. T., & Merryweather, A. S. (2022). Classifying hazardous movements and loads during manual materials handling using accelerometers and instrumented insoles. Applied Ergonomics, 101, 103693. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103693

42. Paramasivam, S. K., Mani, K., & Paneerselvam, B. (2024). Unveiling gender-based musculoskeletal disorders in the construction industry: A comprehensive analysis. Buildings, 14(4), 1169. https://doi.org/10.3390/buildings14041169

43. Ling, S., Yuan, Y., Yan, D., Leng, Y., Rong, Y., & Huang, G. Q. (2024). RHYTHMS: Real-time data-driven human–machine synchronization for proactive ergonomic risk mitigation in the context of Industry 4.0 and beyond. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 87, 102709. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2023.102709

44. Lind, C. M., Abtahi, F., & Forsman, M. (2023). Wearable motion capture devices for the prevention of work-related musculoskeletal disorders in ergonomics: An overview of current applications, challenges, and future opportunities. Sensors, 23(9), 4259. https://doi.org/10.3390/s23094259

45. Rahman, M. H., Ghasemi, A., Dai, F., & Ryu, J. (2023). Review of emerging technologies for reducing ergonomic hazards in construction workplaces. Buildings, 13(12), 2967. https://doi.org/10.3390/buildings13122967

46. Al-Ayyad, M., Owida, H. A., De Fazio, R., Al-Naami, B., & Visconti, P. (2023). Electromyography monitoring systems in rehabilitation: A review of clinical applications, wearable devices, and signal acquisition methodologies. Electronics, 12(7), 1520. https://doi.org/10.3390/electronics12071520

47. Babangida, A. A., Caraballo-Arias, Y., Decataldo, F., & Violante, F. S. (2025). Advancing occupational medicine through wearable technology: A review of sensor systems for biomechanical risk assessment and work-related musculoskeletal disorder prevention. ACS Sensors, 10(8), 5410–5432.

48. Albarrán Morillo, C., Suárez-Pérez, J. F., Demichela, M., Camargo Salinas, M. A., & Miranda Arandia, N. Y. (2025). Monitoring visual fatigue with eye tracking in a pharmaceutical packing area. Sensors, 25(18), 5702. https://doi.org/10.3390/s25185702

49. Cheng, B., Luo, X., Mei, X., Chen, H., & Huang, J. (2022). A systematic review of eye-tracking studies of construction safety. Frontiers in Neuroscience, 16, 891725. https://doi.org/10.3389/fnins.2022.891725

50. Madinei, S., & Nussbaum, M. A. (2023). Estimating lumbar spine loading when using back-support exoskeletons in lifting tasks. Journal of Biomechanics, 147, 111439. https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2023.111439

51. Botti, L., & Melloni, R. (2024). Occupational exoskeletons: Understanding the impact on workers and suggesting guidelines for practitioners and future research needs. Applied Sciences, 14(1), 84. https://doi.org/10.3390/app14010084

TELETRABAJO Y PRODUCTIVIDAD EN EL SECTOR PÚBLICO BRASILEÑO: PERCEPCIONES GERENCIALES EN UNA INSTITUCIÓN FEDERAL EN LA AMAZONÍA

TELEWORKING AND PRODUCTIVITY IN THE BRAZILIAN PUBLIC SECTOR: MANAGERIAL PERCEPTIONS IN A FEDERAL INSTITUTION IN THE AMAZON REGION

Luiz Correa de Souza Neto[1], Valda Helena da Cunha Andrade[1].

[1]*Programa de Posgrado en Administración, Universidad Federal de Pará – UFPA, Brasil (Luiz Correa de Souza Neto, luiz.neto@ifpa.edu.br; Valda Helena da Cunha Andrade, valda@ufpa.br)*

https://doi.org/10.17613/zycn0-fpz97

Resumen

El capítulo aborda cómo la institucionalización del teletrabajo viene reconfigurando la gestión del trabajo en el sector público brasileño, con énfasis en la gestión por resultados en instituciones de educación superior. El objetivo es comprender las percepciones de gestores de un campus del interior del Instituto Federal de Pará (IFPA) acerca de la productividad de equipos en teletrabajo institucionalizado. Se adoptó un enfoque cualitativo y exploratorio, con entrevistas semiestructuradas a seis gestores y análisis de contenido de Bardin, apoyado por el software MAXQDA, generando 34 códigos organizados en tres categorías: productividad y criterios de evaluación; seguimiento, comunicación y efectividad; e infraestructura y condiciones de trabajo remoto. Los hallazgos indican que la productividad de los equipos en teletrabajo se asocia principalmente con el cumplimiento de metas, la calidad de las entregas y la alineación con los objetivos institucionales. El seguimiento ocurre de forma híbrida, a través del correo electrónico institucional para formalizar demandas y mediante mensajes en aplicaciones de comunicación instantánea, favoreciendo la agilidad. Existe ausencia de acuerdos sobre horarios y tiempos de respuesta, lo que genera ruido en la comunicación y reduce la visibilidad del flujo de trabajo. La efectividad del teletrabajo depende en gran medida de la conectividad y del desempeño de los sistemas institucionales, con relatos de uso de recursos personales y dificultades operativas de registro. Se concluye que el teletrabajo puede ampliar la eficiencia y la innovación en la gestión pública educativa, pero requiere protocolos estandarizados de comunicación y monitoreo, capacitación gerencial, soporte tecnológico e infraestructural para sostener resultados en contextos amazónicos con limitaciones de acceso a internet.

Palabras clave: Teletrabajo; Productividad; Institución pública de enseñanza superior; Amazonia brasileña.

Abstract:

The chapter discusses how the institutionalization of telework has been reshaping work management in the Brazilian public sector, with an emphasis on results-based management in higher education institutions. The objective is to understand the perceptions of managers at a campus located in the interior of the Federal Institute of Pará (IFPA) regarding the productivity of teams engaged in institutionalized telework. A qualitative and exploratory approach was adopted, including semi-structured interviews with six managers and Bardin's content analysis, supported by the MAXQDA software, yielding 34 codes organized into three categories: productivity and evaluation criteria; monitoring, communication, and effectiveness; and infrastructure and remote working conditions. The findings indicate that telework team productivity is mainly associated with meeting targets, the quality of deliverables, and alignment with institutional objectives. Monitoring occurs in a hybrid manner, using institutional email to formalize demands and instant messaging applications to enhance agility. There is a lack of agreements on communication hours and response times, which generates communication noise and reduces the visibility of workflow. Telework effectiveness largely depends on connectivity and the performance of institutional systems, with reports of reliance on personal resources and operational difficulties in activity-recording systems. The study concludes that telework can enhance efficiency and innovation in public educational management, but it requires standardized communication and monitoring protocols, managerial training, and technological and infrastructural support to sustain results in Amazonian contexts with limited internet access.

Keywords: Telework; Productivity; Public higher education institution; Brazilian Amazon.

1. Introducción

El teletrabajo puede entenderse como una modalidad laboral mediada por las tecnologías de la información y la comunicación, en la que las actividades profesionales se realizan fuera de las instalaciones físicas de la organización, preservando el vínculo institucional y la orientación hacia los objetivos organizativos (Nilles, 1997). En las últimas décadas, esta forma de organización del trabajo ha adquirido una relevancia creciente en el sector público, impulsada por los procesos de transformación digital y la búsqueda de una mayor eficiencia administrativa.

Como señalan Gajendran y Harrison (2007), el teletrabajo no se limita al desplazamiento espacial del lugar de ejecución de las actividades, sino que implica cambios significativos en los niveles de autonomía de los trabajadores, en los mecanismos de supervisión y en la dinámica de la relación entre los gestores y los equipos. En el sector público, estas transformaciones tensionan los modelos tradicionales de gestión, fuertemente basados en el control de la presencia física y la supervisión directa, y exigen nuevas formas de coordinación, acompañamiento y evaluación del rendimiento.
El avance de las tecnologías digitales ha favorecido la aparición de nuevos arreglos organizativos en la administración pública, estimulando modelos de gestión orientados a la innovación, al uso intensivo de datos y a la gestión por resultados (Dunleavy et al., 2006; Mergel et al., 2019). En este contexto, el teletrabajo deja de ser una práctica puntual o excepcional y pasa a incorporarse formalmente a las políticas institucionales, sobre todo a partir de las experiencias vividas durante la pandemia de COVID-19.

En el Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología del estado de Pará (IFPA), Brasil, Amazonia Legal Brasileña[1], el teletrabajo se implementó inicialmente de forma emergencial durante la pandemia, respaldado por normativas internas temporales, hasta su institucionalización, que consolidó esta modalidad como política permanente de gestión.

En este contexto, surge el siguiente problema de investigación: ¿cómo perciben los gestores públicos de un campus del IFPA, con sede en el interior del estado, la productividad de sus equipos que están en teletrabajo? La relevancia del estudio radica en su contribución a la mejora de las prácticas de gestión en la administración pública educativa, especialmente en las instituciones de educación superior situadas en las regiones amazónicas, donde las condiciones de infraestructura digital y las especificidades territoriales pueden influir directamente en la eficacia de esta modalidad de trabajo. La investigación ofrece contribuciones al debate internacional sobre el teletrabajo en territorios con asimetrías de conectividad y efectos en la gestión por resultados.

El objetivo general de la investigación es analizar las percepciones de los gestores de un campus del IFPA sobre los impactos del teletrabajo institucionalizado en la productividad de los funcionarios públicos. Como objetivos específicos, se pretende: i) mapear cómo evalúan los gestores la productividad de los equipos en régimen de teletrabajo; ii) identificar los criterios y mecanismos utilizados para el acompañamiento del rendimiento en el trabajo a distancia; y iii) conocer y presentar posibles contribuciones para el aumento de la productividad de los equipos en teletrabajo, en especial los que pertenecen a escenarios desafiantes en infraestructura digital y desigualdades regionales.

2. Antecedentes teóricos y empíricos

2.1. El teletrabajo en el sector público y su institucionalización en el IFPA

El teletrabajo en el sector público se analiza en la literatura internacional como parte de las transformaciones de la administración pública asociadas a la digitalización gubernamental y a la gestión orientada a resultados (Nilles, 1997). Inicialmente entendido como la realización de actividades fuera de las instalaciones físicas de la organización con el apoyo de las tecnologías de la información y la comunicación, el teletrabajo pasó a entenderse como un instrumento de reorganización institucional (Dunleavy et al., 2006).

En el paradigma de la gobernanza de la era digital, el uso intensivo de las tecnologías digitales redefine los procesos y mecanismos de control, desplazando el foco de la supervisión de la presencia física hacia la coordinación basada en resultados y en la entrega de valor público (Dunleavy et al., 2006). Estudios empíricos indican que esta modalidad amplía la autonomía de los trabajadores y exige una mayor claridad de objetivos, confianza institucional y alineación organizativa, lo que pone en tensión los modelos burocráticos tradicionales (Gajendran & Harrison, 2007).

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos destaca que el teletrabajo exige prácticas de gestión basadas en la confianza, la transparencia y la evaluación del rendimiento, sustituyendo el control del tiempo y la presencia física (OCDE, 2020). Su consolidación en el sector público depende de la institucionalización, entendida como la incorporación formal del teletrabajo a las normas, rutinas y sistemas organizativos, reduciendo las ambigüedades gerenciales y fortaleciendo la gestión por resultados (Bailey & Kurland, 2002; Ortiz-Lozano et al., 2022).

Sin embargo, cuando se trata del teletrabajo en el sector público brasileño, su eficacia está directamente condicionada a la existencia de condiciones estructurales adecuadas, tanto en el ámbito institucional como en el entorno doméstico del funcionario. La literatura internacional destaca que el trabajo a distancia requiere una infraestructura mínima que garantice la ergonomía, la conectividad y el apoyo tecnológico, a fin de preservar la productividad y el bienestar laboral (Filardi et al., 2020).

Otro factor central, señalado por Rocha y Amador (2018), se refiere a la calidad de la conexión a Internet, ya que el teletrabajo presupone un acceso estable y continuo a los sistemas institucionales, las plataformas digitales y los canales de comunicación organizacional. La inestabilidad de la conectividad compromete la realización de reuniones virtuales, el envío de documentos y la comunicación sincrónica entre gerentes y equipos, lo que constituye un obstáculo importante para la gestión por resultados.

En el ámbito del IFPA, el teletrabajo se implementó inicialmente de forma emergencial durante la pandemia de COVID-19, respaldado por normativas internas temporales, como la Ordenanza n.º 514/2020/GAB/IFPA y las orientaciones emitidas por la Pro-Rectoría de Gestión de Personas (PROGEP). El modelo remoto permitió la reorganización de las rutinas administrativas y la continuidad de los servicios públicos educativos en un contexto de restricciones sanitarias y distanciamiento social (IFPA, 2020).

La institucionalización del teletrabajo en el ámbito del IFPA se produjo mediante actos normativos internos, que consolidaron esta modalidad en consonancia con los principios de la gestión por

resultados en el sector público. El marco normativo central de este proceso fue la Ordenanza n.º 1.183/2022/GAB/IFPA, de 29 de junio de 2022, que reguló el Programa de Gestión y Rendimiento (PGD) en la institución (IFPA, 2022).

Dicha ordenanza estableció directrices para la adopción del teletrabajo en sus modalidades parcial y total, definiendo criterios de adhesión, responsabilidades de los funcionarios, atribuciones de los jefes y mecanismos de acompañamiento del rendimiento. Al regular formalmente el trabajo a distancia, el IFPA desplazó el foco del control de la presencia física al acuerdo de metas, entregas y resultados, en consonancia con los supuestos de la gestión por rendimiento en el sector público (IFPA, 2022).

La normativa alineó el acompañamiento de las actividades con la lógica del acuerdo de metas, entregas y resultados, en consonancia con los principios de la gestión por rendimiento. Actualmente, está en vigor la Ordenanza n.º 099/2025/GAB/IFPA, que actualizó los procedimientos, las normas y las formas de ejecución del PGD en el IFPA (IFPA, 2025b).

La normativa interna del IFPA se basa en el Decreto n.º 11.072/2022, que instituyó el Programa de Gestión y Rendimiento en el ámbito de la administración pública federal directa, autárquica y fundacional. Este marco normativo consolida la transición del teletrabajo de una práctica excepcional a una política de gestión permanente, basada en el cumplimiento de objetivos, la evaluación del rendimiento y la responsabilidad por los resultados, en sustitución de los modelos tradicionales centrados en el control del tiempo y la presencia física.

2.2. Productividad en el teletrabajo: de la presencia física a las entregas pactadas

La institucionalización del teletrabajo en el sector público, tal y como se ha comentado en el punto anterior, redefine de forma sustancial los criterios de evaluación del trabajo. Al desplazar el foco del control de la jornada y la presencia física hacia el acuerdo de objetivos, entregas y resultados, el teletrabajo institucionalizado reposiciona la productividad como categoría central de la gestión pública contemporánea, en línea con los supuestos de la gestión por resultados (Gajendran & Harrison, 2007).

La literatura internacional indica que, en contextos de teletrabajo, la productividad depende menos de la intensificación del control gerencial y más de la capacidad institucional para definir objetivos claros, estructurar mecanismos de acompañamiento y promover la alineación organizacional (OCDE, 2020). Bailey y Kurland (2002) destacan que la relación entre el teletrabajo y la productividad está condicionada por el diseño organizativo y las prácticas de gestión adoptadas, siendo más favorable cuando el trabajo a distancia está formalmente integrado en los sistemas de planificación y evaluación del rendimiento.

En el sector público, esta lógica se articula directamente con la adopción de la gestión por resultados, en la que el rendimiento se evalúa en función de las entregas realizadas, la calidad del trabajo y el cumplimiento de los plazos, sustituyendo los modelos tradicionales centrados en el control del tiempo de trabajo y la presencia física (Kim et al., 2021).

Esta transición implica cambios en los estilos de liderazgo y en los mecanismos de coordinación de los equipos. En entornos de teletrabajo, el papel del gestor pasa del control directo a funciones de planificación, apoyo, acompañamiento y mediación, lo que exige una mayor capacidad de comunicación y articulación de las actividades (Fayolle & Gailly, 2015). En este sentido, los sistemas de retroalimentación continua asumen un papel estratégico para sostener el rendimiento, reducir ambigüedades y alinear las expectativas entre gerentes y empleados (Al Amani, 2023).

En el sector público brasileño, el teletrabajo se ha adoptado como una alternativa de flexibilización orientada a la eficiencia, con énfasis en las ganancias de productividad asociadas a una mayor concentración, la reducción del tiempo de desplazamiento y la mejora de la calidad de vida. Las pruebas de Serpro[2] indican un aumento percibido de la producción y la motivación, y los teletrabajadores informan de un mejor rendimiento y bienestar en comparación con los no teletrabajadores. Sin embargo, obstáculos como las limitaciones tecnológicas, el acceso a los sistemas y la menor interacción social indican que tales ganancias dependen de condiciones institucionales adecuadas y de una gestión consistente basada en resultados (Vilarinho et al., 2021).

En el IFPA, POLARE es el sistema utilizado para poner en práctica el PGD mediante la planificación, el registro, el acompañamiento y la evaluación de las entregas acordadas, estructurando la gestión del trabajo, incluido el remoto/híbrido, en dos niveles: (i) el Plan de Entrega de la Unidad, en el que los responsables registran las entregas, metas, plazos de hasta 3 meses y responsables, explicando lo que la unidad realizará y en qué horizonte temporal; y (ii) el Plan de Trabajo del servidor, que debe reflejar las actividades vinculadas a las entregas de la unidad, ofreciendo un parámetro objetivo para el acompañamiento de la productividad por parte de los gestores de los equipos (IFPA, 2025a).

En el flujo del sistema, el plan de la unidad se somete a homologación y queda visible para la dirección superior, que puede homologarlo o devolverlo para que se realicen ajustes. La evaluación del plan de trabajo se lleva a cabo en un módulo específico, en el que la dirección asigna una puntuación según los criterios normativos del IFPA (2025a).

El sistema se implementó para cumplir con las normas federales sobre gestión del rendimiento, como el Decreto n.º 11.072/2022 y la Instrucción Normativa n.º 24/2023, del Ministerio de Gestión e Innovación (MGI), pero presenta varios problemas operativos, lo que implica dificultades tanto para el registro de los planes de los gestores como para los informes de trabajo de los técnicos. Debido a estas limitaciones, la plataforma de registro está en proceso de sustitución por el sistema PETRVS (IFPA, 2025a).

2.3. Infraestructura digital y desigualdades regionales en el teletrabajo

A pesar de los avances normativos y administrativos relacionados con la institucionalización del teletrabajo en el sector público, la literatura señala que la eficacia de esta modalidad depende en gran medida de la calidad de la infraestructura tecnológica disponible. En contextos regionales marcados por desigualdades históricas en el acceso a las tecnologías digitales, como la Amazonía, estas limitaciones se hacen aún más evidentes (OCDE, 2020; Mergel et al., 2019).

Autores internacionales destacan que el teletrabajo presupone una conectividad estable, un acceso continuo a una Internet de calidad y un soporte tecnológico adecuado, factores que son determinantes para la productividad, la comunicación organizativa y el cumplimiento de los objetivos. Cuando estas condiciones no se cumplen plenamente, el trabajo a distancia tiende a generar sobrecarga, retrasos en las entregas y dificultades de coordinación entre equipos y directivos (Bailey & Kurland, 2002; Gajendran & Harrison, 2007).

En el contexto amazónico brasileño, los estudios regionales evidencian que la precariedad de la infraestructura de telecomunicaciones, especialmente en los municipios del interior, constituye uno de los principales obstáculos para la implementación efectiva de políticas de transformación digital y trabajo remoto en el sector público. La dispersión territorial, las grandes distancias geográficas y la dependencia de proveedores con cobertura limitada repercuten directamente en la estabilidad de la conexión y la velocidad de acceso a los sistemas institucionales (Castro & Campos, 2019; Silva & Costa, 2021).

Según Castro y Campos (2019), la exclusión digital en la Amazonía no se limita al acceso físico a Internet, sino que también implica cuestiones de calidad del servicio, mantenimiento de las redes y capacidad institucional de soporte técnico. Estas limitaciones afectan directamente al rendimiento de los servidores en régimen de teletrabajo, sobre todo en instituciones con múltiples campus, como el IFPA, cuyas unidades están distribuidas en regiones de difícil acceso.

Silva y Costa (2021) refuerzan que, en los campus del interior de la Amazonia, las recurrentes fallas de conexión comprometen las reuniones virtuales, el acceso a los sistemas administrativos, el envío de informes y la comunicación sincrónica con los equipos y los gestores. Este escenario impone retos adicionales a la gestión por resultados, ya que el cumplimiento de los plazos y objetivos pasa a depender de factores externos a la actuación directa del servidor.

Ante las realidades regionales marcadas por desigualdades estructurales, como en los campus de las instituciones de educación superior, en adelante denominadas IES, con sede en el interior del estado de Pará, estas dificultades estructurales relacionadas con la conectividad tienden a intensificarse. Según el ranking Minha Conexão 2025[3], el estado ocupa el séptimo lugar entre los peores de Brasil en calidad y velocidad de Internet, además de que ninguna ciudad de Pará aparece entre las diez mejor clasificadas a nivel nacional (Gutierrez, 2025).

Así, aunque el teletrabajo institucionalizado representa una innovación administrativa relevante, su consolidación en el ámbito del IFPA exige el reconocimiento de las especificidades regionales amazónicas. La literatura indica que las políticas de teletrabajo en contextos periféricos deben ir acompañadas de inversiones estructurales en conectividad, adaptación de los objetivos a la realidad local y estrategias de gestión más flexibles, capaces de mitigar los impactos de las desigualdades digitales sobre la productividad y el rendimiento institucional (OCDE, 2020; Castro & Campos, 2019).

3. Metodología

Este estudio se llevó a cabo en un campus del IFPA, situado en el interior del estado de Pará, en un contexto de consolidación del teletrabajo como práctica institucional vinculada al Programa de Gestión y Rendimiento (PGD).

Para alcanzar el objetivo propuesto, se adoptó como estrategia de investigación el estudio de caso, ya que permite analizar el fenómeno en su realidad contextual y comprender cómo las prácticas gerenciales, las condiciones organizativas y las especificidades territoriales influyen en la productividad del teletrabajo (Yin, 2005). La investigación tiene un enfoque cualitativo y de naturaleza exploratoria, buscando revelar percepciones, pensamientos y significados atribuidos a un grupo (Gil, 2019). La selección de los participantes tuvo en cuenta criterios de conveniencia y accesibilidad, contemplando a gerentes que ocupan puestos de dirección, coordinación y jefatura y que supervisan directamente el acuerdo de objetivos, el flujo de entregas y la coordinación de actividades administrativas en el teletrabajo.

En total, se entrevistó a seis gerentes. Para garantizar la confidencialidad y el secreto, los participantes fueron identificados mediante códigos numéricos: Gerente 1; Gerente 2; Gerente 3; Gerente 4; Gerente 5 y Gerente 6. Los registros se trataron de manera que se evitara la identificación individual. Las entrevistas se realizaron de forma remota y presencial, se grabaron en audio y vídeo y posteriormente se transcribieron, entre el 22 y el 23 de diciembre de 2025. La recopilación de datos se realizó mediante entrevistas semiestructuradas, compuestas por preguntas orientativas y sondeos de profundización, lo que permitió garantizar la comparabilidad entre los participantes y, al mismo tiempo, explorar con mayor detalle los aspectos emergentes a lo largo de los relatos.

El guion de la entrevista se elaboró a partir de los objetivos del estudio y del marco de referencia sobre teletrabajo y productividad en el sector público, y abarcó temas como: productividad percibida, mecanismos de acompañamiento del rendimiento, comunicación gerencial e infraestructura institucional. Se consideraron, de manera transversal, las especificidades regionales amazónicas, especialmente en lo que se refiere a la conectividad y el soporte tecnológico, debido a sus posibles impactos en la productividad y el cumplimiento de los objetivos.

A continuación, se procedió a la importación de los textos al software MAXQDA versión 2025, una plataforma que permite la importación y exportación de varios documentos y proporciona análisis de investigaciones cualitativas. A través de diversas herramientas de esta plataforma, como nubes de palabras y tablas de frecuencia, el lector puede obtener una visión general más fácil de la investigación y, en consecuencia, del análisis propuesto por los investigadores.

El procedimiento siguió las etapas de (i) preanálisis, con lectura flotante, delimitación del corpus y definición de las unidades de registro; (ii) exploración del material, con codificación y categorización de las unidades de sentido; y (iii) tratamiento de los resultados, inferencia e interpretación, articulando las categorías analíticas con el marco teórico y los objetivos de la investigación. El tratamiento y el análisis del material empírico se llevaron a cabo mediante análisis de contenido, según Bardin (2016).

De acuerdo con los contenidos evaluados en las entrevistas, se obtuvieron un total de 34 códigos, agrupados en tres categorías, a saber: 1) Productividad y criterios de evaluación; 2) Acompañamiento, comunicación y eficacia; y 3) Infraestructura y condiciones de trabajo a distancia. Se utilizó la herramienta "Comparar casos y grupos" para acceder a los segmentos codificados para la lectura dinámica del material y la extracción de fragmentos textuales de interés.

4. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos a partir de los documentos seleccionados para el corpus de investigación se presentan a continuación. El equipo de investigación utilizó el software MAXQDA para proporcionar una visión panorámica de la base de datos con el fin de facilitar la lectura dinámica del material, mediante la creación de nubes de palabras, cuadros de frecuencia de palabras clave y fragmentos textuales de interés extraídos de las entrevistas con los gestores.

4.1. Análisis de los resultados: "Productividad y criterios de evaluación"

Se elaboró una nube de 08 palabras, considerando una frecuencia mínima de 10 ocurrencias – figura 1. La imagen destaca visualmente los términos que recibieron mayor énfasis en el corpus de la investigación, considerando las preguntas relacionadas con la productividad y los criterios de evaluación. Cabe destacar que la palabra "calidad" destaca, ya que aparece 18 veces en los documentos analizados, seguida de las palabras "plazo" y "tiempo".

Figura 1. Nube de palabras a partir de la categoría "Productividad y criterios de evaluación".



Fuente: Elaborado por los autores utilizando el software MAXQDA versión 2025.

A partir de la misma base de datos, se obtuvo una lista de las palabras más frecuentes, sin distinción entre mayúsculas y minúsculas, tal y como se muestra en la tabla 1. La tabla muestra datos organizados en columnas con información como la frecuencia con la que apareció la palabra en el análisis de la categoría analizada; la frecuencia relativa de la palabra (%), que expresa la constancia relacionada con el total de ocurrencias contabilizadas en la lista; la cantidad de documentos, entrevistas, en los que cada palabra aparece al menos una vez; y el valor porcentual, que evidencia el grado de difusión del término entre los participantes.

Tabla 1. Frecuencia de palabras de la categoría "Productividad y criterios de evaluación".

Palabra	Frecuencia	%	Documentos	Documentos %
correo electrónico	15	3,26	6	100,00
whatsapp	14	3,04	6	100,00
comunicación	11	2,39	6	100,00
horario	9	1,96	5	83,33
reunión	9	1,96	5	83,33
acompañamiento	6	1,30	5	83,33
agilidad	6	1,30	4	66,67
plazo	6	1,30	3	50,00
contacto	5	1,09	3	50,00
evitar	5	1,09	2	33,33
formal	5	1,09	3	50,00
institucional	5	1,09	4	66,67
momento	5	1,09	3	50,00
problema	5	1,09	4	66,67

Fuente: Elaborado por los autores utilizando el software MAXQDA versión 2025.

A partir de esta información analizada, cabe destacar que las palabras "plazo" y "tiempo", aunque aparecen en clasificaciones posteriores, casi siempre tienen la misma aplicación semántica, lo que indica la expectativa temporal de respuesta a las demandas. De este modo, sumando la frecuencia de estos dos términos, se obtiene un total de 30 eventos, lo que indica que estos criterios son los más relevantes para la evaluación de los gestores entrevistados, asociados al servicio con la calidad esperada, es decir, la resolución. La palabra "servicio" también aparece en la nube de palabras y en la tabla de frecuencia con 12 casos.

En cuanto a las palabras "plazo", "tiempo" y "calidad", como criterios centrales asociados a la evaluación de la productividad, destacan algunos fragmentos de las entrevistas, como los siguientes:

> En primer lugar, tengo en cuenta la disponibilidad y la respuesta a las solicitudes: si el equipo responde y remite lo que se le ha solicitado. Además, observo el cumplimiento de los plazos, la calidad de la entrega y la resolución, es decir, si la solicitud se ha resuelto efectivamente. El volumen de entrega es relativo, (...) lo principal es resolver el problema con calidad (Gerente 1).

> Con el teletrabajo, la atención se centró más en el resultado que en la permanencia en el trabajo durante las horas de la jornada laboral. El tiempo dedicado no es, por sí solo, la mejor referencia. Considero que la calidad de lo entregado se ha convertido

> en un criterio fundamental para evaluar la productividad (Gerente 5). Destaco la capacidad de resolución como criterio fundamental, junto con el cumplimiento de los objetivos. También considero importante el cumplimiento de los plazos, la calidad y el volumen de la atención; entiendo que lo ideal es una combinación de estos elementos (Gerente 4).

También se observa la presencia de las palabras "plazo" y "tiempo" asociadas a las expectativas de respuestas más ágiles y rápidas por parte del equipo a las demandas de los gestores, tal y como ilustran los siguientes textos:

> Dirijo al teletrabajo, principalmente, las actividades que dependen de Internet y de los sistemas institucionales, porque la conexión a Internet en el campus es inestable y eso perjudica la ejecución presencial. Así, tareas como responder correos electrónicos, ejecutar demandas en software y programas, organizar y actualizar información, elaborar documentos y realizar encuestas funcionan mejor de forma remota. En el caso de los profesores, el teletrabajo cobra mayor importancia en la planificación, la preparación de clases y materiales, y el acompañamiento de actividades que pueden realizarse a distancia (Gerente 1).

> Para entregas y producción de trabajos, como informes, considero que el trabajo remoto es más productivo, porque la entrega puede realizarse más rápidamente. Para reuniones e interactividad, prefiero el trabajo presencial (Gerente 2).

> Creo que, hoy en día, la lógica se orienta más por la demanda y la entrega que por la permanencia física. En el IFPA, por ejemplo, existe un informe institucional que se completa semestralmente, el RAD, en el que el docente debe acreditar su producción, como clases, planes de clase, diarios y acreditaciones de extensión e investigación, y esto debe ser coherente con la carga horaria. Por lo tanto, entiendo que la exigencia institucional se orienta hacia la entrega y la acreditación del trabajo realizado (Gerente 3).

> En el teletrabajo, me doy cuenta de que los objetivos y la resolución de problemas son más flexibles, ya que la persona puede organizar mejor su tiempo fuera de la rígida lógica del horario institucional. Con ello, creo que los objetivos se pueden cumplir más rápidamente y, en consecuencia, se pueden realizar más entregas (Gerente 4).

Se observa que los gerentes perciben cambios en la lógica de evaluación de la productividad de los equipos, desplazándose hacia factores más orientados a la agilidad de las respuestas asociadas a la calidad de las entregas, a diferencia de la lógica anterior que se basaba, por ejemplo, en el cumplimiento de jornadas laborales establecidas objetivamente.

Cabe destacar que la palabra "calidad", en esta categoría, no se limita al atributo técnico de las entregas, sino que también aparece articulada con la noción de "calidad de vida", lo que sugiere, en la percepción gerencial, una relación positiva entre el bienestar y el rendimiento, como muestra el fragmento:

> Entiendo que el teletrabajo facilita el logro de los objetivos, funcionando como un "impulso" adicional, asociado a la mejora de la calidad de vida. Para mí, la lógica está menos relacionada con el "tiempo" y más con el cumplimiento de objetivos y entregas; esto hace que la rutina sea mentalmente más ligera y reduce la presión del reloj, aunque los plazos sigan existiendo (Gerente 4).

> El trabajo remoto proporciona una mejor calidad de vida, ya que creo que el ambiente de nuestros hogares es más cómodo. El teletrabajo permite una mayor flexibilidad para adaptarse a las necesidades personales y profesionales, además de facilitar una mejor gestión del tiempo. También siento que mi equipo se siente menos presionado, lo que les permite concentrarse más y, en consecuencia, ser más productivos a la hora de resolver tareas que requieren atención (Gerente 3).

Además de estas, otras palabras, como "atención", "informe", "acompañamiento", "institucional" y "reunión" aparecen en el análisis. Estas, casi siempre, están relacionadas con la dinámica referente a la formalización de demandas y el acompañamiento de los criterios, como se observa en:

> El plazo se formaliza, por regla general, mediante un correo electrónico institucional, asociado a la solicitud de la demanda. Para los docentes, los plazos están vinculados al calendario académico y a instrumentos como el Plan Individual de Trabajo Docente (PIT) y el Informe de Actividades Docentes (RAD), con divulgación oficial en resolución y refuerzo por correo electrónico. En el caso de los técnicos, existen plazos de referencia previstos en instrumentos de gestión, como los planes de trabajo registrados en el sistema POLARE, (...) esta comunicación siempre debe ser oficial (Gerente 5).

> El criterio del plazo tiene una formalización indirecta, ya que está previsto en el calendario académico institucional. Otros criterios de productividad, en cambio, no están formalizados en planes de trabajo o normativas específicas, sino que se aplican de manera informal, según la experiencia de la gestión y las necesidades del sector (Gestor 6).

Estos últimos extractos nos proporcionan pruebas, en particular en lo que respecta a las divergencias de interpretaciones y prácticas destinadas a formalizar los plazos de respuesta de los equipos, ya que los docentes están sujetos a los plazos definidos por el calendario académico establecido por la propia institución —y no por el gestor— y los técnicos administrativos, al registro de los planes de trabajo en el sistema POLARE.

4.2. Análisis de los resultados: "Acompañamiento, comunicación y eficacia"

En cuanto a la categoría "Acompañamiento, comunicación y eficacia", se creó una nube de 14 palabras, considerando una frecuencia mínima de 5 ocurrencias, destacando los términos que recibieron mayor énfasis en el corpus de la investigación. Destaca la palabra "correo electrónico", que aparece

15 veces en los documentos analizados, seguida de otros términos como “WhatsApp”, “comunicación”, “horario”, “reunión”, “acompañamiento” y “agilidad”.

Figura 2. Nube de palabras a partir de la categoría “Acompañamiento, comunicación y eficacia”.



Fuente: Elaborado por los autores utilizando el software MAXQDA versión 2025.

La tabla 2 presenta la frecuencia de las palabras más encontradas en el análisis de esta categoría, considerando una frecuencia mínima de 5 ocurrencias.

Tabla 2. Frecuencia de palabras de la categoría “Acompañamiento, comunicación y eficacia”

Palabra	Frecuencia	%	Documentos	Documentos %
correo electrónico	15	3,26	6	100,00
whatsapp	14	3,04	6	100,00
comunicación	11	2,39	6	100,00
horario	9	1,96	5	83,33
reunión	9	1,96	5	83,33
acompañamiento	6	1,30	5	83,33
agilidad	6	1,30	4	66,67
plazo	6	1,30	3	50,00
contacto	5	1,09	3	50,00
evitar	5	1,09	2	33,33
formal	5	1,09	3	50,00
institucional	5	1,09	4	66,67
momento	5	1,09	3	50,00
problema	5	1,09	4	66,67

Fuente: Elaborado por los autores utilizando el software MAXQDA versión 2025.

Cabe destacar la centralidad de los términos "correo electrónico" y "WhatsApp", con 15 y 14 frecuencias respectivamente, ambos con una presencia del 100 % en los seis documentos/entrevistas. Este dato posiblemente indica que el acompañamiento gerencial en el teletrabajo se organiza principalmente a partir de la combinación de canales formales e informales.

En términos gerenciales, esto señala una estrategia híbrida, ya que el correo electrónico tiende a sustentar la trazabilidad, el registro y la responsabilidad del servidor demandante, ya que se caracteriza como una comunicación institucionalizada; mientras que WhatsApp funciona como un acelerador operativo para dar fluidez al trabajo remoto, reduciendo el tiempo de respuesta y permitiendo ajustes rápidos en el día a día. Estas evidencias pueden observarse a partir de algunos fragmentos de las entrevistas a los gerentes, tales como:

> El acompañamiento se realiza mediante reuniones periódicas y comunicación continua, según las necesidades. Utilizo el correo electrónico institucional para el registro, WhatsApp para agilizar los trámites y, cuando es necesario, reuniones a través de Google Meet para coordinar los puntos más complejos (Gerente 1).
>
> Durante un tiempo, utilicé mucho WhatsApp por su practicidad, pero me di cuenta de que necesitaba registrarlo oficialmente por correo electrónico. Hoy en día, envío el correo electrónico y aviso por WhatsApp de que se ha enviado, para que el equipo lo compruebe y responda por el canal formal. Entiendo que esto mejora el registro sin perder agilidad (Gerente 1).
>
> Utilizo el correo electrónico, WhatsApp, reuniones en línea (como Google Meet), el teléfono y hojas de cálculo. En estas hojas de cálculo, registro quién es el responsable del proyecto, la fecha de inicio y la fecha prevista de finalización, para realizar un acompañamiento del progreso (Gerente 2).
>
> Utilizo principalmente WhatsApp porque es el medio más rápido, aunque informal, y utilizo el correo electrónico cuando necesito formalizar algo. La frecuencia varía según la demanda y, si es necesario, puede ser diaria. Recurro a las reuniones cuando es necesario, sobre todo cuando hay más personas involucradas o se trata de la integración con otros equipos (Gerente 4).
>
> El acompañamiento se realiza de forma puntual y no sistemática. Se utilizan principalmente el correo electrónico institucional y WhatsApp para la comunicación, además de reuniones presenciales extraordinarias cuando es necesario. No hay una rutina fija de reuniones, controles periódicos o instrumentos formales de acompañamiento (Gerente 6).

Además de los canales y herramientas más utilizados para el acompañamiento y la comunicación con los equipos, los investigadores profundizaron en las preguntas mediante encuestas sobre la existencia de acuerdos sobre horarios para la comunicación efectiva y plazos de respuesta. Existe una clara divergencia sobre la celebración de acuerdos entre las partes. A continuación se presentan algunas respuestas:

> Tengo acuerdos informales con el equipo. Evito enviar mensajes durante el fin de semana y fuera del horario laboral, y evito enviar mensajes después de las 8 de la tarde. En situaciones urgentes, puede ocurrir, pero lo trato como una excepción y lo acuerdo previamente. Me doy cuenta de que el equipo también evita enviar mensajes fuera del horario laboral, y mantenemos esta precaución como un acuerdo (Gerente 1).

> No tenemos un acuerdo formal sobre los horarios. Existe un entendimiento entre el equipo de no enviar mensajes durante la hora del almuerzo, pero se intercambian mensajes fuera del horario laboral y fuera de los días hábiles. En cuanto a los plazos de respuesta, no hay un plazo definido, pero existe un acuerdo implícito: cuando se envía un mensaje, lo vemos e intentamos resolverlo lo antes posible (Gerente 3).

> Por el momento, no hay acuerdos formales ni informales sobre horarios de disponibilidad y plazos de respuesta. Trabajo de manera flexible y no veo ningún problema en responder mensajes fuera del horario laboral en situaciones sencillas (dudas e informaciones). No obstante, quiero señalar que las demandas institucionales, por regla general, deben producirse durante la jornada laboral; solo establecería límites explícitos si el servidor lo solicitara (Gerente 4).

> Hay acuerdos informales. Estoy disponible para el equipo incluso fuera del horario laboral y los fines de semana, pero cuando me pongo en contacto con mi equipo, prefiero respetar el horario de trabajo, salvo en casos de urgencia. Sin embargo, a menudo recibo mensajes de mi equipo fuera del horario laboral y en días no laborables, pero no veo esto como un problema. Pienso en un plazo de referencia para las respuestas ante las dificultades recientes (Gerente 5).

Cuando se les preguntó sobre lo que ha funcionado bien, como era de esperar, en el teletrabajo de sus equipos, y dónde consideran que se encuentran los mayores obstáculos en la dinámica relacionada con el acompañamiento de las actividades remotas requeridas y la eficacia de la comunicación, las principales respuestas incluyeron las palabras "agilidad", "comunicación", "plazo", "formal" y "problema".

> La comunicación es ágil y, al ser más flexible, ayuda a conciliar la vida personal y profesional. Se producen fallos de comunicación. A veces llega una solicitud y no se transmite correctamente, o la documentación llega incompleta, por ejemplo, falta algún documento (Gerente 3).

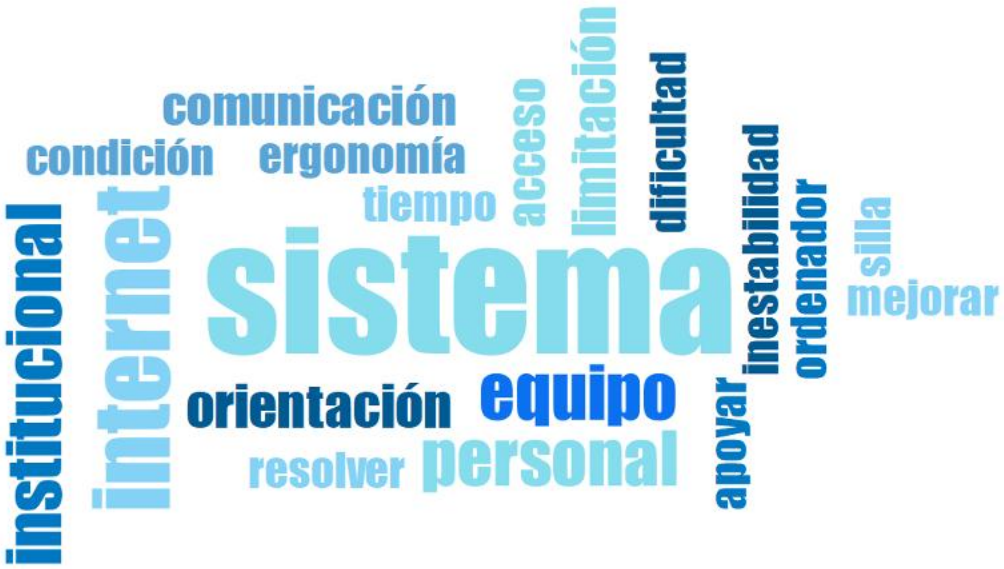
> Hasta ahora, en mi opinión, lo que ha funcionado bien es la agilidad y la capacidad de resolución. Hasta el momento, no he percibido problemas de comunicación; considero que, aunque es posible que se produzcan cambios con el tiempo (Gerente 4).

> Los mecanismos funcionan bien, pero hay margen para mejorar, especialmente en lo que se refiere a la eficacia de la comunicación y a la necesidad de formalizar los plazos de respuesta. Puede haber ruidos en la comunicación, lo que se refleja en la demora de la respuesta y la pérdida de visibilidad del flujo, con mensajes no visualizados. Creo que estos ruidos en la comunicación se deben al hecho de que el servidor acaba recibiendo otras demandas, a veces personales, y, en consecuencia, acaba sin ver esa comunicación" (Gerente 5).

4.3. Análisis de los resultados: "Infraestructura y condiciones del teletrabajo"

En relación con la categoría "Infraestructura y condiciones de trabajo remoto", se siguieron los procedimientos anteriores, como la creación de una nube de palabras con 12 términos, considerando una frecuencia mínima de 5 ocurrencias (figura 3). Se destacaron los términos que tuvieron mayor relevancia en el corpus de la investigación. La palabra "sistema" se destacó, ya que apareció 22 veces en el corpus analizado, seguida de otros términos como "internet", "equipo", "institucional", "personal", "limitación" y "orientación".

Figura 3. Nube de palabras a partir de la categoría "Infraestructura y condiciones de trabajo remoto".



Fuente: Elaborado por los autores utilizando el software MAXQDA versión 2025.

La tabla 3 destaca la palabra "sistema" como el término más frecuente en el corpus, seguido de "internet", "equipo", "institucional", "personal", "limitación" y "orientación", lo que indica que, para los gestores entrevistados, la experiencia del teletrabajo está fuertemente mediada por el uso continuo de plataformas y sistemas institucionales, que se convierten en el eje operativo para planificar, ejecutar y registrar las entregas.

Tabla 3. Frecuencia de palabras de la categoría "Infraestructura y condiciones de trabajo remoto"

Palabra	Frecuencia	%	Documentos	Documentos %
sistema	22	3,76	6	100,00
internet	14	2,39	6	100,00
equipo	9	1,54	6	100,00
institucional	9	1,54	5	83,33
personal	9	1,54	6	100,00
limitación	7	1,20	5	83,33
orientación	7	1,20	4	66,67
acceso	6	1,03	4	66,67
comunicación	6	1,03	3	50,00
dificultad	6	1,03	4	66,67
mejorar	6	1,03	5	83,33
problema	6	1,03	4	66,67
apoyar	5	0,85	4	66,67
silla	5	0,85	3	50,00
ordenador	5	0,85	4	66,67
condición	5	0,85	2	33,33
ergonomía	5	0,85	4	66,67
inestabilidad	5	0,85	4	66,67
mejor	5	0,85	3	50,00
resolver	5	0,85	3	50,00
tiempo	5	0,85	3	50,00

Fuente: Elaborado por los autores utilizando el software MAXQDA versión 2025.

Al observar la distribución por "Documentos %", se aprecia que "sistema" e "internet" aparecen en el 100 % de las entrevistas, lo que sugiere un consenso en que la productividad y la continuidad del trabajo a distancia dependen directamente de un acceso estable y de la funcionalidad tecnológica. Los entrevistados consideran que el acceso a Internet, en cuanto a la estabilidad de la conexión, es definitivamente mejor en sus hogares, donde realizan el teletrabajo, que en el campus de la institución. Cabe destacar que los funcionarios que trabajan a distancia residen en la capital del estado de Pará, la ciudad de Belém, que cuenta con mejores condiciones de infraestructura para el acceso a Internet, especialmente con la celebración de eventos globales como la COP 30.

Otro punto que merece ser destacado es que los equipos utilizados por los empleados que teletrabajan son predominantemente personales. A continuación se presentan algunos extractos de las entrevistas que corroboran esta percepción:

> En el contexto de mi equipo, no identifico limitaciones significativas. Por el contrario, el teletrabajo tiende a mejorar el rendimiento debido a las limitaciones de la estructura presencial, especialmente Internet. Considero que las firmas, los reenvíos y la ejecución de tareas en los sistemas son más prácticos (Gerente 1).

> No percibo problemas de Internet en el teletrabajo e, de hecho, he oído que muchos prefieren trabajar desde casa en comparación con la conexión a Internet del campus. Los equipos, en general, son personales y no hay una estandarización mínima; cada persona utiliza los recursos que tiene (Gerente 2).

> En el trabajo presencial, Internet es aún peor. La lentitud de los sistemas institucionales también. En casa, creo que la organización del trabajo, la ergonomía y la comodidad son mejores; en consecuencia, hay una mayor productividad (Gerente 3).

> En general, los servidores que teletrabajan disponen de conexión a Internet y no hay quejas formales sobre la imposibilidad de trabajar por falta de conexión. Sin embargo, los equipos utilizados son personales y no hay disponibilidad institucional, lo que impone límites a la facturación y puede afectar a la continuidad del trabajo en caso de fallos en el equipo (Gerente 5).

También hay evidencia de limitaciones y necesidades de mejora, demostradas por la presencia de las palabras "limitación" en el 83,33 % de las entrevistas; "dificultad", 66,67 %; "problema", 66,67 %; "inestabilidad", 66,67 %; "mejorar", 83,33 % y "resolver", 50,00 %, como se puede ilustrar en los siguientes extractos:

> Creo que las medidas destinadas a mejorar las condiciones de trabajo en casa pueden reforzar la productividad, como la ergonomía (silla, mesa y entorno adecuados), una buena conexión a Internet y las condiciones económicas para mantener un ambiente confortable (como la climatización). Cuando el empleado no dispone de estos recursos, algún tipo de apoyo institucional marcaría la diferencia (Gerente 5).

> En general, sí. Los servidores utilizan equipos personales, como ordenadores y acceso a Internet, que son suficientes para realizar las actividades. Los sistemas institucionales funcionan satisfactoriamente. La principal dificultad está relacionada con el sistema específico de registro del teletrabajo, POLARE, que presenta limitaciones y problemas de usabilidad (Gerente 6).

De este modo, se deduce que existe un fuerte recurrente uso de medios personales (equipos y condiciones domésticas), lo que tiende a generar asimetrías entre los servidores y posibles repercusiones en la estandarización de las condiciones de trabajo. También se han señalado dificultades en el registro de actividades en el sistema POLARE, lo que refuerza la necesidad de sustituir la plataforma de registro actual por el sistema PETRVS (IFPA, 2025a).

Por último, en cuanto a esta categoría analizada, cuando se les preguntó qué medidas prioritarias podrían adoptarse para reforzar la productividad en el IFPA con el fin de reducir las limitaciones

presentadas, las principales respuestas se centraron en las palabras “orientación”, “mejorar”, “apoyar”, “silla” y “ordenador”, como se puede observar en algunos extractos de las entrevistas:

> La principal medida sería avanzar en la regulación de las actividades a distancia, especialmente en la enseñanza. Muchas actividades a distancia ya forman parte de la rutina docente, pero es importante que haya una normativa que aporte seguridad y claridad. Participé en una reunión en la que se discutió la elaboración de un borrador para regular esta práctica en el contexto de la enseñanza (Gerente 1).

> Creo que las medidas destinadas a mejorar las condiciones de trabajo en casa pueden reforzar la productividad, como el mobiliario ergonómico, por ejemplo, sillas y mesas, y entornos adecuados con buena conexión a Internet. Apoyo financiero para mantener un entorno confortable, como la climatización del ambiente. Cuando el servidor no dispone de estos recursos, algún tipo de apoyo institucional marcaría la diferencia (Gerente 2).

> Creo que es necesario mejorar la comunicación; la formación y la orientación sobre los sistemas institucionales utilizados; la normalización de los procedimientos y el flujo de atención, y un buen ambiente de trabajo, una buena relación entre los equipos, porque la relación presencial también repercute en la relación a distancia (Gerente 3).

> Considero que serían útiles campañas y orientaciones más estructuradas sobre las buenas condiciones para el teletrabajo. Las condiciones ergonómicas, como una silla, una mesa y un entorno adecuados para realizar el teletrabajo, ayudarían. También creo que sería interesante algún tipo de ayuda económica para los empleados que teletrabajan, para que puedan tener condiciones más favorables en su rutina remota (Gerente 4).

> El suministro de equipos por parte de la institución surge como una acción prioritaria. Además, señalo la necesidad de que la institución invierta en capacitación específica para el teletrabajo, tanto para quienes lo realizan como para quienes lo gestionan, con un enfoque en la orientación, la comunicación, el acompañamiento y la organización de los flujos. Creo que la formación para realizar el teletrabajo sería necesaria para mejorar la fluidez en todos los sentidos, en la entrega de los trabajos, en la comunicación y en el acompañamiento (Gerente 5).

> La principal medida sería ofrecer formación institucional antes de que los funcionarios empiecen a teletrabajar, orientándolos sobre el uso de las plataformas, las responsabilidades y los flujos de trabajo. Además, es necesario estandarizar los procedimientos y mejorar continuamente los sistemas utilizados (Gestor 6).

En términos generales, los resultados relativos a las posibles medidas que se podrían implementar para reforzar la productividad de los equipos que teletrabajan en el campus investigado sugieren prioridades relacionadas con la materialización del apoyo institucional, concretamente la ayuda para sufragar los gastos de adquisición de equipos ergonómicos adecuados para la realización de las actividades laborales a distancia.

Otro aspecto relevante de estas encuestas es que el factor "formación y desarrollo" fue señalado con fuerza por los entrevistados como una de las medidas necesarias para fortalecer el teletrabajo en el IFPA, en especial por parte del equipo que realiza las actividades a distancia, pero también por parte de los gestores y líderes.

5. Conclusiones

Esta investigación, con un enfoque cualitativo y exploratorio, analizó las percepciones de seis gestores de un campus del Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología de Pará (IFPA) acerca de los efectos del teletrabajo institucionalizado, en el marco del Programa de Gestión y Desempeño (PGD), sobre la productividad y la gestión cotidiana de los equipos. A partir de entrevistas semiestructuradas y análisis de contenido, se buscó comprender cómo se define y evalúa la productividad, qué mecanismos de seguimiento y comunicación sostienen (o debilitan) la efectividad del trabajo remoto y de qué manera las condiciones de infraestructura inciden en la ejecución de las entregas en un contexto amazónico marcado por limitaciones digitales y desigualdades regionales.

Los resultados evidencian un cambio sustantivo en la lógica evaluativa. La productividad deja de interpretarse prioritariamente a partir del control de la presencia física y del cumplimiento de la jornada laboral, y pasa a comprenderse por la capacidad de atender demandas con calidad, resolutividad y cumplimiento de plazos, alineando el esfuerzo gerencial con resultados observables. Además, en la percepción de los gestores, el teletrabajo puede favorecer condiciones subjetivas y organizacionales —como el enfoque, la flexibilidad y la "ligereza mental"— asociadas a la mejora de la calidad de vida, lo que tiende a impulsar el cumplimiento de metas y el mantenimiento del desempeño.

En el seguimiento, la comunicación y la efectividad, se observó el predominio de un arreglo híbrido: el correo electrónico institucional se utiliza para la formalización, el registro, la trazabilidad y la rendición de cuentas, mientras que las aplicaciones de mensajería instantánea se emplean para favorecer la agilidad y desbloquear flujos. Sin embargo, la ausencia de acuerdos sistematizados sobre rutinas de contacto, prioridades y expectativas de respuesta favorece ruidos comunicacionales, retrasos y pérdida de visibilidad del avance de las actividades, reduciendo la previsibilidad y la transparencia del flujo de trabajo. Sin acuerdos mínimos, la multiplicación de canales puede intensificar la percepción de disponibilidad permanente, tensionando el equilibrio entre la vida personal y la profesional, lo que potencialmente puede afectar el bienestar físico y psicológico de los servidores.
El análisis también refuerza que la efectividad del teletrabajo está condicionada por factores estructurales, especialmente en contextos amazónicos, tales como la estabilidad de la conectividad, el desempeño de los sistemas institucionales (como POLARE), la disponibilidad de equipamiento y condiciones ergonómicas adecuadas. Las entrevistas sugieren que el trabajo remoto puede percibirse como más viable y productivo al sortear limitaciones del entorno presencial (conexión inestable y

lentitud de sistemas en el campus); por otro lado, la dependencia de recursos personales (computadora, internet y condiciones domésticas) tiende a producir asimetrías en las condiciones de trabajo y a limitar la estandarización organizacional, reforzando la necesidad de inversiones institucionales en infraestructura, plataformas y soporte técnico.

Como implicaciones prácticas, se recomienda consolidar, dentro del PGD, criterios y metas vinculados a entregas (calidad, plazos y resolutividad), establecer protocolos mínimos de comunicación y monitoreo e invertir en capacitación y orientación para gestores y servidores. Por último, se reconocen limitaciones inherentes al recorte empírico —un único campus y un número reducido de participantes, todos gestores—, lo que recomienda cautela en la generalización. Investigaciones futuras pueden ampliar el estudio a múltiples campus y a diferentes perfiles (técnicos, docentes y usuarios), combinando evidencias cualitativas e indicadores cuantitativos, contribuyendo así a decisiones más robustas sobre la sostenibilidad del teletrabajo en el sector público educativo brasileño.

6. Referencias bibliográficas

1. Al Amani, A. (2023). Managing performance in remote work environments. Journal of Public Sector Management, 35(2), 145-160.

2. Bailey, D. E., & Kurland, N. B. (2002). A review of telework research: Findings, new directions, and lessons for the study of modern work. Journal of Organizational Behavior, 23(4), 383-400.

3. Bardin, L. (2016). Análise de conteúdo. Edições 70.

4. Castro, E. R., & Campos, R. F. (2019). Desigualdades digitais e políticas públicas na Amazônia brasileira. Revista Brasileira de Políticas Públicas, 9(3), 45-62.

5. Decreto nº 11.072. Diário Oficial da União, sección 1, Brasil, Brasília, 17 de mayo de 2022. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d11072.htm

6. Dunleavy, P., Margetts, H., Bastow, S., & Tinkler, J. (2006). New public management is dead—Long live digital-era governance. Journal of Public Administration Research and Theory, 16(3), 467-494.

7. Fayolle, A., & Gailly, B. (2015). The impact of entrepreneurship education on entrepreneurial attitudes and intention: Hysteresis and persistence. Journal of Small Business Management, 53(1), 75-93.

8. Filardi, F., Castro, R. M., & Zanini, M. T. F. (2020). Vantagens e desvantagens do teletrabalho na administração pública: Análise das experiências do Serpro e da Receita Federal. Cadernos EBAPE.BR, 18(1), 28-46. https://doi.org/10.1590/1679-395174605

9. Gajendran, R. S., & Harrison, D. A. (2007). The good, the bad, and the unknown about telecommuting: Meta-analysis of psychological mediators and individual consequences. Journal of Applied Psychology, 92(6), 1524-1541.

10. Gil, A. C. (2019). Métodos e técnicas de pesquisa social (7ª ed.). Atlas.

11. Gutierrez, G. (2025). Pará tem a sétima pior internet do Brasil, aponta pesquisa. O Liberal. https://www.oliberal.com/economia/para-tem-a-setima-pior-internet-do-brasil-aponta-pesquisa-1.933793

12. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará. (2020). Portaria nº 514, de 7 de abril de 2020. https://ifpa.edu.br/coronavirus/documentos-covid-19/5093-port-0541-2020-suspensao-das-atividades-academicas-no-ambito-do-ifpa-assinado-1/file

13. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará. (2022). Portaria nº 1.183, de 29 de junho de 2022. https://progep.ifpa.edu.br/arquivos-importantes/programa-de-gestao-ifpa/3765-portaria-n-1183-de-29-de-junho-de-2022/file

14. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará. (2025a). Programa de gestão. https://progep.ifpa.edu.br/programa-de-gestao

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará. (2025b). Portaria nº 0099, de 1º de dezembro de 2025. https://progep.ifpa.edu.br/documentos-progep/programa-de-gestao-ifpa/pgd-2025/4263-portaria-normativa-n-0099-reitoria-ifpa-procedimentos-para-instituicao-do-programa-de-gestao-e-desempenho-pgd-no-ifpa/file

15. Instrução Normativa Conjunta SEGES-SGPRT/MGI nº 24. Diário Oficial da União, sección 1, Brasil, 28 de julio de 2023. https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-conjunta-seges-sgprt-/mgi-n-24-de-28-de-julho-de-2023-499593248

16. Kim, T., Mullins, L. B., & Yoon, T. (2021). Supervision of telework: A key to organizational performance. The American Review of Public Administration, 51(4), 263-277. https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0275074021992058

17. Mergel, I., Edelmann, N., & Hainsch, S. (2019). Digital transformation of the public sector: A research agenda. Government Information Quarterly, 36(4), 1-9.

18. Nilles, J. M. (1997). Telework: Enabling distributed organizations. John Wiley & Sons.

19. OECD. (2020). Productivity gains from teleworking in the post COVID-19 era. OECD Publishing.

20. Ortiz-Lozano, J. M., Cegarra-Navarro, J. G., Martínez-Martínez, A., & García-Pérez, A. (2022). Institutionalization of telework in public organizations: Challenges and opportunities. International Journal of Public Administration, 45(10), 741-755.

21. Rocha, C. T. M. R., & Amador, F. S. (2018). O teletrabalho: Conceituação e questões para análise. Cadernos EBAPE.BR, 16(1), 154-162.

22. Silva, J. P., & Costa, M. L. (2021). Infraestrutura tecnológica e desafios da gestão pública na Amazônia. Revista de Administração Pública e Gestão Social, 13(2), 1-15.

23. Vilarinho, K. P. B., Paschoal, T., & Demo, G. (2021). Teletrabalho na atualidade: Quais são os impactos no desempenho profissional, bem-estar e contexto de trabalho? Revista do Serviço Público, 72(1), 133-162. https://doi.org/10.21874/rsp.v72.i1.4938

24. Yin, R. K. (2005). Estudo de caso: Planejamento e métodos (3ª ed.). Bookman.

7. Notas

1 La Amazonia Legal es una división político-administrativa creada para orientar las políticas de desarrollo sostenible, que abarca alrededor del 59 % del territorio brasileño. Abarca los siguientes estados brasileños: Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima y Tocantins, además de la parte occidental de Maranhão, con límites definidos por ley y un área de actuación bajo la responsabilidad de la Superintendencia de Desarrollo de la Amazonia (SUDAM).

2 Serpro (Servicio Federal de Procesamiento de Datos) es la mayor empresa pública brasileña de tecnología de la información, creada en 1964, vinculada al Ministerio de Hacienda, con la misión de modernizar la administración pública y ampliar el acceso a los servicios gubernamentales. Sitio web: https://www.serpro.gov.br

3 Se refiere a los informes y clasificaciones de velocidad de Internet en Brasil, publicados por la plataforma Minha Conexão en 2025, que presentan el rendimiento medio (descarga, carga, ping) de los proveedores y estados, además de permitir a los usuarios probar su conexión de forma gratuita y comparar planes. Sitio web: https://www.minhaconexao.com.br/ranking

PROMOCIÓN ESTATAL DE LA NARRACIÓN ORAL: OPORTUNIDADES LABORALES PARA ADULTOS MAYORES

STATE PROMOTION OF ORAL STORYTELLING: EMPLOYMENT OPPORTUNITIES IN LATER LIFE

Lucio Cañete Arratía[1]

[1]*Departamento de Tecnolgías Industriales, Facultad Tecnológica, Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile (lucio.cañete@usach.cl)*

https://doi.org/10.17613/ffdvg-5dz32

Resumen

En un contexto marcado por los bajos niveles de las pensiones y la subutilización de la narración oral como actividad remunerada, el capítulo propone que las personas mayores ofrezcan la narración de historias como una forma de arte escénico para complementar sus ingresos. Para activar este mercado potencial se requieren intervenciones estatales específicas. Dado que dichas intervenciones no habían sido identificadas previamente, el propósito del presente estudio fue definirlas y jerarquizarlas utilizando criterios sociales. Para lograr este objetivo se revisó, entre otras disciplinas, la literatura científica sobre economía de las artes y demografía. Posteriormente, esta información se integró con herramientas de inteligencia artificial generativa y el juicio de expertos, estableciendo así una jerarquía de intervenciones. Los resultados indicaron que la estimulación de la demanda de mercado de servicios profesionales de narración oral prestados por personas mayores se puede lograr a través de las siguientes intervenciones estatales: (1) Incentivos sin transferencias, (2) Alianzas público-privadas, (3) Capacitación, (4) Publicidad y (5) Promoción de proyectos culturales. Los componentes tecnológicos de los Incentivos sin transferencias son: Plataforma de visualización, Emparejamiento (matching), Creación de capacidades no subvencionadas y Simulaciones. De estos cuatro componentes, el principal es la Simulación, ya que, al probar los incentivos primero en escenarios controlados, el comportamiento del sistema social se puede examinar en un laboratorio y, antes de su implementación en la realidad, se pueden realizar ajustes para maximizar los efectos positivos y minimizar los negativos. Este estudio busca contribuir a un futuro en el que las personas mayores no estén confinadas a la jubilación, sino que dispongan de oportunidades de trabajo remunerado.

Palabras clave: Ancianidad, Trabajo, Narración Oral, Simulación.

Abstract:

Within a context marked by low pension levels and the underutilization of oral storytelling as a remunerative activity, the chapter proposes that older adults provide storytelling as a form of performing art in order to supplement their income. To activate this potential market, specific state interventions are required. Since those interventions to be undertaken by the Chilean State had not been previously identified, the purpose of the present study was to define and rank them using social criteria. To achieve this objective, the literature on the economics of the arts and demography, among other disciplines, was reviewed. This information was then integrated with generative artificial intelligence tools and expert judgment in order to establish a hierarchy of interventions. The results indicate that stimulating market demand for professional oral storytelling services provided by older adults can be achieved through the following state interventions: (1) Incentives without Transfers, (2) Public–Private Partnerships, (3) Training, (4) Advertising, and (5) Promotion of Cultural Projects. Technological components of Incentives without Transfers are: Visibility Platform, Matching, Non-Subsidized Capacity Building and Simulations. Of these four components, the main one is Simulation, because by testing incentives first in controlled scenarios, the behavior of the social system can be examined in a laboratory and, in advance of implementing them in reality, adjustments can be made to maximize positive effects and minimize negative ones. This study aims to contribute to a future in which older adults are not confined to retirement but are provided with opportunities for paid work.

Keywords: Elderliness, Work, Storytelling, Simulation.

1. Introduction

This chapter is the continuation of a pioneering study addressing one of the most persistent challenges facing Chilean society (Cañete et al., 2025), a problem that has traditionally been curbed through direct state transfers to those affected. Specifically, it concerns the precarious economic situation of older adults who, having exited the labor market, experience a deterioration in their quality of life due to low pensions. This situation is particularly concerning in a demographic context marked by a steadily increasing proportion of older adults and by the limited fiscal capacity of the Chilean State to substantially improve pensions or expand survival-related subsidies.

In response to this scenario, the present study proposes an alternative, market-oriented approach whereby this vulnerable population may receive remuneration by providing oral storytelling services. Oral storytelling, understood as a performing art rooted in cultural transmission and lived experience, offers older adults a legitimate opportunity to generate income beyond traditional welfare mechanisms. However, because this artistic expression remains structurally undervalued as a profit-generating activity, private-sector engagement is unlikely to emerge spontaneously and therefore requires initial stimulation from the State.

At present, the Chilean State lacks a catalog, repertoire, inventory, or comparable system that prioritizes and systematizes public actions aimed at encouraging private agents to remunerate older adults for oral storytelling services. Given that many older individuals retain the sensory, cognitive, and expressive capacities necessary to perform this art, the absence of such a framework represents a missed opportunity for income generation and cultural valorization.

Accordingly, this article assumes that the core problem lies in the state's limited knowledge of which interventions—if properly prioritized—could effectively stimulate private demand for oral storytelling services provided by older adults. The general objective of this study is therefore to identify and hierarchically rank state actions capable of activating such demand.

Figure 1: Not only income scarcity but also loneliness constitutes one of the major problems faced by older adults. A source of income obtained through work that involves social interaction can reduce the vulnerabilities associated with loneliness (Wrotek et al., 2025).



2. Hypothesis and methodology

2.1. Conjectures

This study rests on two core hypotheses. First, that in Chile oral storytelling exhibits substantial potential for integration into market-based economic activities. Second, that older adults hold specific competitive advantages relative to other productive factors, rendering them particularly well suited to supply this professional service.

Figure 2: Older adults would possess competitive advantages in the contest for the oral storytelling market.



If these two conjectures are confirmed, and under the explicit constraint of excluding transfers such as bonuses, subsidies, or other fiscal incentives, the role of the Chilean State would be to act as a catalytic agent, providing the initial coordination and regulatory impulse required to foster the sustainable development of this market.

2.2. Four-Stage Design

In order to define and prioritize State actions in Chile to promote the oral storytelling market, positioning older adults as central providers; a four-stage methodology was designed.

Stage 1. Documentary Review and Benchmarking: A comprehensive review of scientific, academic, and cultural public policy literature is conducted at both national and international levels. This stage includes the analysis of case studies, models of state intervention, and successful experiences in the promotion of orality in countries such as Ireland, Scotland, Canada, Norway, Australia, and the United Kingdom.
Output: A structured set of documented policy instruments, best practices, and conceptual frameworks.

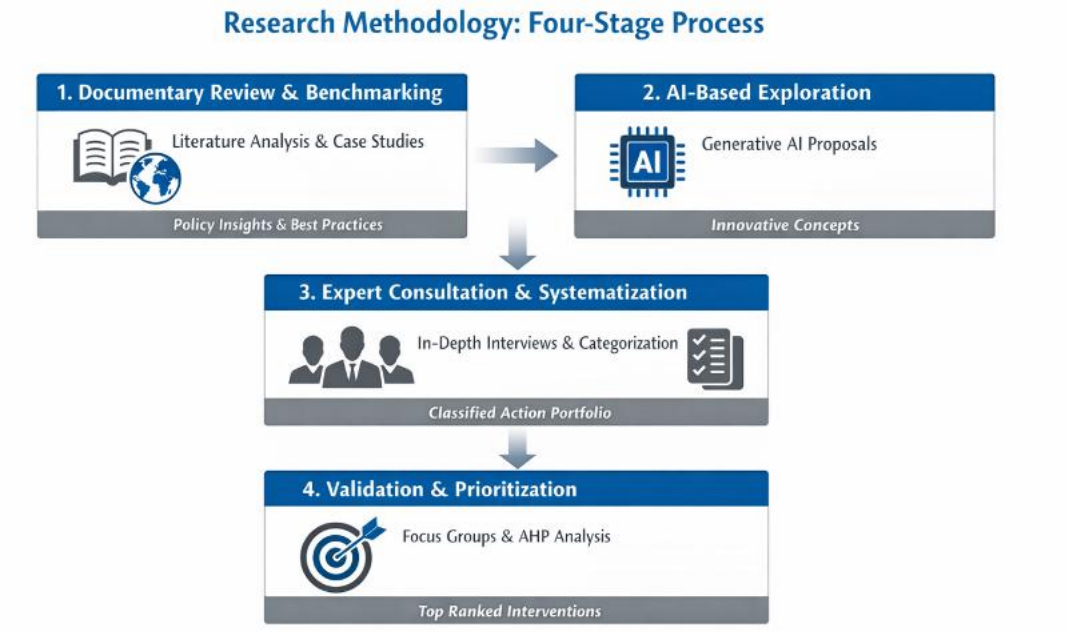
Stage 2. Exploratory Generation through Artificial Intelligence: To address gaps in the existing literature and to expand the range of possible interventions, generative artificial intelligence tools are employed. These tools are queried using targeted prompts designed to generate innovative proposals for state actions aimed at stimulating the cultural market. The results will be discussed iteratively by a focus group composed of an economist, a geriatric physician, and an industrial engineer. Output: a complementary set of feasible and innovative state interventions.

Stage 3. Expert Consultation and Systematization: Five specialists with proven experience in cultural policy, the creative economy, or the art market are consulted through in-depth interviews. The interviews are conducted using open-ended guides, recorded, and subsequently coded for systematization.

The interventions identified from the literature review, AI-generated proposals, and expert interviews are organized into matrices and classified according to the type of incentive: direct, fiscal, training-related, promotional, or institutional. Output: a consolidated and classified portfolio of state interventions.

Stage 4. Validation and Prioritization: The proposed state interventions are validated through focus groups involving a second panel of three experts. When the number of identified actions exceeds two, multicriteria decision-making techniques—specifically the Analytic Hierarchy Process (AHP)—are applied to prioritize and select the ten most relevant interventions based on predefined evaluation criteria.
Output: a ranked set of prioritized state interventions with high expected impact.

Figure 3: Overview of the methodology used in this study. Admittedly, the sample size and the number of feedback iterations were not ideal, but in future work, such a limitation—inherent to a pioneering study—can be overcome.



3. THEORETICAL FRAMEWORK AND DATA SYSTEMATIZATION

3.1. Orality

Oral storytelling, understood as the scenic artistic manifestation of telling stories verbally, using the voice together with bodily expression to convey a narrative to an audience, possesses a form of heritage value that articulates identity, memory, and communication.

Orality is part of the intergenerational transmission of knowledge and emotions, particularly from older adults, who through their life experience construct narratives imbued with authenticity, symbolic authority, and emotional richness. Indeed, various studies show that older adults possess advantages in storytelling that primarily emerge in narratives: (a) emotional depth, as the stories carry the density of having been lived or heard in contexts of family intimacy (Labov & Waletzky, 1967); (b) social credibility, since listeners tend to perceive the older narrator as a privileged witness of time (Ong, 1982); and (c) pedagogical and affective value, given that especially in educational and community contexts, the presence of an older person generates an emotional bond with the audience (McAdams, 1997).

Figure 4: Storytelling is a practice as old as humanity itself, and according to the state of the art, older adults possess certain comparative advantages in this performing art.



With regard to the added value in a "country of poets," Chilean orality contains unique cultural components. It includes narratives from Indigenous peoples, rural tales, urban legends, and the endearing "grandmother's tale" of domestic tradition. This diversity confers an exportable and differentiated potential that is valuable in the tourism, educational, and events markets (Tannen,1998). Moreover, Chilean oral storytelling has begun to engage in dialogue with contemporary forms such as stand-up comedy or testimonial theater, which demonstrates its cultural plasticity (Rizik, 2023). Thus, this research recognizes a broad range of private actors that may potentially hire older storytellers: educational institutions, culturales centers, NGOs, tourism agencies, audiovisual medio, and private companies. These entities could find in oral storytelling a communication tool endowed with

emotional charge, living history, and symbolic value that strengthens their own corporate objectives (DeVereaux & Griffin, 2017) (Throsby, 2012).

However, at present the oral storytelling market in Chile is limited. Among the possible causes of the small size of this sector are the lack of visibility of oral art as a profession, limitations in the technical training of older storytellers, the low willingness of the private sector to pay for this type of cultural service, and the absence of state policies that incentivize their hiring outside the public apparatus (Cañete, 2024).

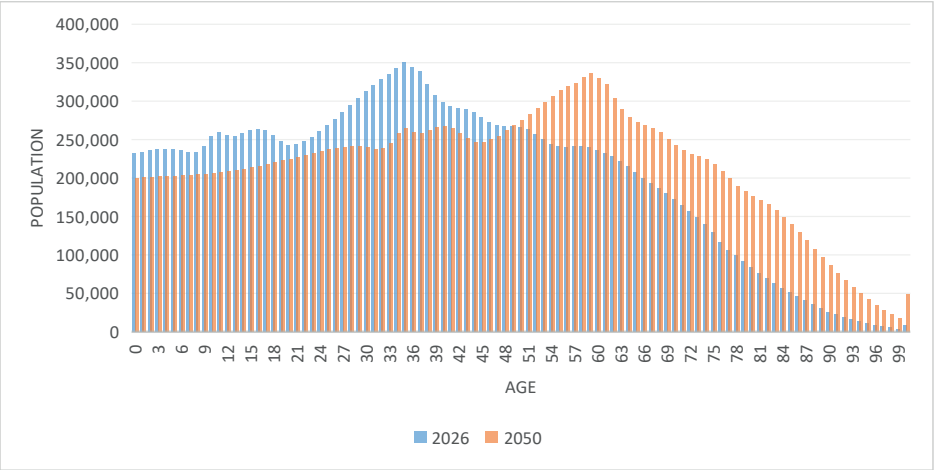
In light of this scenario, it is assumed that the role of the State should not focus exclusively on financing art through direct subsidies, but rather on creating the conditions for the cultural market to become dynamic on its own. For this purpose, the international literature offers multiple examples of how strategically oriented public policies manage to activate private demand for artistic manifestations (Hu, 2022). Among these, the following stand out: valorization campaigns, tax exemptions, professionalization, and the creation of supply–demand linkage platforms (Getzner, 2017).

3.2. Old Age

In the present chapter, an older adult (male or female) is considered, purely for operational reasons, to be a person over 75 years of age. From where is this threshold established? This age cutoff in the research has a scientific basis that approximately places the onset of biological old age at 78 years (Oh et al., 2023). Therefore, in order to conservatively align with statistical five-year age brackets used in readily accessible Chilean data, the immediately lower age segment corresponding to 75 years has been adopted.

Consequently, the population above this age in Chile represents a significant fraction, since in 2018 it corresponded to 8.1% of the inhabitants (Instituto Nacional de Estadísticas, 2025), that is, almost one and a half million people. According to projections for the year 2050, the population over 75 years of age will reach 20.5% (Instituto Nacional de Estadísticas, 2019), that is, slightly under four and a half million people.

Figure 5: Demographic projections for the year 2050 indicate that in Chile, the population aged 75 and over will be twice larger than at present.



By interpolating to the present date, it can be estimated that today the number of individuals whom this article refers to as older adults reaches approximately two million people. Of this total, statistics from the Knowledge and Research Program on Older Adults (CIPEM) (Universidad del Desarrollo, 2025), show that the average Labor Force participation rate is 11%, indicating that the number of older adults with full physical and mental capacities to work is approximately 220,000 people, a figure that will increase in line with medical advances. Moreover, the same CIPEM data show that the educational attainment of this group coincides with the national average, conditions that are sufficient for any older adult within this Labor Force to offer oral storytelling performances.

With respect to the economic situation of this long-lived population in Chile, this chapter will not elaborate further, as the precariousness experienced by this group—mainly due to meager pensions—is well known (Ministerio de Desarrollo Social, 2020). Therefore, an increase in their income through the sale of oral storytelling services is something highly positive for them.

3.3. Market

Considering the unsatisfactory economic situation of the majority of older adults in Chile and, at the same time, their commercial potential as storytellers, a legitimate market question emerges: ¿Can older men and women in Chile earn money by selling the service of oral storytelling as an art form? Yes, it is possible that older adults who receive low pensions in Chile, as well as others in precarious economic situations, can offer oral storytelling services and receive payment for them. In theory, these would be their advantages in competitive scenarios (Barešová et al., 2018) (Miller, 2024) (McColl, 2023).

- **Cultural Value**: The narratives of older adults can be highly valued for their authenticity and connection with local history and culture, a quality that is often absent in younger narrators.
- **Flexibility**: Oral storytelling allows for flexible work arrangements due to the time availability of older adults, an advantage that is uncommon in the employed population.
- **Recognition and Dignity**: Offering oral storytelling can provide older adults with a sense of purpose and dignity, recognizing their contribution to culture and education, which in turn can enhance the prestige of those who hire them.

However, in order to capitalize on this commercial appeal, they will require support in promotion and in the creation of opportunities to connect with interested clients, such as educational institutions, culturales centers, and event agencies (Hansen & Zipsane, 2014). In addition, training in storytelling and presentation techniques may be required, as this can improve their ability to attract and retain clients (Consejo Nacional de las Culturas y las Artes, 2017).

In summary, with adequate support and effective promotion, older adults in Chile can offer oral storytelling as a viable way to generate additional income for themselves.

4. Results

4.1. What are the advantages of older adults as storytellers in a free market such as the Chilean one?

Given that adults over 75 years of age generally experience diminished physical and/or mental capacities compared to their condition during youth and middle adulthood, it is normal that such individuals lose when competing with other productive factors. Indeed, many tasks are performed more efficiently by younger individuals or by automatons, which are therefore preferred by private agents pursuing profit. Given this reality, it is necessary to identify the competitive advantages of older adults in the oral storytelling market.

- **Life Experience**: Older adults have accumulated vast experience and wisdom throughout their lives, which enriches their narratives with authenticity and emotional depth. This experience allows them to offer perspectives and nuances that may be invaluable to listeners (Chow & Fung, 2021).
- **Communication Skills**: Over time, older adults often refine their ability to convey and receive messages, developing a captivating style. Their capacity to capture and maintain audience attention can make storytelling more impactful (De Medeiros & O'Neill, 2022).
- **Cultural and Historical Connection**: Older storytellers have a direct connection to historical events and cultural traditions that may not be present in younger generations. This connection helps preserve and transmit heritage narratives (Freeman et al., 2019).
- **Authority and Credibility**: Age and experience tend to confer an aura of authority and credibility. Audiences are more likely to trust the authenticity of stories told by individuals who have lived through significant events or who possess a long storytelling trajectory (Randall & Kenyon, 2004).

These qualities not only make older adults effective storytellers but also offer a rich cultural and emotional experience that can be highly valuable in a professional oral storytelling context.

4.2. Which private agents in Chile may demand oral storytelling services from older adults?

Excluding the State, which has traditionally facilitated access to art through public competitions such as Cultural Funds (formerly FONDART) and other transfers, the market for oral storytelling becomes quite limited due to the low intensity of demand. However, it is still possible to identify the following private agents as potential buyers of this service:

- Audiovisual Production Companies: Firms dedicated to the production of documentaries, television programs, and digital content may hire storytellers to provide authentic and enriching narratives (Alberdi, 2023).

- Tourism Agencies: Agencies specializing in cultural tourism may seek storytellers to offer unique experiences to tourists through historical and cultural narratives (Alberdi & Žickytė, 2016).
- Publishing Houses and Media Outlets: Publishers of books, magazines, or blogs may hire storytellers to obtain authentic narrative content, interviews, or personal stories (Soto & Vergara, 2022).
- Event Agencies: Companies that organize corporate, cultural, or private events may hire storytellers to animate and enrich their events with stories that add value and depth (Servicio Nacional del Adulto Mayor & Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio, 2017).
- Advertising and Marketing Companies: These firms may hire storytellers to create advertising campaigns that convey captivating and authentic stories, adding a personal and memorable dimension to their messages (Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio, 2020).
- Foundations and NGOs: Foundations and non-governmental organizations may seek storytellers to narrate stories that promote their causes and programs, adding an emotional and persuasive component (Anwandter & Rojas, 2021).
- Private Companies in General: Private actors seeking to compete in product sales through the persuasive artistic abilities of older adults (Biblioteca Nacional Digital de Chile, 2013).

4.3. Why is the oral storytelling market in Chile so small?

Considering all the benefits of oral storytelling in areas such as marketing, education, and mental health, among others, the legitimate question arises as to why this practice has such a limited market. The following are some hypotheses or tentative explanations:

- **Lack of Promotion and Recognition**: Oral storytelling as a profession is not sufficiently promoted or valued, which limits the visibility of older storytellers and their recognition as a valid and attractive option (Centro de Estudios de la Vejez y Envejecimiento, 2019)
- **Low Demand and Specialization**: Demand for specific oral storytelling services may be low, and there is insufficient specialization within this niche market, which limits opportunities for older adults (Consejo Nacional de la Cultura y las Artes & Círculo de Narradores Orales de Chile, 2017).
- **Economic Constraints**: Many private organizations and institutions may be unwilling to pay for oral storytelling services due to budgetary restrictions or competing priorities (Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio, 2023)
- **Lack of Awareness of Cultural Value**: There may be limited awareness of the cultural and educational value that older adults can provide through their narratives, which reduces demand (Universidad de Chile & Círculo de Narradores Orales de Chile, 2023).
- **Insufficient Infrastructure and Training**: The lack of adequate infrastructure and specific training programs may limit older adults' ability to offer oral storytelling services in a professional and effective manner (Universidad de Santiago de Chile, 2024).

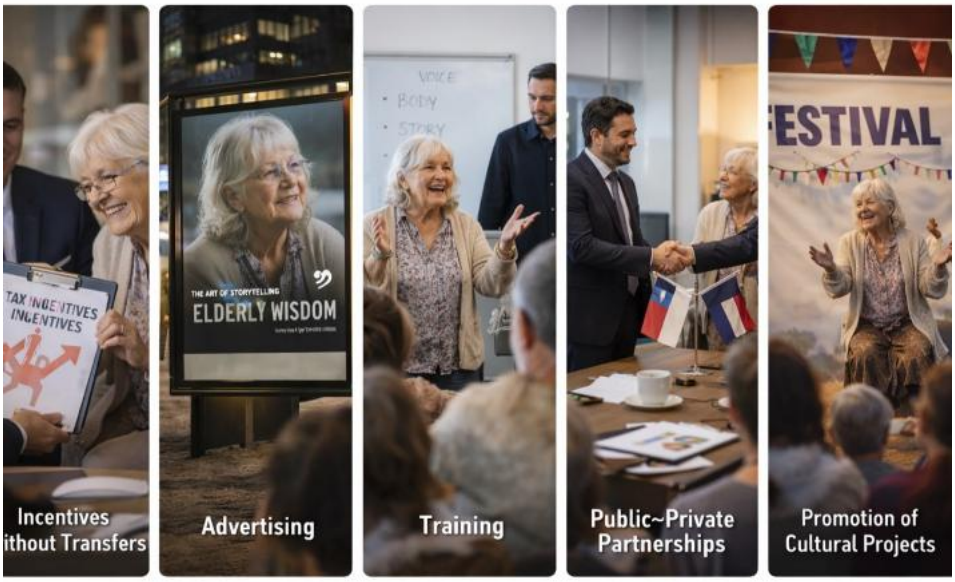
4.4. How could the State incentivize, stimulate, or provoke greater private demand for oral storytelling services provided by older adults?

After integrating and presenting the information generated through the literature review to the experts, they identified five actions through which the Chilean State could incentivize private demand for oral storytelling services provided by older adults. These actions were conceived using the Bobbio Technique (Bobbio, 1987), which requires that the set be exhaustive (no element left out) and exclusive (no element contained within another).

These actions, numbered solely for identification purposes and without implying any preference, are as follows:

> **Incentives without Transfers**: Fiscal incentives for companies and other private actors to hire older oral storytellers. These measures may reduce taxes for potential demanders and thus stimulate hiring.
> **Advertising**: Launch awareness campaigns highlighting the cultural value of oral storytelling performed by older adults, emphasizing authenticity, relevance, and other non-imitable qualities.
> **Training**: Implement training programs for older adults in voice and body management during storytelling, as well as in artistic marketing.
> **Public–Private Partnerships**: Promote permanent and formal partnerships between the public and private sectors for joint projects incorporating oral storytelling, such as cultural events or educational programs.
> **Promotion of Cultural Projects**: Sponsor privately initiated cultural projects that include oral storytelling—such as festivals or exhibitions—to demonstrate the commercial and educational potential of these services.

Figure 6: Actions undertaken by the State of Chile to stimulate the storytelling market, positioning older adults as service providers and private agents as demand-side participants



4.5. Prioritization

Within the set of actions listed above, no implementation priority is identified; therefore, it becomes necessary to establish a hierarchy so that the State may understand its priorities in this regard. To achieve this ordering, it is essential to establish comparison criteria that are easy to quantify and that reflect the net utility generated by each action. In this context, three criteria were defined:

- Effort Required from the Older Adult: This criterion considers the energy and time that an average older adult must sacrifice in order to engage professionally in oral storytelling.
- Fiscal Cost: Although the aim is to avoid direct allocation of state resources, any state action implies some level of resource commitment; therefore, this criterion is relevant.
- Damage to Other Agents: Since the actions constitute market perturbations, they should minimize costs imposed on other economic agents.

As can be observed, all three criteria share the same direction when treated as controllable variables: increases in any of them reduce the attractiveness of the actions. In other words, all act in opposition to the pursuit of social optimality, which homogenizes complexity and facilitates modeling consistency.

Once these three criteria are accepted, they are examined across each alternative through pairwise comparisons, as proposed by the Analytic Hierarchy Process (AHP) (Corvin et al., 2020). This is a structured multicriteria decision-making technique that, in this article, addresses a complex problem by decomposing it into the five alternatives mentioned above and the three criteria. Figure 7 shows that the "winner" action to be implemented by the State of Chile is Incentives without Transfers, which quantitatively surpasses the sum of the other actions.

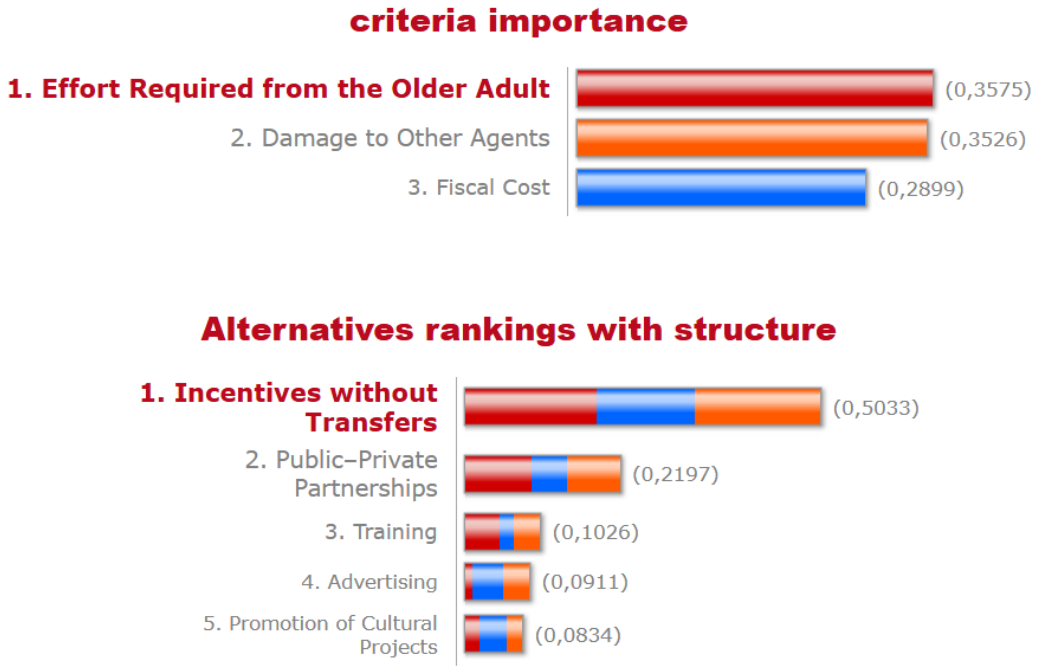
Figure 7: Hierarchy of state interventions to stimulate the oral storytelling market with the elderly as providers (Calculations and graphical representation were generated using the 123AHP decision-support software).



In this case Incentives without Transfers are policy instruments through which the State seeks to influence private behavior by modifying rules, prices, information, or institutional conditions, without providing direct monetary payments or subsidies to economic agents. These incentives typically operate through tax reliefs, regulatory adjustments, preferential access, reputational benefits, or signaling mechanisms, and are designed to alter cost–benefit calculations while preserving market-based allocation. Their main advantages include lower fiscal pressure, reduced risk of dependency or rent-seeking, greater compatibility with competitive markets, and higher political and administrative sustainability. However, their effectiveness may be limited in contexts of extremely weak demand, imperfect information, or high entry barriers, and they often require well-functioning institutions and enforcement mechanisms to avoid capture, inequitable access, or unintended distortions.

On the other hand, Figure 8 shows that the effort required and the harm to other agents are almost equal, with the former slightly exceeding the latter. This demonstrates that expert judgment values the direct effects on people more than the fiscal costs.

Figure 8. Graphical results of the application of the Analytic Hierarchy Process related to importance of criteria (Calculations and graphical representation were generated using the 123AHP decision-support software).



5. Technological components of Incentives without Transfers

The Chilean State, like any economic agent, must take advantage of available technologies (Tuddenham & Laouris, 2025), especially when these have reached a high level of development, particularly in multisensing and wireless devices. In this context, the following artefactual–organizational technologies are proposed to strengthen the Incentives without Transfers.

Visibility Platform: In the Chilean context, signaling technologies constitute a foundational component of incentives without transfers, as cultural markets—particularly those involving intangible services such as oral storytelling—are characterized by high information asymmetries. Public digital registries, national cultural platforms, and open-access catalogs of certified storytellers can significantly reduce search costs for private demanders while increasing visibility for older providers. Economic theory suggests that when the State supplies credible, centralized information, it improves market efficiency by enabling informed decision-making without distorting prices through subsidies. In Chile, where cultural consumption is geographically concentrated and unevenly distributed, such informational infrastructure can also correct spatial market failures by signaling latent supply in peripheral or underserved areas.

Coordination and matching: Coordination technologies facilitate the efficient matching of supply and demand, a function traditionally underprovided in fragmented cultural markets. In Chile, publicly supported digital matchmaking platforms or cultural service exchanges can connect private institutions—such as schools, libraries, tourism operators, and firms—with older storytellers offering professional services. Matching theory indicates that reducing frictions in partner selection increases the probability of mutually beneficial transactions and market thickness. Importantly, these platforms do not alter incentives through financial means; instead, they restructure market architecture, allowing private demand to emerge organically where latent willingness to pay already exists.

Non-subsidized capacity building: Human capital enhancement through non-monetary means constitutes another pillar of incentives without transfers. In Chile, open-access training platforms, digital toolkits, and AI-assisted learning resources can improve the expressive, narrative, and entrepreneurial skills of older adults engaged in oral storytelling. From a productivity-oriented perspective, such technologies increase the quality-adjusted supply of services while preserving fiscal neutrality. Unlike traditional training subsidies, these tools leverage scale effects and low marginal costs, making them particularly suitable for an aging population with heterogeneous learning needs and limited access to formal education markets.

Simulation: Analytical technologies for ex ante evaluation allow the State to prioritize interventions based on expected social and economic impact rather than political discretion. In Chile, multicriteria decision-making tools—such as the Analytic Hierarchy Process or Monte Carlo simulations—enable policymakers to compare alternative incentive mechanisms according to efficiency, equity, fiscal neutrality, and market distortion risks. Welfare economics supports the use of such tools to minimize unintended consequences, including crowding out private initiative. These technologies enhance policy rationality while maintaining the core principle of non-transfer-based intervention.

6. Conclusion

This chapter examines one of the most pressing challenges affecting Chilean society: the economic precariousness of its growing older adult population. Its author has proposed a concrete mechanism to increase the income of older adults at a stage of life when physical and intellectual capacities tend to decline, reducing the competitiveness of this segment of human capital in increasingly demanding labor markets. The proposed solution enables older adults who are interested in practicing oral

storytelling and who retain a minimum level of sensory, motor, and cognitive functioning to offer this performing art as a remunerated service to private-sector actors.

Despite the historical relevance of oral storytelling in the development of societies, Chile currently lacks a consolidated market in which private agents systematically demand this service and older adults participate as suppliers. At an exploratory level, this chapter has generated evidence to support more effective public intervention in the cultural ecosystem, with the objective of preventing oral storytelling from remaining structurally undervalued and facilitating income generation for older adults through market-based mechanisms rather than direct subsidies.

From a quantitative perspective, the study shows that targeted state interventions—when properly prioritized—can produce measurable socioeconomic effects. Using multicriteria decision analysis, five state actions were identified and hierarchically ranked according to their expected efficiency, fiscal cost, and impact on older adults' effort requirements. The resulting prioritization placed non-transfer incentives first, followed by advertising, training, public–private partnerships, and the promotion of cultural projects. This ordering provides a rational basis for public decision-making under conditions of fiscal constraint. Thus, integrating all the information generated, it is concluded that there are six state Interventions without Transfers:

Tax Credits or Deductions for Cultural Services Purchased: A tax credit or deduction scheme allowing firms and individuals to deduct expenditures on oral storytelling services provided by older adults from their taxable income constitutes a highly efficient demand-side incentive without direct fiscal transfers. From a public economics perspective, this mechanism lowers the effective price of the service, thereby increasing quantity demanded while preserving market allocation. Such incentives internalize the positive cultural and social externalities associated with intergenerational knowledge transmission and active aging, without requiring direct public spending. In the Chilean context, this instrument is administratively feasible, as it can be integrated into existing income tax frameworks, and aligns with internationally recognized best practices used to stimulate investment in merit goods such as culture, education, and innovation.

Accelerated Expense Recognition for Cultural Content: Allowing accelerated expense recognition or immediate deductibility of expenditures associated with oral storytelling services delivered by older adults reduces firms' taxable bases and encourages investment in cultural and intangible assets. Economic theory highlights that favorable accounting treatment lowers the user cost of capital for intangible investments, which are typically underprovided due to valuation uncertainty. By recognizing storytelling services as legitimate operational expenses or cultural assets, the State corrects a structural bias against non-material production while avoiding explicit transfers. This measure enhances demand by improving firms' cost-benefit calculations, particularly in sectors where branding, narrative identity, and experiential value are strategic inputs.

Preferential Scoring in Public Procurement Processes: Granting preferential scoring in public procurement processes to firms that contract oral storytelling services from older adults represents an indirect but powerful market incentive. This mechanism leverages the State's purchasing power to reshape private incentives without monetary subsidies, consistent with

the theory of strategic public demand. By embedding cultural inclusion criteria into tender evaluations, firms are encouraged to internalize social value creation as a competitive advantage. In economic terms, this reduces opportunity costs associated with socially beneficial practices and stimulates voluntary demand for older storytellers, while maintaining competitive neutrality and fiscal discipline.

Regulatory Recognition as a Cultural Service of Public Interest: Formal regulatory recognition of oral storytelling by older adults as a cultural service of public interest reduces transaction costs and institutional uncertainty that currently suppress market demand. According to institutional economics, poorly defined categories increase contracting risks and discourage market participation. By establishing a clear legal and regulatory status, the State enhances market legitimacy, facilitates standard contracting, and improves access to complementary services such as insurance, promotion, and accounting recognition. This intervention strengthens demand by improving market transparency and trust, without involving fiscal transfers or price distortions.

Certification and Quality Signaling Systems: The implementation of a light-touch certification system for older oral storytellers addresses asymmetric information problems that inhibit demand in cultural markets. From a microeconomic perspective, uncertainty regarding quality and reliability reduces consumers' willingness to pay and leads to market underdevelopment. Certification acts as a credible signal, increasing expected utility for demanders and allowing higher equilibrium prices. As this mechanism relies on information provision rather than financial support, it constitutes a cost-effective state intervention that enhances allocative efficiency while preserving market autonomy.

ESG-Linked Incentives and Corporate Social Responsibility Recognition: Linking the hiring of older oral storytellers to Environmental, Social, and Governance (ESG) or Corporate Social Responsibility (CSR) reporting frameworks creates reputational incentives that stimulate demand without direct transfers. Economic research on non-price incentives demonstrates that reputational returns can significantly influence firm behavior, particularly among large and export-oriented companies. By recognizing storytelling services provided by older adults as eligible social-impact actions, the State enables firms to convert cultural engagement into symbolic capital and market differentiation. This intervention aligns private incentives with social objectives, reinforcing demand through voluntary corporate behavior rather than fiscal expenditure.

Most of these six interventions can and should be enhanced with technological advances, with simulation being the most important. In fact, Simulation constitutes a powerful analytical tool for the State when designing and testing incentives without transfers whose systemic effects are uncertain. By enabling policy experiments within controlled and replicable environments, simulation allows governments to explore how social, economic, and institutional agents may respond to alternative incentive structures before these are deployed in real-world settings. From a systems perspective, social markets exhibit nonlinear dynamics, feedback loops, and unintended consequences that are often invisible to static analysis. Simulation techniques—such as agent-based models or Monte Car-

lo methods—make it possible to observe emergent behavior, stress-test policy assumptions, and identify thresholds beyond which incentives may become ineffective or distortive. This "policy laboratory" approach reduces the risk of irreversible errors, preserves fiscal neutrality, and allows iterative refinement of interventions, thereby increasing the probability that incentives without transfers will achieve their intended outcomes once implemented in the social domain.

Beyond its substantive findings, this chapter contributes methodologically by applying analytical tools traditionally associated with engineering and decision sciences to a problem commonly framed as socioeconomic. In this regard, Industrial Cybernetics—understood as the discipline concerned with optimizing the transformation of scarce inputs into valued outputs—has provided a coherent framework for modeling state intervention, prioritizing actions, and simulating their impacts. This interdisciplinary approach demonstrates that complex challenges related to aging, cultural markets, and labor inclusion can benefit from quantitative and systems-oriented perspectives.

In the context of a rapidly aging society, the findings underscore the need to rethink retirement not as a definitive withdrawal from productive activity, but as a transition toward alternative forms of remunerated participation that leverage accumulated experience and cultural capital. Creating structured opportunities for older adults to engage in income-generating activities such as oral storytelling represents not only a socially desirable outcome, but also an economically viable and quantitatively defensible policy option.

In an aging society, the future should not be shaped around a population confined to retirement, but rather around the creation of opportunities that enable older adults to engage in remunerated activities.

8. References

1. Alberdi, M. (Director). (2023). *La memoria infinita* [Documentary film]. Micromundo Producciones.

2. Alberdi, M., & Žickytė, G. (Directors). (2016). *Yo no soy de aquí* [Short documentary film]. Micromundo Producciones.

3. Anwandter, L., & Rojas, S. (2021). La representación multimodal del envejecimiento en discurso institucional chileno. *Revista Logos, 31*(2), 119–140. https://doi.org/10.15443/RL3122021

4. Barešová, P., Kolářová, I., & Kianicová, M. (2018). An aging population: A competitive advantage for companies. *Journal of Competitiveness, 10*(4), 5–22. https://publikace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/1007901/Fulltext_1007901.pdf?sequence=1&isAllowed=y

5. Biblioteca Nacional Digital de Chile. (2013, May 27). Presentan libro con relatos de adultos mayores mapuches. *El Austral (Osorno)*, 27. https://www.bibliotecanacionaldigital.gob.cl/bnd/628/w3-article-139201.html

6. Bobbio, N. (1987). *Estado, gobierno y sociedad*. Fondo de Cultura Económica.

7. Cañete, L. (2024, December 20). *El arte no paga*. Cooperativa. https://opinion.cooperativa.cl/opinion/cultura/el-arte-no-paga/2024-12-20/101653.html

8. Cañete, L., San Juan, E., & Adasme, P. (2025). *A source of income for elderly people: Opportunities in oral storytelling* [Conference paper presentation]. IEEE Chilecon 2025, Valparaíso, Chile.

9. Centro de Estudios de la Vejez y Envejecimiento. (2019). *Participación cultural de personas mayores en Chile: Diagnóstico y desafíos*. Pontificia Universidad Católica de Chile. https://vejezypoliticaspublicas.uc.cl/estudios-y-publicaciones/participacion-cultural-de-personas-mayores-en-chile-diagnostico-y-desafios

10. Chow, E. O. W., & Fung, S.-F. (2021). Narrative group intervention to rediscover life wisdom among Hong Kong Chinese older adults: A single-blind randomized waitlist-controlled trial. T*he Journals of Gerontology: Series B, 76*(5), 952–961. https://doi.org/10.1093/geronb/gbaa084

11. Consejo Nacional de las Culturas y las Artes. (2017). *Política nacional de cultura 2017–2022.* Gobierno de Chile.

12. Consejo Nacional de la Cultura y las Artes, & Círculo de Narradores Orales de Chile. (2017, July 21). *Entre mates y cuentos: Encuentro de narración oral en comunas rurales* [Call for proposals]. Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio. https://www.cultura.gob.cl/convocatorias/entre-mates-y-cuentos-encuentro-de-narracion-oral/

13. Corvin, J. A., Chan, I., Aguado Loi, C. X., Dollman, I., & Gonzales, J. (2020). Analytic hierarchy process: An innovative technique for culturally tailoring evidence-based interventions to reduce health disparities. *Health Expectations, 24*(Suppl. 1), 70–81. https://doi.org/10.1111/hex.13022

14. De Medeiros, K., & O'Neill, D. (2022). Narrative as a boundary concept in gerontology: The story behind the stories. *Innovation in Aging, 6*(Suppl. 1), 242. https://doi.org/10.1093/geroni/igac059.959

15. DeVereaux, C., & Griffin, M. (2017). *Narrative, identity, and the map of cultural policy: Once upon a time in a globalized world*. Routledge.

16. Freeman, S., Martin, J., Nash, C., Hausknecht, S., & Skinner, K. (2019). Use of a digital storytelling workshop to foster intergenerational relationships and preserve culture with the Nak'azdli First Nation. *Canadian Journal on Aging, 38*(3), 298–309. https://doi.org/10.1017/S0714980819000251

17. Getzner, M. (2017). The role of governments in conserving and funding cultural institutions. In B. Unger, D. van der Linde, & M. Getzner (Eds.), *Public or private goods?* (pp. 223–252). Edward Elgar Publishing.

18. Hansen, A., & Zipsane, H. (2014). Older people as a developing market for cultural heritage sites. *Journal of Adult and Continuing Education, 20*(1), 137–143. https://doi.org/10.7227/JACE.20.1.10

19. Hu, H. (2022). *The government, the cultural market, and cultural industry planning*. Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1589-5

20. Instituto Nacional de Estadísticas. (2025a). *Demografía y vitales*. https://www.ine.gob.cl/estadisticas/sociales/demografia-y-vitales

21. Instituto Nacional de Estadísticas. (2019, September 16). *Para 2050 se proyecta una población de 21,6 millones de personas en Chile* [Press release]. https://www.ine.gob.cl/sala-de-prensa/prensa/general/noticia/2019/09/16/para-2050-se-proyecta-una-poblaci%C3%B3n-de-21-6-millones-de-personas-en-chile

22. Labov, W., & Waletzky, J. (1967). Narrative analysis: Oral versions of personal experience. In J. Helm (Ed.), *Essays on the verbal and visual arts* (pp. 12–44). University of Washington Press. https://archive.yiddish.nu/items/show/313

23. McAdams, D. P. (1997). *The stories we live by: Personal myths and the making of the self.* Guilford Press.

24. McColl, M. A. (2023, January 10). Storytelling allows elders to transfer values and meaning to younger generations. *The Conversation*. https://theconversation.com/storytelling-allows-elders-to-transfer-values-and-meaning-to-younger-generations-197766

25. Miller, B. (2024, May 15). *The age of experience: How older workers bring value to a changing labor market.* Staffinghub Press. https://staffinghub.com/guest-posts/the-age-of-experience-how-older-workers-bring-value-to-a-changing-labor-market/

26. Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2020, October 1). *Gastos en la vejez: 840 mil adultos mayores declaran que sus ingresos no les permiten satisfacer sus necesidades básicas*. Servicio Nacional del Adulto Mayor (SENAMA), Gobierno de Chile. https://www.senama.gob.cl/noticias/gastos-en-la-vejez-840-mil-adultos-mayores-declaran-que-sus-ingresos-no-les-permiten-satisfacer-sus-necesidades-basicas

27. Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio. (2020). *Rescate de memoria y relatos del adulto mayor* [Audiovisual exhibition]. Chile Cultura. https://chilecultura.gob.cl/cultural-sections/645/

28. Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio. (2023, April 10). *Seremi de las Culturas de La Araucanía invita a residencia artística para narradores orales* [News article]. https://www.cultura.gob.cl/noticias/seremi-de-las-culturas-de-la-araucania-invita-a-residencia-artistica-para-narradores-orales/

29. Oh, H. S. H., Rutledge, J., Nachun, D., Lehallier, B., Wilson, E. N., Losada, P. M., & Wyss-Coray, T. (2023). Organ aging signatures in the plasma proteome track health and disease. *Nature, 624*(7990), 164–172. https://doi.org/10.1038/s41586-023-06802-1

30. Ong, W. J. (1982). *Orality and literacy: The technologizing of the word*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203328064

31. Randall, W. L., & Kenyon, G. M. (2004). Time, story, and wisdom: Emerging themes in narrative gerontology. *Canadian Journal on Aging, 23*(4), 333–346. https://doi.org/10.1353/cja.2005.0027

32. Rizik, J. (2023, November 15). Investigación sobre narración oral en Chile llega a su fin con encuentro colmado de reflexiones, música y cuentos. *Revista Sur*. https://www.revistasur.cl/revistasur.cl/2023/11/investigacion-sobre-narracion-oral-en-chile-llega-a-su-fin-con-encuentro-colmado-de-reflexiones-musica-y-cuentos/

33. Servicio Nacional del Adulto Mayor, & Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio. (2017). T*ejiendo historia: Memorias de adultos mayores*. Gobierno de Chile.

34. Soto, C., & Vergara, C. (Directors). (2022). *La última estación* [Documental film]. Productora Independiente.

35. Tannen, D. (1998). T*he argument culture: Stopping America's war of words*. Random House.

36. Throsby, D. (2012). *The economics of cultural policy*. Cambridge University Press.

37. Tuddenham, P., & Laouris, Y. (2025). Revitalizing democracy through cybernetics and systems science: Principles and applications for effective governance. *Futures, 174*, Article 103693. https://doi.org/10.1016/j.futures.2025.103693

38. Universidad de Chile, & Círculo de Narradores Orales de Chile. (2023). *Taller de narración oral teatral: El arte y oficio de contar historias* [Training program]. https://uchile.cl/actividades/taller-de-narracion-oral-teatral-el-arte-y-oficio-de-contar-historias

9. Universidad de Santiago de Chile. (2024). *Seminario: La palabra hablada como patrimonio inmaterial de Chile* [Event record]. Facultad de Humanidades. https://www.usach.cl/noticias/seminario-la-palabra-hablada-como-patrimonio-inmaterial-de-chile

40. Universidad del Desarrollo. (2025). *Conocimiento e Investigación de Personas Mayores (CIPEM)* [Data portal]. CIPEM. https://cipem.udd.cl/estudios-y-publicaciones/

41. Wrotek, M., Marginean, I., Boni, Z., Hall, K., & Kowalski, P. (2025). From inequalities to vulnerability paradoxes: Juxtaposing older adults' heat mortality risk and heat experiences. *Environmental Health, 24*, Article 24. https://doi.org/10.1186/s12940-025-01179-2

TECNOLOGÍAS EMERGENTES, TRABAJOS FUTUROS Y EL ROL DE LA NORMATIVA JURÍDICA

EMERGING TECHNOLOGIES, FUTURE JOBS, AND THE ROLE OF LEGAL REGULATIONS

David Orellana[1], **Lisbeth Simón Ortiz**[2]

[1]*Facultad de Economía, Universidad Católica Silva Henríquez, Santiago, Chile (dorellanad@ucsh.cl)*

[1]*Facultad Tecnológica, Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile (lisbeth.simon@usach.cl)*

https://doi.org/10.17613/ehdzk-78528

Resumen

La rápida incorporación de nuevas tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial, automatización y robotización y, las plataformas digitales, están convirtiendo a velocidad asombrosa las formas tradicionales del trabajo, generando, entre otros, tensiones significativas en los marcos normativos vigentes. Este capítulo analiza la relación entre tecnologías emergentes, trabajos futuros y el rol de la normativa jurídica, desde una perspectiva jurídico-analítica y comparada. A través de un enfoque cualitativo, se examinan, entre otros, los principales desafíos regulatorios que enfrenta el derecho del trabajo ante nuevas modalidades laborales impulsadas por la tecnología y caracterizadas por la gestión algorítmica, la deslocalización y la fragmentación del vínculo laboral. Los resultados evidencian una asimetría estructural entre la velocidad del desarrollo tecnológico y la capacidad de respuesta de los sistemas jurídicos, así como la creciente centralidad de los derechos fundamentales como eje articulador de una regulación legítima del trabajo futuro. El estudio concluye que la normativa jurídica, lejos de constituir un obstáculo para la innovación, cumple un rol estratégico en la gobernanza del trabajo tecnológico, contribuyendo a la protección de la dignidad humana y a la sostenibilidad social del desarrollo económico.

Palabras clave: tecnologías emergentes; trabajo futuro; inteligencia artificial; derecho laboral.

Abstract:

The accelerated adoption of emerging technologies, as artificial intelligence, advanced automation, and digital platforms, is profoundly transforming traditional forms of work, generating significant tensions within existing legal frameworks. This chapter critically examines the relationship between emerging technologies, future work, and the role of legal regulation from a legal-analytical and comparative perspective. Using a qualitative approach, it analyzes the main regulatory challenges faced by labor law in addressing new work modalities characterized by algorithmic management, delocalization, and the fragmentation of employment relationships. The findings reveal a structural asymmetry between the pace of technological development and the regulatory capacity of legal systems, as well as the increasing centrality of fundamental rights as a normative axis for the legitimate regulation of future work. The study concludes that legal regulation, rather than hindering innovation, plays a strategic role in the governance of technological work, contributing to the protection of human dignity and the social sustainability of economic development.

Keywords: emerging technologies; future of work; artificial intelligence; labor law.

1. Introducción

1.1. Contexto global de la transformación tecnológica

Durante las últimas décadas, el desarrollo acelerado de las tecnologías digitales ha generado transformaciones profundas en los sistemas productivos, los modelos organizacionales y las relaciones sociales. Tecnologías como la inteligencia artificial, la automatización avanzada, la robótica, el análisis masivo de datos y las plataformas digitales han dejado de ser fenómenos emergentes aislados para convertirse en componentes estructurales de la economía contemporánea. Este proceso se representa como una nueva etapa de cambio sistémico, caracterizada por la convergencia entre lo digital, lo físico y lo biológico, con efectos transversales en prácticamente todos los sectores de actividad.

Estas transformaciones no solo afectan la forma en que se producen bienes y servicios, sino que inciden directamente en la organización del trabajo, en la demanda de competencias laborales y en la estructura misma del empleo. En este contexto, el análisis de las tecnologías emergentes es la base del estudio de los que llamaremos trabajos futuros, siendo éstos los que incorporen las nuevas modalidades, funciones, relaciones laborales y competencias que se proyecten en el mediano y largo plazo.

1.2. Los nuevos modelos de trabajo afectan y modifican la organización productiva

El avance tecnológico ha impulsado una especie de adaptación de formas de trabajo que ponen en entredicho las categorías tradicionales del derecho laboral y el efecto sobre la economía. El teletrabajo, el trabajo en plataformas digitales, la economía colaborativa y los modelos híbridos de empleo constituyen una expresión de flexibilización y adaptación de las relaciones laborales. Las transformaciones han generado oportunidades relevantes en términos de productividad, innovación y acceso al empleo para las organizaciones proactivas, pero también han aflorado importantes riesgos asociados a la precarización, desprotección social y asimetría de poder entre trabajadores y empleadores, sugiriendo nuevas formas de interrelación entre ellos.

Asimismo, la automatización de tareas rutinarias y la incorporación de sistemas algorítmicos en procesos de toma de decisiones han modificado sustancialmente los perfiles ocupacionales requeridos por el mercado, desplazando ciertos empleos tradicionales y creando nuevas demandas de habilidades técnicas, digitales y cognitivas. Este escenario plantea interrogantes fundamentales sobre la capacidad de los marcos normativos existentes para garantizar condiciones de trabajo justas, seguras y compatibles con los derechos fundamentales de las personas.

1.3. Problema de investigación: incompatibilidad entre innovación tecnológica y regulación jurídica

Uno de los principales desafíos que emergen de este proceso de transformación es el creciente desajuste entre la velocidad del cambio tecnológico y la capacidad de respuesta de los sistemas jurídicos.

Mientras la innovación avanza de manera exponencial, la producción normativa suele responder a ritmos más lentos, lo que genera vacíos regulatorios, zonas de incertidumbre jurídica y, en algunos casos, conflictos interpretativos relevantes.

Este fenómeno se manifiesta de forma particularmente intensa en el ámbito del trabajo, donde conceptos jurídicos tradicionales —como subordinación, dependencia, jornada laboral o empleador— se ven tensionados por nuevas realidades productivas que no encajan plenamente en las categorías existentes. En consecuencia, surge la necesidad de analizar críticamente el rol de la normativa jurídica frente a los trabajos futuros, no solo desde una perspectiva reactiva, sino también como instrumento de gobernanza capaz de orientar el desarrollo tecnológico hacia fines socialmente deseables.

A partir de lo expuesto, resulta evidente que la relación entre tecnologías emergentes y trabajos futuros no puede ser comprendida únicamente desde una lógica técnico-productiva ni desde una aproximación economicista centrada en la eficiencia. Por el contrario, se trata de un fenómeno complejo que interpela directamente a los sistemas normativos, en tanto estos definen las condiciones bajo las cuales se distribuyen los riesgos, beneficios y responsabilidades derivados de la transformación tecnológica del trabajo.

La hipótesis central que orienta este capítulo sostiene que la normativa jurídica no actúa de manera neutral frente a las tecnologías emergentes, sino que cumple un rol configurador en la forma que adoptan los trabajos futuros, influyendo tanto en la protección de derechos fundamentales como en los incentivos a la innovación y al desarrollo económico. En este sentido, la ausencia, insuficiencia o desactualización de los marcos normativos no solo genera vacíos de protección, sino que contribuye activamente a la consolidación de modelos laborales precarizados y asimétricos.

El objetivo de este capítulo es analizar críticamente el impacto de las tecnologías emergentes en la configuración de los trabajos futuros, examinando el papel que desempeña la normativa jurídica en este proceso, a partir de un enfoque interdisciplinario que integra aportes del derecho, la economía del trabajo y los estudios sobre innovación tecnológica. Asimismo, se busca identificar los principales desafíos regulatorios que enfrentan los ordenamientos jurídicos contemporáneos y aportar elementos conceptuales que permitan orientar respuestas normativas coherentes con los principios del Estado de Derecho y el trabajo decente.

Con este propósito, el capítulo se estructura en cuatro partes. En primer lugar, se presentan los antecedentes teóricos y empíricos que sustentan el análisis. En segundo término, se describe la metodología utilizada. En tercer lugar, se exponen los principales resultados del estudio. Finalmente, se desarrollan las conclusiones, destacando las implicancias jurídicas y regulatorias del fenómeno analizado.

2. Desarrollo

2. 1. Antecedentes teóricos y empíricos

2.1.1. Tecnologías emergentes y cambio en los sistemas productivos

La literatura especializada coincide en que las tecnologías emergentes están produciendo una reconfiguración profunda de los sistemas productivos, caracterizada por la digitalización intensiva de

procesos, la automatización cognitiva y la creciente integración entre sistemas humanos y algorítmicos (Schwab, 2016; Brynjolfsson & McAfee, 2014). A diferencia de procesos tecnológicos previos, estas transformaciones no se limitan a sustituir tareas manuales rutinarias, sino que avanzan sobre actividades tradicionalmente consideradas no automatizables, como la toma de decisiones, el análisis predictivo y la gestión organizacional.

Desde una perspectiva económica, Acemoglu y Restrepo (2020) advierten que el impacto de la automatización depende en gran medida de las decisiones institucionales que acompañan su implementación. En particular, distinguen entre tecnologías orientadas a la sustitución del trabajo humano y aquellas que lo complementan, subrayando que esta elección no es puramente técnica, sino que responde a incentivos normativos, regulatorios y de mercado.

Este enfoque resulta especialmente relevante para el análisis jurídico, en la medida en que pone de manifiesto que el diseño institucional y normativo influye directamente en la trayectoria tecnológica adoptada por las empresas y organizaciones. Así, regulaciones laborales flexibles, marcos débiles de protección social o ausencia de límites al uso de tecnologías de control pueden favorecer modelos productivos basados en la intensificación del trabajo y la externalización del riesgo hacia los trabajadores (De Stefano, 2016).

Todas estas posturas de los autores señalados son relativas también, ya que dependen de la orientación que cada uno asuma respecto de la relación trabajo/tecnología. Pero, reconocemos algo innegable, la incorporación tecnológica está modificando la sociedad y, en lo relativo al trabajo, no solo ajustan drásticamente los componentes de los cargos para la reconfiguración inmediata del trabajador, sino, que debería afectar la formación de los nuevos potenciales trabajadores. Ahí podemos reconocer una gigante brecha que demuestra la falencia de adaptación de los centros de estudios (universitarios y otros) a los nuevos y futuros requisitos en la formación de los estudiantes en Latinoamérica.

Se genera ahora una nueva interrelación entre los conceptos que no calzan con los tradicionales métodos de pensamiento y análisis vertical y horizontal. La interrelación de las nuevas formas de trabajo impulsadas por la revolución tecnológica que afectan e inciden directa y medularmente en el sistema educacional; en las nuevas formas y procedimientos de trabajo; en la adaptación de del sistema productivo a la tecnológica (actual y proyectada) y, cuyo resultado modela la economía de los países y regional.

Elementos que destacan como relevantes para investigar, utilizando la relación conceptual indicada en el párrafo anterior, son los constructos automatización y robotización. Se trata de conceptos diferentes pero relacionados y conectados, siendo la automatización el género y la robótica la especie (no es parte de esta investigación y solo como una breve reflexión). La automatización es un concepto amplio que implica utilizar tecnologías para realizar tareas de forma automática, sin intervención humana directa, puede incluir robots y contiene otro tipo de sistemas automáticos, desde simples temporizadores hasta complejos sistemas de control industrial. La robótica, por su parte, es un campo científico interdisciplinario que combina distintas ingenierías, ciencia de la computación y otras disciplinas para diseñar, construir, programar y operar robots (Robotnik, 2024). Es así, que la automatización y la robótica continuarán reformulando de forma insospechada las industrias al contribuir, entre otros, con mayor precisión, eficacia, seguridad y mayor producción a diversos procesos industriales. Estas tecnologías no sólo están transformando las industrias existentes, sino que

también abren camino para que surjan nuevos sectores industriales y, lo más importante, imponen un gran desafío al sector educacional para que modifiquen su rol desde la formación basada requerimientos reactivos a procesos proactivos. La interacción entre robótica y automatización seguirá creciendo exponencialmente y, por ello, se requiere seguir promoviendo innovaciones y mejoras en todas las industrias tanto de producción como de servicios, para lograr una excelente adaptación que beneficie a la sociedad.

2.1.2. Nuevas formas de trabajo y crisis de las categorías jurídicas tradicionales

Uno de los mayores efectos de la incorporación de tecnologías digitales en el terreno laboral es el aumento de nuevas formas de trabajo que desafían el ámbito jurídico laboral actual. El trabajo en plataformas digitales, el teletrabajo con la ventaja de estar en cualquier parte del mundo, el crowdwork y el trabajo bajo demanda constituyen los cambios fundamentales que generan una relevante fragmentación del vínculo laboral y la dilución de la figura del empleador clásico (Susskind, 2020). La doctrina representa que estas modalidades ponen en crisis conceptos esenciales del derecho del trabajo, como la subordinación jurídica, la ajenidad y la dependencia económica, que históricamente han operado como criterios de delimitación del ámbito de protección laboral (Baylos & Pérez Rey, 2018). Analizando con mayor profundidad, la intermediación algorítmica sustituye al empleador humano, dificultando la identificación de responsabilidades y debilitando los mecanismos tradicionales de tutela jurídica.

Desde el punto de vista empírico, investigaciones de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) confirman que los trabajadores de plataformas presentan mayores niveles de inseguridad económica, ausencia de protección social y limitadas posibilidades de acción colectiva, incluso en países con sistemas laborales formalmente robustos (ILO, 2021). Esto fortalece la idea que, el problema no es simplemente tecnológico, sino normativo e institucional.

2.1.3. Derecho, regulación y tecnología: la triple hélice de un enfoque teórico moderno.

El análisis de la relación entre tecnologías emergentes y trabajo, ha impulsado revisiones críticas de los modelos tradicionales de regulación jurídica. La doctrina actual coincide en que los marcos normativos clásicos, diseñados para contextos productivos estables y relaciones laborales bilaterales, presentan serias limitaciones para enfrentar escenarios caracterizados por la innovación acelerada, la incertidumbre tecnológica y la intermediación algorítmica (Teubner, 2012; Brownsword, 2019).

Dado lo anterior, han emergido diversos enfoques teóricos que buscan reorganizar y ajustar el rol del derecho frente al cambio tecnológico. Uno de los más influyentes es el derecho responsivo. Este señala que la regulación no es un sistema cerrado de normas rígidas, sino como un conjunto dinámico de instrumentos capaces de adaptarse a contextos sociales y tecnológicos cambiantes (Nonet & Selznick, 1978). Desde esta perspectiva, el derecho debe responder proactivamente a los impactos sociales de

la innovación, incorporación tecnológica y nuevas formas de producción, incorporando mecanismos de retroalimentación, evaluación continua con participación de todos los actores involucrados.

Además, los diferentes documentos sobre regulación adaptativa plantean que, frente a tecnologías emergentes cuyos efectos no pueden ser plenamente anticipados, resulta necesario adoptar marcos normativos flexibles, basados en principios generales, estándares abiertos y procesos iterativos de ajuste normativo (Gunningham, Grabosky & Sinclair, 2017). Este enfoque ha sido especialmente relevante para entender y generar una adaptación a la inteligencia artificial, el uso de datos masivos, la automatización y robotización en el ambiente productivo que afectan a la forma de realizar el trabajo, donde la velocidad del cambio supera la capacidad de respuesta de la legislación tradicional. Desde el derecho comparado, se ha observado una creciente utilización de instrumentos de soft law[nota del autor: soft law, son reglas de conducta que en principio no tienen fuerza jurídica vinculante, aunque produzcan efectos prácticos.], tales como códigos de conducta, directrices éticas y estándares técnicos, como mecanismos complementarios a la regulación estatal. Pero estos instrumentos carecen de fuerza jurídica vinculante y cumplen una función relevante en la orientación de conductas empresariales y en la construcción de expectativas normativas compartidas (Abbott & Snidal, 2000). Sin embargo, ciertos autores advierten que el uso exclusivo de soft law puede derivar en déficits de protección, especialmente en contextos de asimetría de poder entre empresas tecnológicas y trabajadores (De Stefano & Aloisi, 2019).

2.1.4. Gobernanza algorítmica y poder normativo de la tecnología

En la actual discusión teórica se comienza a aceptar que las tecnologías emergentes y, en particular los sistemas algorítmicos, ejercen una función regulatoria de facto, configurando comportamientos, decisiones y relaciones sociales sin mediación directa de normas jurídicas formales (Lessig, 1999). Esto se comienza a reconocer como gobernanza algorítmica, entendida como el conjunto de reglas, parámetros y modelos computacionales que estructuran la acción humana en entornos digitales.

Específicamente el ámbito laboral, la gobernanza algorítmica se reconoce en sistemas de asignación de tareas, evaluación de desempeño, fijación de remuneraciones y control de gestión automatizado. La eficiencia operativa aumenta con estos mecanismos, pero producen relevantes desafíos en términos de transparencia, rendición de cuentas y protección de derechos fundamentales, como la igualdad, la privacidad y el debido proceso (Pasquale, 2015).

La doctrina comienza a señalar que la ausencia de regulación específica sobre el uso de algoritmos en el trabajo genera un desplazamiento del poder normativo desde el Estado hacia actores privados, principalmente empresas tecnológicas y plataformas digitales, que definen unilateralmente las reglas del juego laboral (Zuboff, 2019). Aquí, la tecnología ejecuta decisiones y, además, incorpora valores, prioridades y sesgos que impactan directamente en las condiciones de trabajo.

Desde una perspectiva jurídica, este fenómeno exige repensar las herramientas tradicionales de control normativo, incorporando exigencias de aclaración algorítmica, auditorías técnicas y mecanismos de supervisión pública que permitan restablecer el equilibrio entre innovación, tecnología, gestión productiva y protección de derechos (European Commission, 2021).

2.2. Metodología utilizada

2.2.1. Enfoque metodológico

El capítulo adopta un enfoque cualitativo, de carácter jurídico–dogmático y analítico, complementado con elementos de análisis comparado y revisión documental interdisciplinaria. Esta elección metodológica se justifica por la naturaleza del objeto de estudio para lograr explorar críticamente ciertos marcos normativos, doctrinarios y regulatorios que inciden en la configuración del trabajo futuro. Es así que no busca medir empíricamente impactos cuantificables de las tecnologías emergentes.

El método dogmático, desde el aspecto jurídico, permite identificar, sistematizar e interpretar normas, principios y criterios legales y algunas jurisprudencias importantes a nivel nacional como internacional, vinculadas a la regulación del trabajo, la protección de derechos fundamentales y la gobernanza de tecnologías emergentes (Alexy, 2002; Atienza, 2013). De esta forma, es adecuado analizar tensiones normativas generadas por la introducción de sistemas algorítmicos, automatización avanzada e inteligencia artificial en contextos laborales.

2.2.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es no experimental y de tipo exploratorio–descriptivo, ya que se propone identificar (si es posible) patrones, tendencias y desafíos regulatorios emergentes.
La investigación se estructura en tres niveles de análisis:

1. 1.Nivel normativo, orientado a examinar instrumentos jurídicos vigentes y en desarrollo, tales como legislación laboral, normativa sobre protección de datos, derechos fundamentales, directrices internacionales y propuestas regulatorias sobre inteligencia artificial y plataformas digitales.

2. Nivel doctrinario, centrado en la revisión crítica de literatura académica relevante en derecho, sociología del trabajo, economía digital y estudios sobre tecnología y regulación.

3. Nivel comparado, que considera experiencias regulatorias seleccionadas de la Unión Europea, la Organización Internacional del Trabajo y otros ordenamientos que han avanzado en la regulación de tecnologías emergentes aplicadas al trabajo.

Este diseño permite expresar un análisis integral, evitando una aproximación puramente normativa o excesivamente tecnocrática del fenómeno.

2.2.3. Técnicas de recolección y análisis de información

La principal técnica de recolección de información utilizada es la revisión documental sistemática, que comprende:

- Normas constitucionales, legales y reglamentarias.
- Tratados internacionales sobre derechos humanos y trabajo.
- Informes de organismos internacionales (OIT, OCDE, Unión Europea).
- Artículos científicos y libros académicos indexados.
- Documentos de política pública y propuestas regulatorias recientes.

El análisis de la información se realiza mediante interpretación jurídica sistemática y teleológica para identificar el sentido, alcance y finalidad de las normas examinadas, así como sus eventuales vacíos, contradicciones o insuficiencias frente a los desafíos tecnológicos contemporáneos (Savigny, 1840/2011; Guastini, 2014).

Asimismo, se emplea un análisis crítico–argumentativo, orientado a contrastar distintas posiciones doctrinarias y regulatorias, evaluando como afectan la protección del trabajo, la igualdad, la dignidad humana y la seguridad jurídica en contextos de innovación tecnológica.

2.2.4. Criterios de selección de fuentes

Las fuentes utilizadas en esta investigación fueron seleccionadas conforme a criterios de relevancia académica, actualidad y pertinencia temática, se priorizaron:

- Publicaciones científicas revisadas por pares.
- Normativa y documentos oficiales emitidos por organismos reconocidos.
- Literatura que aborde explícitamente la relación entre tecnología, trabajo y regulación jurídica.

2.2.5. Limitaciones metodológicas

Como toda investigación de carácter jurídico–analítico, este estudio presenta limitaciones.

Primero, la rápida evolución de las tecnologías emergentes implica que algunos desarrollos normativos analizados se encuentran en fase de propuesta o implementación inicial, lo que limita la posibilidad de evaluar sus efectos prácticos de largo plazo.

Segundo, el enfoque comparado se restringe a experiencias seleccionadas, sin pretender un análisis exhaustivo de todos los ordenamientos existentes.

No obstante, estas limitaciones no afectan el objetivo central del capítulo, que es contribuir a la reflexión crítica sobre el rol de la normativa jurídica frente a los trabajos del futuro, identificando desafíos estructurales y criterios orientadores para una regulación más efectiva y legítima.

3. Principales Resultados

3.1. Asimetría entre desarrollo tecnológico y capacidad regulatoria

Uno de los principales resultados de esta investigación es la constatación de una asimetría estructural entre la velocidad de desarrollo de las tecnologías emergentes —particularmente la inteligencia artificial, la automatización avanzada y las plataformas digitales— con la capacidad de los sistemas jurídicos para regular sus efectos sobre el trabajo. Los procesos tecnológicos se caracterizan por su dinamismo, adaptabilidad y rápida obsolescencia, por otro lado, los marcos normativos laborales continúan respondiendo de forma reactiva a lógicas propias del trabajo clásico, basadas en relaciones de subordinación estables y espacialmente localizadas.

Este desfase normativo genera espacios de incertidumbre jurídica en materias como la calificación de la relación laboral, la asignación de responsabilidades en decisiones algorítmicas y la protección efectiva de derechos fundamentales de las personas trabajadoras en entornos digitalizados.

3.2. Emergencia de nuevas formas de trabajo insuficientemente protegidas

El análisis evidencia que las tecnologías emergentes no solo transforman o anulan tareas existentes, sino que configuran nuevas modalidades de trabajo que tensionan las categorías jurídicas tradicionales. El trabajo mediado por plataformas digitales, la gestión algorítmica del desempeño, el teletrabajo transnacional y la colaboración entre humano y máquina, presentan desafíos significativos para los sistemas de protección laboral.

Un resultado relevante se produce en las nuevas formas de trabajo tiendientes a ubicarse en espacios normativos híbridos, donde confluyen elementos del derecho laboral, civil, comercial y de protección de datos, sin que exista una regulación integrada que permita abordar de manera coherente los riesgos asociados e integrados. Pero también se observan déficits de protección en ámbitos como la estabilidad laboral, la seguridad social, la negociación colectiva y la tutela de la dignidad y autonomía del trabajador.

3.3. Centralidad creciente de los derechos fundamentales en el trabajo futuro

Otro resultado principal es la revalorización del enfoque de derechos fundamentales como eje estructurante de la regulación del trabajo en contextos tecnológicos avanzados. Frente a la insuficiencia de categorías contractuales clásicas, los derechos fundamentales —como la dignidad humana, la igualdad y no discriminación, la privacidad, la protección de datos personales y la libertad sindical— se presentan como criterios normativos transversales capaces de otorgar coherencia y legitimidad a la intervención jurídica.

Este breve análisis muestra que la regulación de tecnologías como la inteligencia artificial aplicada al trabajo y a la gestión empresarial y de organizaciones, requiere incorporar estándares de transparencia, información, explicaciones y control humano significativo, con el fin de evitar decisiones automatizadas deshumanizadas que afecten negativamente los derechos laborales esenciales.

3.4. Tendencia hacia modelos regulatorios preventivos y adaptativos

Otro hallazgo específico, es la identificación de una tendencia incipiente hacia modelos regulatorios preventivos y adaptativos, especialmente en experiencias comparadas. En contraste con los enfoques reactivos tradicionales, estos modelos buscan anticipar riesgos asociados a la adopción tecnológica mediante instrumentos como evaluaciones de impacto algorítmico, principios de diseño ético y marcos de gobernanza colaborativa entre Estado, empresas y trabajadores.

Este resultado sugiere un cambio progresivo desde una regulación exclusivamente sancionatoria hacia esquemas que combinan prevención, corresponsabilidad y flexibilidad normativa, sin renunciar a la protección de los derechos laborales fundamentales.

3.5. Rol estratégico del derecho en la gobernanza del trabajo tecnológico

Esta investigación permite concluir que el derecho no debería ocupar un rol meramente reactivo frente a las tecnologías emergentes, sino que debe desempeñar un rol estratégico en la configuración de los trabajos futuros. La normativa jurídica, cuando se diseña de manera informada, interdisciplinaria y orientada a derechos y obligaciones, contribuirá velozmente a encauzar la innovación tecnológica hacia modelos de desarrollo inclusivos y socialmente sostenibles.

Esto último, refuerza la idea sobre la regulación jurídica que no constituye un obstáculo para la innovación, sino un factor habilitante de legitimidad y confianza social, especialmente en contextos de transformación profunda del trabajo.

4. Conclusiones

El análisis desarrollado a lo largo de este capítulo permite afirmar que:

- Las tecnologías emergentes están produciendo una transformación estructural del trabajo que desafía de manera directa los marcos normativos tradicionales.
- La aceleración de procesos de automatización y robotización, el uso extensivo de inteligencia artificial en la gestión laboral y la expansión del trabajo por plataformas digitales han mostrado una brecha significativa entre las formas actuales de organización del trabajo y los instrumentos jurídicos ya diseñados para regularlas.

Uno de los aportes de esta investigación consiste en manifestar que las dichas brechas no son meramente técnicas o coyunturales, sino estructurales y normativas. Los ordenamientos jurídicos, particularmente en materia laboral, continúan anclados en categorías concebidas para un modelo de trabajo estable, presencial y jerárquicamente definido, lo que resulta insuficiente para abordar fenómenos como la gestión algorítmica, la fragmentación del vínculo laboral y la deslocalización digital del trabajo.

De igual forma, el estudio confirma que las tecnologías emergentes no solo generan riesgos, sino también oportunidades para redefinir el trabajo en términos de eficiencia, flexibilidad y creación de valor. Pero, y esto es lo delicado, estas oportunidades solo pueden materializarse de forma estable y sostenible si están acompañadas de marcos normativos capaces de proteger realmente los derechos fundamentales de los trabajadores y así evitar nuevas formas de precarización y desigualdad.

Es así que este capítulo pone de relieve la centralidad creciente de los derechos fundamentales como eje articulador de la regulación del trabajo futuro. La dignidad humana, la igualdad y no discriminación, la protección de la vida privada y de los datos personales, así como el derecho a condiciones de trabajo justas, emergen como criterios normativos transversales que permiten dotar de coherencia y legitimidad a la intervención jurídica frente a la innovación tecnológica aplicada. La regulación del trabajo dado por la tecnología no puede reducirse a ajustes contractuales, sino que exige una aproximación basada en principios y garantías sustantivas.

Otro resultado relevante es la identificación de una conversión naciente hacia modelos regulatorios más preventivos y adaptativos, principalmente en experiencias comparadas. Instrumentos como evaluaciones de impacto, principios de diseño ético y mecanismos de gobernanza colaborativa, evidencian un cambio de paradigma donde el derecho deja de actuar de forma reactiva para ocupar un rol activo en la orientación del desarrollo tecnológico aplicado a la gestión productiva de las organizaciones y su impacto en el trabajo. Esto es crucial en el escenario donde las decisiones automatizadas pueden afectar de forma significativa derechos laborales y trayectorias profesionales.

Desde luego, como indicación final, el derecho no debe concebirse como un obstáculo para la innovación, sino como un elemento estructurante de confianza social y legitimidad democrática. Una normativa jurídica informada, interdisciplinaria y orientada a derechos y obligaciones puede contribuir decisivamente a dirigir o redirigir las tecnologías emergentes hacia modelos de trabajo que promuevan el desarrollo económico, la inclusión social y el respeto irrestricto de la dignidad humana. Finalmente indicar, que una de las líneas futuras de investigación, puede ser profundizar en el estudio empírico de la aplicación de marcos regulatorios emergentes, así como en el análisis de mecanismos institucionales que permitan una mayor participación de trabajadores y sociedad civil en la gobernanza de tecnologías aplicadas al trabajo. Así, se abre una posibilidad para el desarrollo de investigaciones que contribuyan a una regulación más justa y eficaz para los trabajos del futuro.

5. Referencias bibliográficas

1. Alexy, R. (2002). A theory of constitutional rights. Oxford University Press.

2. Atienza, M. (2013). Curso de argumentación jurídica. Trotta.

3. Autor, D. H. (2015). Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. Journal of Economic Perspectives, 29(3), 3–30. https://doi.org/10.1257/jep.29.3.3

4. Bessen, J. E. (2018). AI and jobs: The role of demand (NBER Working Paper No. 24235). National

5. Bureau of Economic Research. https://doi.org/10.3386/w24235

6. Collins, H. (2019). Labour law in the digital age. Oxford University Press.

7. De Stefano, V. (2016). The rise of the "just-in-time workforce": On-demand work, crowdwork, and labor protection in the "gig-economy". Comparative Labor Law & Policy Journal, 37(3), 471–504.

8. De Stefano, V., Aloisi, A., & Silberman, M. (2021). Platform work and the employment relationship. International Labour Organization.

9. European Commission. (2021). Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act) and amending certain Union legislative acts. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0206

10. Floridi, L. (2019). The logic of information: A theory of philosophy as conceptual design. Oxford University Press.

11. Fuchs, C. (2020). Digital capitalism. University of Westminster Press.

12. Guastini, R. (2014). Teoría e ideología de la interpretación jurídica. Trotta.

13. International Labour Organization. (2019). Work for a brighter future: Global Commission on the Future of Work.

14. International Labour Organization. (2021). World employment and social outlook 2021: The role of digital labour platforms in transforming the world of work.

15. Mayer-Schönberger, V., & Ramge, T. (2018). Reinventing capitalism in the age of big data. Basic Books.

16. Organisation for Economic Co-operation and Development. (2019). Artificial intelligence in society. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/eedfee77-en

17. Pasquale, F. (2015). The black box society: The secret algorithms that control money and information. Harvard University Press.

18. Prassl, J. (2018). Humans as a service: The promise and perils of work in the gig economy. Oxford University Press.

19. Robotnik. (2024). ¿Cuál es la diferencia entre robótica y automatización? https://robotnik.eu/es/cual-es-la-diferencia-entre-robotica-y-automatizacion/

20. Savigny, F. C. von. (2011). Sistema del derecho romano actual. Comares. (Obra original publicada en 1840).

21. Searle, J. R. (1995). The construction of social reality. Free Press.

22. Supiot, A. (2016). La gouvernance par les nombres. Fayard.

23. Supiot, A. (2018). Le travail n'est pas une marchandise. Collège de France.

24. United Nations. (2019). Report of the Special Rapporteur on extreme poverty and human rights.

25. Veale, M., & Zuiderveen Borgesius, F. (2021). Demystifying the draft EU Artificial Intelligence Act: Analysing the good, the bad, and the unclear elements of the proposed approach. Computer Law Review International, 22(4), 97–112.

26. World Economic Forum. (2020). The future of jobs report 2020.

27. Zuboff, S. (2019). The age of surveillance capitalism: The fight for a human future at the new frontier of power. PublicAffairs.

TECNOLOGÍAS EMERGENTES Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL INTELIGENTE: APLICACIÓN DEL MARCO UN-IGIF EN EL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL DEPARTAMENTO POMÁN (ARGENTINA)

EMERGING TECHNOLOGIES AND INTELLIGENT TERRITORIAL PLANNING: APPLICATION OF THE UN-IGIF FRAMEWORK IN THE TERRITORIAL PLANNING PLAN OF POMÁN DEPARTMENT (ARGENTINA)

Marcela Elizabeth Montivero[1], Erlinda del Valle Ortiz[1], María de los Ángeles Luna[1], Marcelo Ernesto Savio[1]

[1]*Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca, San Fernando del Valle de Catamarca, Argentina (Marcela*

[1]*Elizabeth Montivero, mmontivero@tecno.unca.edu.ar; Erlinda del Valle Ortiz, valleortiz@tecno.unca.edu.ar, María de los Ángeles Luna, mariangeluna3325@gmail.com, Marcelo Ernesto Savio, msavio@unca.edu.ar)*

https://doi.org/10.17613/8mxzp-zw497

Resumen

El Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del Departamento Pomán, desarrollado por la Universidad Nacional de Catamarca, constituye una experiencia en planificación territorial participativa en la provincia. Frente a problemáticas como la expansión agroindustrial, la fragmentación institucional y la presión sobre los recursos naturales, el plan promueve un modelo de desarrollo equitativo y sostenible. Este estudio analiza el POT-Pomán a partir de seis Vías Estratégicas del Marco Integrado de Información Geoespacial de Naciones Unidas (UN-IGIF), integrando gobernanza, financiamiento, innovación, alianzas, formación y comunicación. La metodología combina análisis documental, diagnóstico geoespacial y participación comunitaria, apoyándose en los estándares ISO y en la interoperabilidad de datos territoriales. Desde el enfoque conceptual propuesto por la Red Iberoamericana de Observación Territorial (RIDOT, 2025), el POT-Pomán se interpreta como una práctica de co-gestión territorial que articula conocimiento técnico y social, consolidando una política pública local en diálogo con marcos globales de sostenibilidad. Los resultados demuestran que la aplicación del UN-IGIF fortalece la gobernanza, la transparencia y la generación de capacidades locales, configurando a Pomán como un laboratorio de innovación territorial y un referente iberoamericano en planificación geoespacial adaptativa.

Palabras clave: Ordenamiento Territorial, Gobernanza, Sostenibilidad, UN-IGIF.

Abstract:

The Territorial Planning Plan (POT) of the Pomán Department, developed by the National University of Catamarca (Argentina), represents a pioneering experience in participatory territorial planning within the province. Addressing challenges such as agro-industrial expansion, institutional fragmentation, and pressure on natural resources, the plan promotes an equitable and sustainable development model. This study analyzes the POT-Pomán through six strategic pathways of the United Nations Integrated Geospatial Information Framework (UN-IGIF): governance, finance, innovation, partnerships, capacity, and communication. The methodology combines documentary review, geospatial diagnostics, and community participation, supported by ISO standards and interoperable territorial data. Following the conceptual approach proposed by the Ibero-American Network for Territorial Observation (RIDOT, 2025), the POT-Pomán is interpreted as a co-management initiative that integrates technical and social knowledge, contributing to the consolidation of a local public policy aligned with global sustainability frameworks. The results suggest that implementing the UN-IGIF strengthens governance, transparency, and local capacity building, positioning Pomán as a laboratory for territorial innovation and a reference for adaptive geospatial planning in Ibero-America.

Keywords: Territorial Planning, Governance, Sustainability, UN-IGIF.

1. Introducción

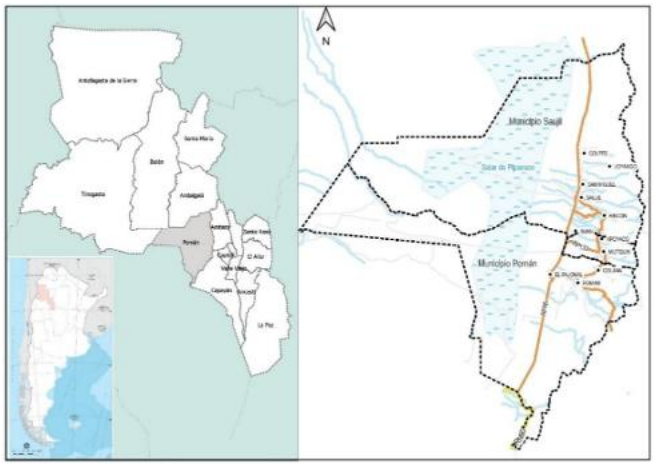
En las últimas décadas, el ordenamiento territorial ha adquirido una relevancia creciente como política pública orientada a equilibrar las dimensiones económica, social y ambiental del desarrollo. En el contexto iberoamericano, este concepto ha experimentado una profunda resignificación: de una herramienta normativa y sectorial, pasó a concebirse como un proceso dinámico de gestión del territorio, donde confluyen múltiples actores, escalas y saberes.

El reciente volumen de la Red Iberoamericana de Observación Territorial (RIDOT), Miradas cruzadas sobre términos de ordenamiento territorial para Iberoamérica (Gudiño et al., 2025), destaca que el ordenamiento territorial posee una polisemia conceptual que refleja las distintas trayectorias institucionales y culturales de los países de la región. Más que una debilidad, esta diversidad semántica constituye un activo epistemológico que permite comprender el territorio como una construcción social, política y simbólica. En este sentido, la planificación territorial no se reduce a la delimitación espacial o a la zonificación del suelo, sino que se interpreta como una práctica de gobernanza colaborativa, donde las decisiones colectivas sobre el espacio expresan visiones de futuro y modelos de desarrollo.

El propósito de este trabajo es analizar el Plan de Ordenamiento Territorial del Departamento Pomán (POT-Pomán) como un caso de aplicación del Marco Integrado de Información Geoespacial de Naciones Unidas (UN-IGIF), identificando cómo las tecnologías geoespaciales emergentes y los procesos participativos contribuyen a fortalecer la gobernanza territorial, la planificación basada en evidencia y la construcción de capacidades institucionales a escala local.

En la provincia de Catamarca, Argentina, esta perspectiva se materializa en el Plan de Ordenamiento Territorial del Departamento Pomán (POT-Pomán), elaborado en 2024 por la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca junto con los municipios de Pomán, Saujil y Mutquín. El plan surge como respuesta a los desafíos que caracterizan a este territorio del piedemonte del Ambato, en el sector occidental de la provincia, con una superficie cercana a los 4.800 km². Pomán combina paisajes serranos, valles productivos y piedemontes en transformación, donde coexisten prácticas agrícolas tradicionales con una creciente expansión agroindustrial olivícola, generando tensiones entre productividad, sostenibilidad ambiental y equidad territorial. (Figura 1)

Figura 1. Mapa de ubicación del departamento Pomán, provincia de Catamarca. Fuente: POT-Pomán.



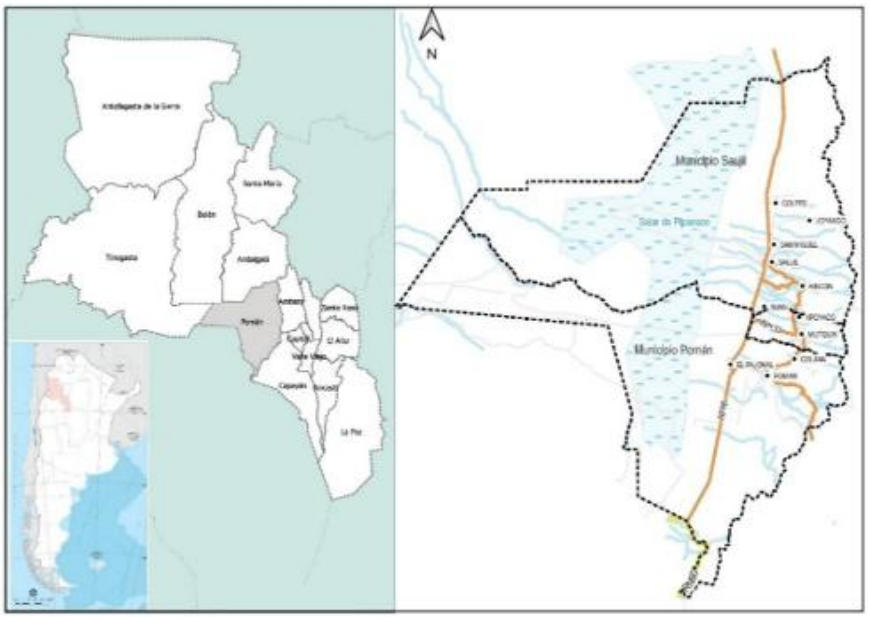
Las dinámicas territoriales del departamento se ven atravesadas por procesos de fragmentación institucional, presión sobre los recursos naturales y vulnerabilidad ambiental. Frente a este escenario, el POT-Pomán se propuso como un instrumento participativo y multisectorial de planificación integral, destinado a orientar las políticas públicas locales hacia un modelo de desarrollo más equilibrado. Su diseño incorporó instancias de concertación comunitaria, diagnósticos interdiscıplinarios y estrategias de gestión territorial apoyadas en información geoespacial interoperable.

El presente apartado aborda el POT-Pomán desde una mirada analítica y comparada, integrando tres niveles de reflexión:

- Conceptual, basado en los aportes de Faludi (2000), Friedmann (2005) y Massiris (2012), y en la perspectiva terminológica y epistemológica desarrollada por la RIDOT (Guidiño, 2025), que enfatiza la necesidad de un lenguaje común iberoamericano para la planificación territorial.
- Metodológico, que examina la articulación del POT-Pomán con las Vías Estratégicas del Marco Integrado de Información Geoespacial de Naciones Unidas (UN-IGIF), especialmente en materia de gobernanza, innovación, financiamiento y participación social.
- Territorial y político, orientado a analizar el proceso de implementación del plan como experiencia de cooperación interinstitucional y aprendizaje colectivo, en un contexto provincial sin marco normativo nacional de ordenamiento (Figura 2).
-

El análisis parte de la hipótesis de que el POT-Pomán constituye un caso ejemplar de adaptación territorial del paradigma iberoamericano contemporáneo, que concibe la planificación como un proceso de diálogo entre conocimiento técnico, saberes locales e instrumentos globales de gobernanza. En este marco, la integración de las seis Vías Estratégicas del UN-IGIF —Gobernanza e Instituciones (VE1), Finanzas (VE3), Innovación (VE6), Alianzas (VE7), Capacidad y Educación (VE8) y Comunicación y Compromiso (VE9)— permite conectar la experiencia local con los principios de sostenibilidad, interoperabilidad y resiliencia territorial promovidos por la comunidad internacional.

Figura 2. Marco de desarrollo territorial. Fuente: elaboración propia.



Este trabajo propone una lectura del POT-Pomán como laboratorio de innovación territorial y como aporte concreto a la construcción de una epistemología latinoamericana del ordenamiento, que dialoga con las miradas cruzadas de Iberoamérica y con los marcos globales de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible –ODS (Naciones Unidas, 2015, UN-GGIM, 2018; UN-Habitat, 2020; UNDP, 2021).

2. Antecedentes Teóricos y Empíricos

El ordenamiento territorial, entendido en un sentido amplio, se ha consolidado como un instrumento de planificación estratégica que busca armonizar las dimensiones económica, ambiental, social e institucional del desarrollo. Sin embargo, su definición, alcance y aplicación han sido objeto de debate constante en Iberoamérica. Tal como advierte la RIDOT (Gudiño et al., 2025), el concepto presenta una pluralidad semántica y disciplinar que refleja la diversidad de trayectorias institucionales, normativas y culturales de los países de la región.

Desde una perspectiva teórica, esta diversidad ha sido abordada por distintos autores que contribuyeron a redefinir el campo de la planificación. Faludi (2000) sostiene que la planificación espacial debe evaluarse por su capacidad de orientar decisiones colectivas más que por la existencia de documentos normativos. En su enfoque de "performance planning", la planificación es un proceso relacional y adaptativo, cuyo valor reside en su impacto institucional y social.

Por su parte, Friedmann (2005) introduce la noción de transición urbana para describir los procesos de transformación territorial ligados a la globalización, la movilidad y la reestructuración económica. Propone comprender el territorio como un espacio de relaciones dinámicas, donde las políticas públicas deben actuar sobre flujos y redes más que sobre límites fijos.

Desde una mirada latinoamericana, Massiris (2015) plantea que el ordenamiento territorial debe entenderse como un instrumento para el desarrollo sostenible, basado en la participación social, la equidad y la articulación multiescalar. Su propuesta pone énfasis en la integración de niveles locales, regionales y nacionales, y en la necesidad de fortalecer las capacidades institucionales para la gestión del territorio.

A partir de estas bases, se propone avanzar hacia una epistemología iberoamericana del ordenamiento territorial, que supere las visiones fragmentadas y promueva un lenguaje técnico común entre países. Este planteo reconoce que los términos "ordenamiento territorial", "planificación espacial", "gestión territorial" o "planificación del desarrollo" no son sinónimos, sino que expresan tradiciones institucionales distintas, pero complementarias. En este sentido, se percibe al ordenamiento como una práctica situada, participativa y dialógica, donde el territorio se concibe como construcción social, cultural y política, más que como un objeto físico o cartográfico.

Experiencias comparadas en Iberoamérica

Los avances en políticas de ordenamiento territorial en la región evidencian una diversidad de enfoques y grados de institucionalización:

En Colombia, los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) municipales, instaurados desde 1997, constituyen una referencia regional en cuanto a normatividad y cobertura. Sin embargo, estudios recientes señalan limitaciones en la articulación interinstitucional y la capacidad de gestión, destacando la necesidad de una gobernanza territorial más efectiva. (República de Colombia - MVCT, 2020). En Chile, el sistema de Instrumentos de Planificación Territorial (IPT) se estructura en torno a escalas regionales y comunales, con avances en normativas urbanas, pero con desafíos para integrar variables ambientales y sociales en territorios rurales o de montaña. (Observatorio de Políticas Territoriales, 2021)

En México, los Programas de Ordenamiento Ecológico del Territorio (POET) se orientan a equilibrar conservación y producción, aunque su implementación enfrenta dificultades de actualización de datos y coordinación entre niveles de gobierno. (SEMARNAT, 2019) En España, el planeamiento territorial y urbanístico tiene una larga tradición jurídica y técnica, pero la experiencia iberoamericana ha señalado que la traslación directa de sus modelos no siempre resulta adecuada para contextos latinoamericanos, donde prevalecen dinámicas socioeconómicas informales y estructuras institucionales más frágiles. (Gudiño et al, 2025)

Estas experiencias muestran que el ordenamiento territorial no puede reducirse a un marco normativo o técnico universal, sino que debe ser reinterpretado a la luz de las condiciones locales, la participación ciudadana y la disponibilidad de información territorial interoperable.

El caso argentino y el POT-Pomán

En Argentina, la ausencia de una ley nacional de ordenamiento territorial ha derivado en experiencias dispares entre provincias. No obstante, esta fragmentación ha estimulado procesos innovadores a escala local y académica. En este marco, el Plan de Ordenamiento Territorial del Departamento Pomán (POT-Pomán, 2024) se constituye como una experiencia pionera dentro de la provincia de Catamarca.

Su formulación, liderada por la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca (UNCA), respondió a la necesidad de articular las dimensiones ambientales, productivas, sociales e institucionales de un territorio marcado por la expansión olivícola, la presión sobre los recursos hídricos y la fragilidad de los ecosistemas serranos del Ambato.

El POT-Pomán se alinea con el Marco Integrado de Información Geoespacial de Naciones Unidas (UN-IGIF), que destacan la importancia de integrar la información geoespacial, la gobernanza multinivel, la innovación tecnológica y la participación social como pilares del ordenamiento territorial contemporáneo. (UN-GGIM, 2018)

De este modo, el caso Pomán encarna la convergencia entre tres corrientes actuales del pensamiento territorial:

- La planificación como desempeño institucional (Faludi);
- La gestión del territorio como proceso de transición y red (Friedmann); y
- La planificación como instrumento para el desarrollo sostenible (Massiris).

Al combinar estas perspectivas con la visión terminológica y epistemológica de la RIDOT, el POT-Pomán se configura como un caso de ordenamiento territorial situado y replicable, capaz de dialogar con los marcos globales del UN-IGIF y con las agendas internacionales de sostenibilidad, pero enraizado en la realidad política, ambiental y cultural del oeste catamarqueño.

En este marco conceptual, el POT-Pomán se interpreta como una experiencia aplicada que permite observar cómo los principios teóricos del ordenamiento territorial —como la planificación como proceso institucional (Faludi), la gestión territorial como red dinámica (Friedmann) y la planificación como instrumento de desarrollo sostenible (Massiris)—pueden operacionalizarse mediante herramientas geoespaciales, procesos participativos y mecanismos de gobernanza multinivel. Esta perspectiva permite analizar el plan no solo como instrumento técnico, sino como práctica territorial que articula conocimiento científico, información geoespacial y toma de decisiones públicas.

3. Metodología

El enfoque metodológico adoptado para el análisis del Plan de Ordenamiento Territorial del Departamento Pomán (POT-Pomán, 2024) combina una aproximación cualitativa, comparativa y constructiva, orientada a interpretar el ordenamiento territorial como un proceso complejo y multiescalar. Esta metodología se fundamenta en la idea de que los instrumentos de ordenamiento no son productos cerrados, sino dispositivos de co-gestión territorial, que deben ser leídos tanto en su estructura técnica como en su dinámica social e institucional.

Desde esta perspectiva, el trabajo metodológico se estructuró en cuatro fases interdependientes, que integran el análisis conceptual, documental, territorial y participativo.

1. Revisión conceptual y documental

En esta fase se realiza una revisión exhaustiva de fuentes teóricas, normativas y metodológicas vinculadas al ordenamiento territorial, tanto a nivel internacional como nacional y provincial.

Se analizan los aportes de Faludi (2000), Friedmann (2005) y Massiris (2012), junto con los debates actuales compilados en Miradas cruzadas sobre términos de ordenamiento territorial para Iberoamérica (Gudiño et al., 2025).

Este corpus permite identificar convergencias epistemológicas entre la planificación como desempeño institucional, la gestión del territorio como red dinámica y el ordenamiento como instrumento de sostenibilidad y gobernanza.

Asimismo, se incorporan los lineamientos del Marco Integrado de Información Geoespacial de Naciones Unidas (UN-IGIF), con énfasis en las seis Vías Estratégicas consideradas en el POT-Pomán:

- Gobernanza e Instituciones (VE1),
- Finanzas (VE3),
- Innovación (VE6),
- Alianzas (VE7),
- Capacidad y Educación (VE8), y
- Comunicación y Compromiso (VE9).

El cruce entre estas fuentes conceptuales permite construir una matriz interpretativa que sitúa el POT-Pomán dentro del paradigma iberoamericano de planificación territorial, orientado a la integración de conocimiento técnico, datos geoespaciales y participación social.

2. Análisis territorial y diagnóstico geoespacial

La segunda fase consiste en un análisis empírico del territorio de Pomán, centrado en sus dimensiones ambientales, productivas, urbanas y sociales.

Se emplean herramientas de teledetección y sistemas de información geográfica (SIG) para delimitar unidades de paisaje, identificar áreas críticas de vulnerabilidad ambiental (deforestación, erosión, presión hídrica) y evaluar los patrones de crecimiento urbano y uso del suelo.

Este trabajo incluye la utilización de imágenes Sentinel-2 y Landsat 8, combinaciones RGB para interpretación visual, y procesamiento en plataformas como Google Earth Engine (GEE).

La información geoespacial se integra en una geodatabase departamental interoperable, compatible con estándares ISO 19115 (2014) e ISO 19157 (2013), lo que permitió garantizar la trazabilidad y calidad de los datos.

El análisis espacial se complementa con información censal, registros catastrales y observaciones de campo, elaborando un diagnóstico integral que sirvió como base para la formulación de lineamientos estratégicos.

3. Análisis institucional y participativo

En esta etapa se considera que el ordenamiento territorial no puede comprenderse sin analizar sus estructuras de gobernanza y procesos de concertación social.
Se realizan talleres participativos con actores locales (productores, funcionarios municipales, instituciones educativas y organizaciones de base) para discutir diagnósticos y validar propuestas.
La metodología participativa se basa en tres ejes:

- Escucha activa y diálogo territorial, donde se reconocen los saberes locales como fuente legítima de conocimiento.
- Construcción de consensos interinstitucionales, orientados a definir roles, responsabilidades y acuerdos sobre los usos del suelo.
- Validación colectiva de proyectos estratégicos, priorizando aquellos con impacto transversal en el desarrollo local (infraestructura, recursos hídricos, educación técnica, gestión ambiental).

Estos espacios permiten observar la articulación entre las dimensiones técnica, política y social del POT-Pomán, en concordancia con la Vía Estratégica 9 (Comunicación y Compromiso) del UN-IGIF, y fortalecen el sentido de apropiación comunitaria del plan.

4. Comparación y síntesis interpretativa

La última fase consiste en una interpretación comparada y crítica del POT-Pomán, contrastando sus avances con experiencias iberoamericanas de planificación territorial. Los casos de Colombia, Chile, México y España fueron seleccionados por su relevancia en la literatura iberoamericana sobre ordenamiento territorial y por representar diferentes niveles de institucionalización de la planificación territorial. Colombia constituye una referencia regional por la implementación temprana de los Planes de Ordenamiento Territorial municipales; Chile aporta experiencias de planificación regional y urbana; México destaca por la integración entre ordenamiento ecológico y planificación territorial; y España representa un modelo consolidado de planificación territorial y urbanística que ha influido en diversos países latinoamericanos.

Esta comparación permite identificar patrones comunes y diferencias estructurales en torno a la institucionalización de la planificación, la disponibilidad de información geoespacial y el grado de participación social.

Se elabora una síntesis interpretativa que sitúa el POT-Pomán dentro de un proceso de aprendizaje colectivo y de convergencia epistemológica.

La metodología utilizada integra tres dimensiones analíticas:

Dimensión	Enfoque	Aporte principal
Conceptual	Teoría y terminología del ordenamiento territorial (Faludi, Friedmann, Massiris)	Enmarcar el POT-Pomán dentro del paradigma iberoamericano del ordenamiento como proceso social.
Técnica	Análisis geoespacial (SIG, teledetección, interoperabilidad de datos)	Construir diagnósticos basados en evidencia territorial verificable y estándares internacionales.
Social e institucional	Participación comunitaria, concertación interinstitucional y gobernanza	Consolidar legitimidad social y sostenibilidad política del plan.

4. Resultados

El análisis integral del Plan de Ordenamiento Territorial del Departamento Pomán (POT-Pomán) evidencia una serie de resultados que trascienden el plano técnico para consolidarse como avances en la gobernanza, la institucionalidad y la cultura territorial. Su implementación demuestra la viabilidad de integrar marcos globales de gestión — como el UN-IGIF— con metodologías participativas y enfoques situados, en concordancia con las perspectivas iberoamericanas que promueven la planificación como proceso social (Faludi, 2000; Friedmann, 2005; Massiris, 2012; Gudiño, 2025).
El POT-Pomán logra vincular la producción de conocimiento geoespacial con la toma de decisiones públicas, fortaleciendo la capacidad de los gobiernos locales para gestionar información, formular proyectos y articular políticas. Este proceso permitió pasar de una visión fragmentada del territorio a una mirada integral y multiescalar, donde las dinámicas ambientales, productivas y sociales son analizadas de forma sistémica.

Los resultados se organizan en torno a las seis Vías Estratégicas del Marco Integrado de Información Geoespacial de Naciones Unidas (UN-IGIF), adoptadas como eje operativo del plan:

1. Gobernanza e Instituciones (VE1)

Uno de los logros más significativos del POT-Pomán es la institucionalización de la gestión territorial a escala departamental. A partir del proceso participativo, se consolidó un Comité Técnico de Ordenamiento Territorial, integrado por representantes de los tres municipios, la Universidad Nacional de Catamarca y actores productivos.

Este comité actúa como instancia de coordinación interjurisdiccional, permitiendo abordar problemáticas comunes (como la gestión del agua, la expansión urbana o la conservación ambiental) desde una lógica de cooperación más que de competencia.

Se avanzó también en la elaboración de un marco procedimental común para la toma de decisiones, con criterios compartidos para la delimitación de áreas de uso, las autorizaciones de suelo y los proyectos de inversión. Este proceso de construcción institucional constituye una innovación para el contexto provincial, donde históricamente los municipios actuaban de manera aislada.

2. Finanzas (VE3)

El POT-Pomán impulsó la creación de una cartera de proyectos territoriales estratégicos, priorizados según su impacto social, ambiental y productivo. Entre ellos se destacan los proyectos de mejora de infraestructura hídrica, recuperación de caminos rurales, fortalecimiento de redes de riego y desarrollo de parques agroindustriales sostenibles.

Se identificaron fuentes de financiamiento mixtas —municipales, provinciales, nacionales e internacionales—, con el propósito de garantizar la sostenibilidad económica del plan. En particular, se trabajó en la alineación de los proyectos con las líneas de financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2022), la Agenda 2030 y programas del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación.

3. Innovación (VE6)

La innovación tecnológica fue un componente transversal del POT-Pomán. Se implementaron herramientas de teledetección, fotogrametría con drones y análisis multitemporal mediante el uso de plataformas como Google Earth Engine (GEE) y QGIS, lo que permitió generar diagnósticos precisos y actualizados del uso del suelo, la cobertura vegetal y las dinámicas de urbanización.

Se creó una Geodatabase Departamental Interoperable (GDI-Pomán), alineada con estándares ISO 19115 (2014) e ISO 19157 (2013), lo que posibilitó la integración de información municipal dispersa en una estructura común y reutilizable.

Esta base de datos constituye el núcleo de un futuro Nodo de Infraestructura de Datos Espaciales Municipal (IDE-Pomán), proyectado como parte de la red provincial de IDE Catamarca.

La innovación no se limitó al uso de tecnologías, sino que también incluyó nuevas prácticas de gestión, como la digitalización de trámites catastrales, la implementación de repositorios abiertos de información y la formación de técnicos locales en procesamiento geoespacial.

4. Alianzas (VE7)

El POT-Pomán fortaleció las alianzas interinstitucionales y multiactorales como herramienta para la gobernanza territorial. La articulación entre la Universidad Nacional de Catamarca, los municipios y las comunidades locales permitió crear un ecosistema de colaboración donde la academia aporta soporte técnico y metodológico, mientras los actores locales brindan conocimiento contextual y capacidad de acción.

Además, se establecieron vínculos con la Infraestructura de Datos Espaciales de la República Argentina (IDERA) y con instituciones regionales, abriendo canales de cooperación iberoamericana para el intercambio de experiencias y metodologías. Este modelo de alianzas refleja la premisa de que el ordenamiento territorial no se impone, sino que se construye colectivamente, en un equilibrio entre el conocimiento experto y el conocimiento social.

5. Capacidad y Educación (VE8)

La formación de capacidades locales fue un componente central del proceso. Se desarrollaron talleres de capacitación en SIG, teledetección, normativas ISO y gestión de proyectos, dirigidos a técnicos municipales, estudiantes universitarios y miembros de organizaciones comunitarias.

Estas actividades no sólo fortalecieron las competencias técnicas de los actores locales, sino que promovieron una cultura de gestión basada en evidencia, indispensable para sostener el plan a largo plazo.

En paralelo, se integraron los contenidos y resultados del POT-Pomán en la enseñanza universitaria de carreras como Ingeniería en Agrimensura, Cartografía y Sistemas de Información Territorial, garantizando la transferencia de conocimientos entre la academia y el territorio.

Este proceso encarna el principio iberoamericano de "territorio que enseña y aprende", en el que la práctica del ordenamiento se convierte en un espacio pedagógico y de innovación social.

6. Comunicación y Compromiso (VE9)

El éxito del POT-Pomán también se explica por su capacidad para comunicar y sensibilizar sobre la importancia del ordenamiento territorial. A través de talleres

públicos, cartografía social, medios locales y plataformas digitales, se promovió un discurso territorial compartido, orientado a fortalecer la confianza entre ciudadanía e instituciones.

Se elaboraron materiales didácticos y cartográficos accesibles, que tradujeron el lenguaje técnico en formatos comprensibles para la comunidad. La estrategia de comunicación fue concebida como una herramienta de legitimidad y apropiación social, en línea con la Vía Estratégica 9 del UN-IGIF. El POT-Pomán produjo impactos visibles en tres planos complementarios:

Plano	Impacto	Ejemplo
Institucional	Consolidación de una estructura de gobernanza local y departamental.	Creación del Comité Técnico Intermunicipal y protocolos comunes de planificación.
Técnico-científico	Producción y gestión de información geoespacial interoperable.	Geodatabase departamental (GDI-Pomán) y capacitación en SIG-IDE.
Social y político	Incremento de la participación y legitimidad ciudadana.	Talleres participativos y difusión comunitaria del POT.

Los resultados obtenidos confirman que el ordenamiento territorial, cuando se aborda desde una visión integral y colaborativa, puede convertirse en un motor de transformación institucional.

El POT-Pomán no sólo produjo información y proyectos, sino que generó aprendizaje social, cohesión territorial y confianza interinstitucional.

En el caso Pomán demuestra que los territorios locales pueden ser espacios de innovación epistemológica, donde se ensayan nuevas formas de gobernanza, se construyen lenguajes comunes y se materializa la idea de un ordenamiento territorial iberoamericano, plural, situado y cooperativo.

5. Conclusiones

El análisis del POT-Pomán permitió examinar la aplicación del Marco Integrado de Información Geoespacial de Naciones Unidas (UN-IGIF) en un contexto territorial local, evaluando cómo las tecnologías geoespaciales emergentes, la interoperabilidad de datos y los procesos participativos pueden fortalecer la planificación territorial. En este sentido, el estudio buscó demostrar que la articulación entre marcos globales de gobernanza geoespacial y prácticas territoriales situadas constituye una estrategia viable para avanzar hacia modelos de ordenamiento territorial inteligentes.

El Plan de Ordenamiento Territorial del Departamento Pomán (POT-Pomán) representa un punto de inflexión en la forma de concebir la planificación del territorio en contextos locales de América Latina. Su desarrollo demuestra que es posible articular marcos globales de gestión geoespacial, como el UN-IGIF, con metodologías participativas y enfoques epistemológicos de raíz iberoamericana.

Desde una perspectiva conceptual, el caso Pomán confirma que el ordenamiento territorial debe entenderse como un proceso social e institucional en construcción, más que como un producto técnico o normativo. En línea con Faludi (2000), la efectividad de la planificación radica en su capacidad de orientar decisiones colectivas, generar legitimidad y construir una visión compartida de futuro. Asimismo, retoma la idea de Friedmann (2005) del territorio como espacio de transición y de redes dinámicas, y la de Massiris (2012) que entiende el ordenamiento como instrumento del desarrollo sostenible y de concertación política.

El Plan de Ordenamiento Territorial de Pomán se erige como una experiencia que aporta al debate sobre la necesidad de un lenguaje técnico y político común para Iberoamérica, sin desconocer la diversidad institucional y cultural de los territorios. En este sentido, demuestra que las categorías globales —como las "Vías Estratégicas" del UN-IGIF— pueden ser reinterpretadas desde contextos locales, traduciéndolas en instrumentos de gobernanza, innovación y aprendizaje social.

Los aportes conceptuales y metodológicos, indican una evidencia empírica al enfoque del ordenamiento territorial como práctica transdisciplinaria. Su implementación valida que la planificación participativa, la interoperabilidad de datos geoespaciales y la construcción de alianzas interinstitucionales son pilares para consolidar políticas territoriales sostenibles.

El proceso también muestra cómo los instrumentos de planificación pueden ser vehículos de innovación epistemológica, donde se produce conocimiento técnico y social de manera conjunta. Al promover el diálogo entre saberes locales, académicos y gubernamentales, y encarna el principio de la planificación colaborativa, clave para los nuevos paradigmas territoriales iberoamericanos.

Con respecto a los aportes institucionales y de gobernanza, el plan logró avanzar en la formalización de mecanismos de gobernanza territorial: el Comité Técnico Intermunicipal y los acuerdos intersectoriales de gestión evidencian que es posible construir instituciones adaptativas basadas en cooperación.

Estos espacios consolidan un modelo de gobernanza policéntrico y horizontal, en el que los municipios asumen un rol activo y la universidad actúa como mediadora del conocimiento.

El caso Pomán demuestra que la gobernanza territorial no se decreta por ley, sino que se construye en el hacer colectivo, a partir de la confianza, la transparencia y la continuidad institucional.

Los aportes tecnológicos y de gestión de la información permitieron la creación de una Geodatabase Departamental Interoperable (GDI-Pomán), lo que constituye un logro estructural del proceso, al permitir la integración de datos municipales dispersos en una única plataforma geoespacial.

Este resultado posiciona a Pomán como un nodo emergente dentro de la futura Infraestructura de Datos Espaciales de Catamarca (IDE-CAT) y se alinea con las recomendaciones del UN-GGIM sobre fortalecimiento de capacidades locales en información geoespacial.

El uso de tecnologías accesibles (QGIS, GEE, drones, plataformas IDE) permitió reducir brechas digitales y fomentar la apropiación tecnológica por parte de actores locales.

Los aportes sociales y educativos: dejó instalada una cultura territorial basada en la participación y la educación ciudadana.

Los talleres comunitarios, la cartografía social y la comunicación pública del plan fortalecieron la legitimidad del proceso, permitiendo que los habitantes se reconozcan como coautores del territorio. Además, la incorporación de los contenidos del plan en los programas académicos de la Universidad Nacional de Catamarca generó un vínculo pedagógico virtuoso entre la docencia, la investigación y la extensión, que convierte al territorio en un aula viva y a la planificación en una práctica formativa permanente.

El análisis comparativo con experiencias de Colombia, Chile, México y España muestra que, a pesar de los distintos grados de institucionalización, las tendencias convergen hacia la integración de la información geoespacial, la participación social y la cooperación multinivel.

El POT-Pomán se inscribe en esa corriente, aportando una metodología flexible y replicable para otros territorios argentinos y latinoamericanos.

Asimismo, la experiencia reafirma la vigencia del paradigma iberoamericano propuesto por la RIDOT: la necesidad de construir una epistemología territorial compartida, que reconozca al territorio como una construcción cultural, relacional y política.

En esa línea, el caso Pomán puede considerarse un laboratorio de innovación territorial, donde se ensaya un nuevo lenguaje de planificación que conjuga la precisión técnica con la sensibilidad social. El POT-Pomán sintetiza el tránsito del ordenamiento territorial como diagnóstico técnico hacia el ordenamiento como política pública de concertación, aprendizaje e innovación. Al integrar las Vías Estratégicas del UN-IGIF el plan demuestra que la planificación puede ser al mismo tiempo científica y social, global y local, estructurada y adaptativa.

El desafío futuro radica en garantizar su continuidad, escalabilidad y articulación con otros municipios y niveles del Estado, consolidando un modelo provincial de gestión territorial basado en datos, participación y equidad.

De esta manera, el caso Pomán no sólo fortalece la institucionalidad territorial de Catamarca, sino que contribuye al diálogo iberoamericano sobre los nuevos lenguajes del ordenamiento, abriendo caminos para una planificación territorial latinoamericana más justa, inclusiva y sustentable.

A partir de esta experiencia surgen nuevas líneas de investigación orientadas a profundizar la relación entre infraestructuras de datos espaciales, inteligencia territorial y políticas públicas. Futuras investigaciones podrían analizar la replicabilidad del modelo POT-Pomán en otros territorios rurales de América Latina, evaluar el impacto de las tecnologías geoespaciales en la toma de decisiones locales y explorar el rol de la inteligencia artificial y los datos abiertos en la construcción de sistemas de planificación territorial más adaptativos.

6. Referencias bibliográficas

1. Banco Interamericano de Desarrollo. (2022). *La gobernanza subnacional en América Latina y el Caribe: Retos y oportunidades para el desarrollo sostenible*.

2. European Spatial Planning Observation Network. (2018). *COMPASS: Comparative analysis of territorial governance and spatial planning systems in Europe*.

3. Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca. (2024). *Plan de Ordenamiento Territorial del Departamento Pomán (POT-Pomán)*. Universidad Nacional de Catamarca.

4. Faludi, A. (2000). The performance of spatial planning. *Planning Practice & Research, 15*(4), 299–318. https://doi.org/10.1080/713691907

5. Friedmann, J. (2005). *China's urban transition*. University of Minnesota Press.

6. Gudiño, M. E., Vivanco, M., & López Escolano, C. (Comps.). (2025). *Miradas cruzadas sobre términos de ordenamiento territorial para Iberoamérica*. Red Iberoamericana de Observación Territorial.

7. Infraestructura de Datos Espaciales de la República Argentina. (2024). G*uía de implementación y buenas prácticas para el desarrollo de IDEs provinciales y municipales*. Consejo Federal de Catastro e IDERA.

8. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. (2020). *Gestión de información geoespacial y estándares en América Latina*.

9. International Organization for Standardization. (2013). *Geographic information—Data quality* (Norma ISO No. 19157).

10. International Organization for Standardization. (2014). *Geographic information—Metadata—Part 1: Fundamentals* (Norma ISO No. 19115-1).

11. Massiris Cabeza, Á. (2015). *Gestión territorial y desarrollo: Hacia una política de desarrollo territorial sostenible en América Latina*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

12. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2020). *Lineamientos para la formulación y revisión de planes de ordenamiento territorial (POT)*. Gobierno de Colombia.

13. Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el desarrollo sostenible*.

14. Observatorio de Políticas Territoriales, Pontificia Universidad Católica de Chile. (2021). *Sistemas e instrumentos de planificación territorial en regiones intermedias*. Pontificia Universidad Católica de Chile.

15. Organización de Estados Iberoamericanos. (2023). *El estado de la ciencia 2023: Ciencia, tecnología e innovación en Iberoamérica*.

16. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2019). *Guía metodológica para la formulación de programas de ordenamiento ecológico del territorio (POET)*. Gobierno de México.

17. United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management. (2018). I*ntegrated geospatial information framework (IGIF): Strategic pathways for developing and strengthening national geospatial information management*. United Nations.

18. United Nations Development Programme. (2021). Territorial approaches for sustainable development: *Towards local implementation of the 2030 Agenda*.

19. United Nations Human Settlements Programme. (2020). *World cities report 2020: The value of sustainable urbanization*.

20. World Bank. (2023). *Geospatial information for resilient and inclusive territorial governance* [Informe].

TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN EL SECTOR PÚBLICO DE LA REGIÓN AMAZÓNICA

DIGITAL TRANSFORMATION IN THE PUBLIC SECTOR OF THE AMAZON REGION

Natany Soares Leite[1]

[1]*Instituto de Ciencias Sociales Aplicadas, Universidad Federal de Pará (UFPA), Brasil (natanyleite@gmail.com)*

https://doi.org/10.17613/6sa4t-5h166

Resumen

Este estudio investiga la transformación digital en la administración pública del estado de Pará, centrándose en la transición de los procesos físicos a los flujos electrónicos. El análisis se centra en la implementación del Sistema de Proceso Administrativo Electrónico (PAE) y su papel como motor de modernización y eficiencia institucional en la región amazónica. Mediante un enfoque cualitativo, los autores exploran cómo la transformación digital reconfigura el entorno organizativo y las competencias exigidas a los funcionarios públicos. Los resultados destacan beneficios como la transparencia y la sostenibilidad, al tiempo que identifican barreras culturales y la necesidad de un liderazgo estratégico. Se concluye que la innovación tecnológica en el sector estatal es un proceso continuo que exige la alineación entre las herramientas digitales y el desarrollo humano.

Palabras clave: Transformación Digital; Administración Pública; Trabajo; Gestión Pública.

Abstract:

This study investigates the digital transformation in the public administration of the State of Pará, focusing on the transition from physical processes to electronic workflows. The analysis centers on the implementation of the Electronic Administrative Process System (PAE) and its role as an engine of modernization and institutional efficiency in the Amazon region. Through a qualitative approach, the authors explore how digital transformation reconfigures the organizational environment and the skills required of public employees. The results highlight benefits such as transparency and sustainability, while also identifying cultural barriers and the need for strategic leadership. It concludes that technological innovation in the state sector is a continuous process that requires alignment between digital tools and human development.

Keywords: Digital Transformation; Public Administration; Work; Public Management.

1. Introducción

La Transformación Digital (TD) y el avance de las tecnologías en un entorno global están promoviendo cambios en el funcionamiento de las organizaciones públicas. Aunque a menudo se presenta como un fenómeno reciente, la transformación digital puede entenderse como un proceso en curso desde, al menos, la década de 1980, con la popularización del ordenador personal y la sucesión de oleadas tecnológicas que, en intervalos de cinco a diez años, han alterado las prácticas organizativas y los hábitos sociales a ritmos distintos. En el contexto gubernamental, este proceso se expresa a través de la transformación digital y la digitalización de datos, que han contribuido a la modernización de las prácticas administrativas e influido en la formulación de estrategias institucionales orientadas a la transparencia, la eficacia y la eficiencia en la prestación de servicios públicos (Medina Alves et al., 2025).

Se sabe que la implementación de procesos de digitalización e iniciativas asociadas a la Transformación Digital ha promovido cambios en el entorno laboral, con potencial para generar mejoras en diferentes dimensiones de la gestión pública (Abreu et al., 2022). Entre estos cambios, destacan aspectos relacionados con la sostenibilidad, la reducción de los costes operativos, el aumento de la transparencia, la ampliación de la participación ciudadana, la seguridad de la información y la garantía de la privacidad de los datos (Śliwa & Krzos, 2023).

A pesar del creciente interés de la academia en el desarrollo de tecnologías y políticas digitales, aún persisten importantes lagunas en la literatura, incluyendo las experiencias de los funcionarios públicos y los usuarios en relación con los procesos de aprendizaje organizacional relacionados con los impactos de la inclusión digital en los sistemas de gestión pública (Irani et al., 2023). Los temas relacionados con la transformación digital merecen atención, ya que implican la incorporación de una cultura de innovación en las organizaciones estatales, lo que refuerza la necesidad de estudios que analicen experiencias concretas de implementación tecnológica.

A partir de las lagunas identificadas en la literatura, este capítulo busca responder a la siguiente pregunta de investigación: ¿de qué manera las transformaciones digitales han contribuido a la eficiencia y la innovación en la administración pública? La respuesta a esta pregunta presupone comprender cómo las organizaciones públicas interpretan e incorporan la Transformación Digital (TD) en sus objetivos institucionales, considerando la tecnología como un elemento estratégico para el rediseño organizacional y la reconfiguración del trabajo en el sector público (Kretschmer & Khashabi, 2020). Basándose en esta perspectiva, el estudio adopta como muestra empírica los órganos del Poder Ejecutivo de un gobierno subnacional en Brasil, el estado de Pará, caracterizado por la implementación progresiva de iniciativas de digitalización administrativa. En particular, se analiza el Sistema de Proceso Administrativo Electrónico (PAE), una plataforma de gestión de procesos que ejemplifica la adopción de soluciones digitales orientadas a la modernización de la administración pública.

El objetivo general del capítulo es analizar los efectos de la transformación digital en la reconfiguración de la fuerza laboral y en el entorno organizativo de la administración pública. En concreto, se busca examinar cómo las iniciativas de digitalización administrativa han contribuido a la modernización de las prácticas de gestión, así como identificar los retos asociados a su implementación, especialmente en lo que se refiere a las competencias exigidas a los funcionarios públicos y a las

estrategias de adaptación organizativa. Además, el estudio analiza los beneficios percibidos y los puntos críticos relacionados con el uso de estas tecnologías, teniendo en cuenta sus efectos sobre la eficiencia administrativa y las dinámicas organizativas.

La elección del entorno empírico se basa en el uso de datos asociados al Proceso Administrativo Electrónico (PAE), entendido como una iniciativa de gobierno digital que ha promovido una mayor rapidez, transparencia y sostenibilidad en la conducción de los procesos administrativos (Abreu et al., 2022). En este sentido, el PAE se trata como un caso empírico que permite comprender, de manera situada, cómo la Transformación Digital ha reconfigurado las prácticas de trabajo, las rutinas organizativas y los procesos de toma de decisiones en el sector público.

Metodológicamente, el estudio se caracteriza como una investigación exploratoria y explicativa, de enfoque cualitativo, basada en entrevistas semiestructuradas con funcionarias públicas directamente involucradas en la gestión y el uso del sistema analizado, lo que permite captar percepciones institucionales y operativas sobre los impactos de la digitalización en el contexto organizacional.

Los resultados del estudio pretenden contribuir al campo organizacional, social y académico, enriqueciendo los debates sobre la innovación tecnológica en la administración pública y ayudando a los gestores a desarrollar competencias esenciales para hacer frente al escenario digital.

Es necesario examinar cómo la transformación digital ha influido en el servicio público, además de verificar en qué medida se ha empleado eficazmente para promover la reestructuración del escenario organizacional y la transformación de la fuerza laboral. Este análisis contribuye a identificar las limitaciones y debilidades del servicio, mejorando las condiciones para el éxito de su implementación de manera integral y competente (Kretschmer & Khashabi, 2020).

Este capítulo está organizado de la siguiente manera: la siguiente sección presenta el marco teórico, abordando autores y conceptos actuales sobre la transformación digital en entornos organizativos. A continuación, se presenta la metodología, detallando los instrumentos de recopilación y análisis. La sección posterior analiza los resultados, destacando sus contribuciones sociales, organizativas y académicas. Por último, la conclusión sintetiza las principales implicaciones prácticas y propone una agenda de investigaciones futuras.

2. Fundamentos teóricos

2.1. Transformación digital en el entorno organizativo

Aunque la transformación digital se debate ampliamente en el ámbito organizativo, aún persisten incertidumbres sobre sus impactos efectivos y los resultados esperados de su implementación, especialmente en lo que respecta a los procesos internos de las organizaciones públicas (Kretschmer & Khashabi, 2020). Además, su análisis requiere un enfoque más amplio, ya que la adopción de soluciones digitales en el sector público está condicionada no solo por aspectos tecnológicos, sino también por marcos normativos, acuerdos institucionales y políticas públicas que orientan su implementación, gobernanza y mejora continua de los servicios digitales (Irani et al., 2023).
Según Madan y Ashok (2023), las tecnologías digitales forman parte de un conjunto de tecnologías

que ayudan a resolver problemas mediante un enfoque institucional híbrido. Estas tecnologías contribuyen al desarrollo de conformidad con las políticas gubernamentales actuales o que se implementen para apoyar las posibles transformaciones digitales en las organizaciones.

Madan y Ashok (2023) sostienen que los procesos de transformación digital deben planificarse e implementarse de manera estructurada, teniendo en cuenta que la adopción de nuevas tecnologías en las organizaciones no se produce de forma aislada. Según los autores, este proceso está influenciado por múltiples factores, entre los que destacan las demandas de la sociedad, la cultura organizativa y los acuerdos institucionales que orientan la actuación de las organizaciones públicas. En este sentido, la estructura analítica Tecnología-Organización-Entorno (TOE) resulta relevante, ya que permite comprender cómo los contextos tecnológico, organizacional y ambiental interactúan y condicionan la adopción y el uso de la transformación digital en el entorno administrativo.

Para Kempeneer y Heylen (2023), las posibilidades tecnológicas deben transformarse en realidad mediante mecanismos organizativos, políticos e incluso culturales. Señalan que es necesario construir un «Estado Virtual» para dar cabida no solo a Internet, sino también a otras tecnologías emergentes que se están convirtiendo en piezas clave para la actualización del entorno organizativo de forma justa, eficiente y eficaz en las organizaciones donde se implementan las tecnologías.

La transformación digital en las organizaciones gubernamentales ha sido ampliamente reconocida como un proceso inevitable y estratégico, especialmente en lo que se refiere a la reconfiguración de las prácticas de comunicación y gestión de la información en el sector público. Este movimiento ha impulsado la adopción de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), que amplían las posibilidades de ofrecer servicios públicos de forma más ágil, accesible e integrada, favoreciendo la difusión de información y la atención a las demandas de la sociedad en entornos digitales (DePaula, 2023).

Otras cuestiones organizativas del sector público también resultan relevantes en el contexto de la transformación digital, ya que implican retos asociados a la complejidad de los procesos institucionales. La administración pública debe tener en cuenta aspectos que van desde el cumplimiento de normativas y políticas específicas hasta la implementación de sistemas fiables, eficientes y jurídicamente seguros para la gestión y la prestación de servicios a la sociedad. En este sentido, es importante invertir en acciones de capacitación y soporte técnico, asegurando el uso adecuado de las tecnologías adoptadas, así como el mantenimiento continuo de los sistemas, con el fin de reducir las fallas operativas y garantizar la sostenibilidad de las iniciativas digitales (Gasco-Hernández et al., 2022; Irani et al., 2023).

Ante esto, nos damos cuenta de la importancia del papel de los gerentes y los empleados en el proceso de implementación, que es fundamental para la reconfiguración del entorno organizacional (Madan & Ashok, 2023). El trabajo realizado en la Transformación Digital abarca desde la digitalización de documentos físicos hasta las acciones que implican cambios políticos en el entorno de la alta dirección (Crusoe et al., 2024).

Los principales retos a los que se enfrentan las organizaciones en el proceso de Transformación Digital están relacionados, en gran medida, con sus propias estructuras internas, incluyendo la identidad institucional y el entorno organizativo. Estos factores influyen directamente en la capacidad de la organización para definir estrategias, desarrollar competencias gerenciales y alinear las prácticas institucionales con las demandas del contexto digital. Además, estos retos implican el desarrollo de

las competencias de la fuerza laboral, especialmente aquellas relacionadas con los conocimientos, las habilidades y las actitudes necesarias para hacer frente a los procesos de cambio tecnológico. En este sentido, destacan las dimensiones cognitivas, funcionales y emocionales de los individuos como elementos centrales para la implementación efectiva de la transformación digital (Crusoe et al., 2024). Para el avance de la Transformación Digital en una organización, se observan dos competencias organizativas esenciales: la primera es la Competencia Digital, que se refiere a la capacidad de utilizar soluciones y tecnologías digitales; sin ella, se produce un retraso en la evolución de esta transformación; y la segunda es la Competencia de Transformación Digital, que está directamente relacionada con el liderazgo y la parte activa de la TD, una competencia gerencial capaz de evaluar y conducir todo el proceso (Crusoe et al., 2024).

Seguir los cambios organizativos y observar atentamente todo el proceso facilita la identificación de los comportamientos que pueden presentar los empleados. Los autores Crusoe y Magnusson; Eklund (2024) destacan que hay dos factores que provocan retrasos o bloqueos en los avances de la TD dentro de las organizaciones, uno de ellos se denomina ignorancia estratégica, en la que el empleado, de forma consciente, no busca información para obtener ventajas o manipular situaciones, el otro factor se denomina ignorancia intencional, ya que el colaborador tiene la opción de no buscar información de forma consciente, debido a cuestiones personales o emocionales, o también se niega a tener conocimiento, por resistencia al cambio.

Sin embargo, cuando nos adentramos en los conceptos relacionados con la TD, nos encontramos con un panorama muy diverso que debe estudiarse y que aún requiere nuevos estudios para conocer nuevos enfoques. Y, en lo que respecta al sector público, se observa que este está cada vez más presente en los canales tecnológicos y las redes sociales, buscando atender mejor las demandas de los ciudadanos, la opinión pública relacionada con las iniciativas gubernamentales, la información a la sociedad relacionada con los derechos y deberes o incluso las decisiones gubernamentales en curso (Yuan et al., 2023).

La era tecnológica está marcando un nuevo formato en la sociedad y en todo lo que rodea a este nuevo mundo de tecnologías avanzadas. Al sumergirse en esta nueva reconfiguración, en relación con la esfera gubernamental, se percibe que es necesario un seguimiento cauteloso y una evaluación profunda de los riesgos debido a los altos impactos causados, ya que, al igual que las TD traen avances, también pueden traer riesgos éticos y sociales (Franganillo, 2023).

2.2. La transformación digital y el proceso administrativo electrónico (PAE)

El Gobierno del Estado de Pará, situado en la Amazonia brasileña, se ha adaptado a las nuevas tendencias de la era digital, poniendo en práctica la implementación de herramientas digitales en su conjunto de organismos que proporcionan transparencia, dinamismo, rapidez y sostenibilidad.

En el ámbito del gobierno estatal, la adopción de herramientas digitales se ha institucionalizado mediante la implementación del Sistema de Procesos Administrativos Electrónicos (PAE), que ahora orienta la tramitación de los procesos administrativos de forma totalmente digital. Esta iniciativa representó un hito en la modernización de la gestión pública, al establecer directrices formales para el uso de medios electrónicos en las actividades administrativas (Decreto Nº 2.176, 2018).

La consolidación del PAE se intensificó durante el período de la pandemia de COVID-19, cuando medidas excepcionales ampliaron el uso del teletrabajo en el sector público, lo que permitió la continuidad de las actividades administrativas mediante herramientas digitales. Este contexto aceleró la incorporación de prácticas de gestión electrónica y puso de manifiesto el papel estratégico de las herramientas digitales en la reorganización del trabajo público y en la garantía de la continuidad de los servicios gubernamentales (Decreto Nº 609, 2020).

El PAE es un sistema web que permite la creación y tramitación íntegramente digital de documentos y procesos administrativos, lo que supone un avance significativo para la gestión pública estatal. Su implementación contribuye a la optimización de los flujos administrativos, la reducción del uso de recursos físicos, el aumento de la celeridad procesal y la promoción de prácticas sostenibles, al tiempo que amplía la capacidad de atención e integración entre los órganos del Poder Ejecutivo del Estado de Pará (Abreu et al., 2022).

A continuación, se presenta un panorama referente al período de 2020 a 2025, en el que el Sistema de Procedimiento Administrativo Electrónico (PAE) pasó a ser de adopción obligatoria en el ámbito de la administración pública estatal. Este período pone de manifiesto una transformación significativa en los modelos de tramitación procesal, marcada por la sustitución progresiva de los procesos físicos por flujos íntegramente digitales. Este movimiento está en consonancia con las directrices contemporáneas de modernización administrativa, que incorporan las innovaciones tecnológicas como elemento estructurante de la reorganización institucional y la reformulación de los procesos de trabajo (Tiwari, 2024).

La figura 1 presenta datos extraídos de informes gerenciales facilitados por la Empresa de Procesamiento de Datos del Estado (PRODEPA) y por el propio sistema, lo que pone de manifiesto la relación directa entre la adopción del PAE y el avance de la transformación digital en el estado de Pará durante el período analizado. Los datos demuestran la sustitución progresiva de los métodos tradicionales de tramitación por flujos digitales, lo que pone de manifiesto cambios estructurales en los modos de gestión y funcionamiento administrativo del sector público.

Figura 1. Evolución de procesos físicos para electrónico en el sistema PAE.



Fuente: Informaciones extraídas del sistema PAE en 14/10/2025. Datos sujetos a alteraciones diarias.

La transformación digital se hace evidente en la percepción del predominio de los procesos electrónicos, ya que la mayoría de los procesos registrados en el período estudiado fueron electrónicos. El total aquí de 2020 a octubre de 2025 muestra una cantidad de 8.713.065 procesos, lo que contrasta con los 523.790 procesos físicos registrados en el mismo período, lo que confirma que el entorno digital se ha consolidado y estandarizado la fuerza de trabajo a través del sistema digital.

La inversión de las curvas de tendencia se demuestra con la evolución clara y concreta del uso de la TD en los organismos estatales. El crecimiento digital presenta curvas ascendentes y en 2020 por debajo de 1 millón hasta alcanzar un volumen de 1,44 millones en 2025, teniendo en cuenta también que en años anteriores se produjeron picos considerables que llegaron a aproximadamente 2 millones de procesos. En consecuencia, se produjo un descenso continuo de los procesos físicos, que pasaron de 193 000 procesos en 2020 a un volumen de 15 000 procesos en 2025.

Los datos ilustrados en los gráficos muestran de forma objetiva la evolución que el PAE ha promovido en el estado de Pará: la transformación digital, literalmente, en acción. El proceso implicó una migración masiva de documentos y nuevos flujos de trabajo del papel al formato electrónico, lo que convirtió el método digital en el estándar y casi exclusivo. Además, el enfoque innovador es la base para el proceso de implementación de la TD, reevalúa y reformula una institución (Tiwari, 2024).

3. Metodología utilizada

Este estudio se desarrolló con el objetivo de analizar los efectos de la TD en la reconfiguración de la fuerza laboral y en el entorno organizacional de la administración pública. Para ello, se adoptó un enfoque cualitativo, de naturaleza exploratoria y explicativa. La caracterización cualitativa constituye, por lo tanto, este estudio busca comprender los significados y percepciones de los funcionarios públicos en relación con los efectos de la TD en el ámbito organizacional. La naturaleza cualitativa permite al investigador seguir un camino inductivo, con técnicas de entrevistas, observación y análisis documental, pudiendo interpretar los significados y las percepciones del objeto de estudio (Gil & Reis Neto, 2021; Gil, 2025).

La naturaleza exploratoria se justifica por la búsqueda de los efectos que la TD ha tenido en la reconfiguración de la fuerza de trabajo, así como en el escenario organizacional de la Administración Pública. Para Vergara (2016), las investigaciones exploratorias son más adecuadas cuando el fenómeno estudiado necesita una profundización consolidada, lo que permitirá construir una mejor comprensión del tema.

Por su parte, la naturaleza explicativa tiene como objetivo identificar los hechos, las relaciones y los mecanismos asociados a la TD que influyeron en la reconfiguración del escenario organizacional, así como el impacto de estos cambios en la rutina administrativa. Se entiende por investigaciones explicativas aquellas cuyo objetivo central consiste en identificar los factores que contribuyen a la ocurrencia de un determinado fenómeno (Gil, 2002).

La recopilación de datos se realizó mediante entrevistas semiestructuradas, debido a la flexibilidad en la conducción del diálogo y a la combinación de preguntas previamente definidas, lo que resulta

adecuado para estudios exploratorios, en los que se busca comprender los fenómenos desde el punto de vista de los sujetos involucrados (Gil, 2002).

El guion de las entrevistas se ajustó al marco teórico de la investigación, contemplando cuestiones relacionadas con el uso del PAE, así como los retos relacionados con la TD, las competencias exigidas y las estrategias de adaptación organizativa. Esta estructura permitió vincular los datos empíricos con los conceptos teóricos adoptados.

Las entrevistas se realizaron de forma individualizada y virtual, a través de la plataforma Google Meet, con el consentimiento de las entrevistadas, y se grabaron y transcribieron posteriormente para su análisis. La transcripción se realizó mediante la herramienta Tactiq, una aplicación de transcripción automática de audio, generalmente utilizada en el análisis de datos cualitativos por emplear el reconocimiento automático del habla.

En cuanto al muestreo, se adoptó el muestreo no probabilístico por conveniencia, ampliamente utilizado en investigaciones cualitativas cuando los participantes son seleccionados por su relevancia para el fenómeno estudiado y su facilidad de acceso (Gilzar et al., 2022). La técnica también se utiliza en investigaciones exploratorias, en las que la precisión estadística no es el objetivo principal y los entrevistados representan adecuadamente características compatibles con el universo de la investigación (Gil, 2008).

El reducido número de participantes no compromete la validez analítica de la investigación, ya que se trata de un estudio cualitativo de naturaleza exploratoria y explicativa, cuyo enfoque se centra en la profundidad y la diversidad de perspectivas, y no en la generalización estadística.

En cuanto al perfil de las entrevistadas, también se consideró la adecuación del perfil al objeto de estudio, ya que ambas tienen experiencias distintas y complementarias, ya que representan perspectivas diferentes, siendo operativas y estratégicas en el uso y la gestión del PAE, además de haber participado directamente en el proceso de implementación del sistema en los órganos, por lo que esta muestra refleja el ideal perseguido en este estudio.

La entrevistada 01 es directora de Gestión Logística de la Secretaría de Planificación y Administración, con más de una década de experiencia en el sistema PAE, y es responsable del seguimiento y el soporte técnico del sistema en 87 organismos estatales. Su posición institucional le permite comprender aspectos relacionados con la implementación, la gestión y los retos estructurales de la TD en el ámbito del Poder Ejecutivo Estatal, lo que representa la perspectiva estratégica en la actuación del PAE.

La entrevistada 02 es funcionaria de la Secretaría de Salud (SESPA), donde desempeña el cargo de gestora del PAE y es usuaria habitual del sistema. Desempeña actividades en el sector de protocolo, atendiendo a regionales, hospitales y unidades descentralizadas, lo que representa la perspectiva operativa de la gestión pública y los impactos prácticos de la digitalización en el trabajo cotidiano.
El análisis de los datos se realizó basándose en el análisis de contenido, en la modalidad temática, según Bardin (2011), comprendiendo las etapas de preanálisis, exploración del material y tratamiento de los resultados. Inicialmente, se procedió a una lectura fluida de las transcripciones de las entrevistas con el objetivo de familiarizarse con el corpus e identificar unidades de significado.

A continuación, los datos se organizaron en ejes temáticos orientados por los objetivos específicos de la investigación, a partir de los cuales surgieron categorías analíticas relacionadas con los retos, las competencias exigidas, las estrategias de adaptación y los efectos de la TD en el contexto organizativo. Posteriormente, se llevó a cabo la interpretación de los resultados, buscando comprender las convergencias y divergencias entre las perspectivas estratégicas y operativas para identificar cómo se materializa la TD tanto en la planificación institucional como en la rutina administrativa de los organismos públicos.

4. Resultados principales

Tal y como se describe en la metodología, el análisis se estructuró en torno a tres ejes temáticos, a saber: (i) competencias y capacitación, así como los retos en la implementación de la TD; (ii) beneficios y puntos críticos de la transformación digital; y (iii) la TD como impulsora de la reestructuración organizativa y la reconfiguración de la fuerza laboral. A continuación, se presentan los resultados por eje.

4.1. Competencias y capacitación, así como los retos en la implementación de la TD

Inicialmente, los retos identificados en los datos de las entrevistas incluyen la disparidad en la capacidad de adaptación entre los diferentes organismos, la resistencia al cambio por parte de algunos funcionarios y las limitaciones culturales, estructurales y tecnológicas, tal y como identifican Irani et al. (2023), por lo que se observa que:

La entrevistada 01 percibe que "hubo mucha resistencia al principio (2018 a 2020) debido a la aversión a la transformación digital y a cuestiones culturales", lo que provocó aversión al uso de la herramienta y, en consecuencia, a la TD en el entorno organizativo. La resistencia cultural es un desafío previsto en la literatura, por lo que es necesario invertir en la inclusión de la cultura de la innovación en las organizaciones gubernamentales. En este caso, la superación de la resistencia vino con la obligatoriedad impulsada por el decreto de 2018 y, sobre todo, por la necesidad de mantener el trabajo a distancia debido a la pandemia de covid-19. Según lo expresado por la entrevistada 01, al referirse a dicha obligatoriedad: "el Decreto hizo que la responsabilidad del análisis y el ingreso diario en la caja de trabajo fuera personal e intransferible".

Aunque las entrevistadas no hablan directamente de "competencias digitales", en la entrevista 01 se observa una mención sobre la "falta de profesionales especializados" que pudieran ayudar a la organización en materia de políticas y legislación vigentes para la formación de los funcionarios en la nueva herramienta, tal y como se menciona: "Un equipo más grande, con especialidades como archiveros, especialistas en datos y TI, sería muy beneficioso". Por lo tanto, se observa que la competencia de transformación digital, que está directamente relacionada con el liderazgo y la parte activa de la TD (Crusoe et al., 2024), no estaba consolidada durante la implementación de la herramienta, siendo esta una competencia gerencial necesaria para conducir el proceso.

Sin embargo, en la entrevista 02, se observa que hubo capacitación, cuando se refiere a los cursos y materiales disponibles como apoyo para garantizar la capacitación de los usuarios, y señala que: "Esta capacitación incluyó formación a distancia durante el período de la pandemia, lo que ayudó a abarcar a nuevos funcionarios y cambios en la gestión". La realización de cursos de formación para capacitar a los usuarios, ofreciendo apoyo y garantizando un mantenimiento de alta calidad para evitar fallos e incidentes, es necesaria para la implementación de un sistema fiable, eficaz y seguro tanto para la gestión como para los usuarios (Gasco-Hernández et al., 2022; Irani et al., 2023).
Por lo tanto, se concluye que hubo percepciones distintas en los niveles estratégico y operativo en cuanto a la existencia de orientación institucional relacionada con la capacitación digital. Esta divergencia revela la asimetría en la institucionalización de la TD en los organismos, en los que las prácticas operativas avanzan de manera más eficaz que las prácticas estratégicas, mediante la consolidación de políticas y orientaciones en materia de TD, es decir, se percibe que la TD se ha llevado a cabo de forma predominantemente instrumental, lo que exige una mayor atención entre la planificación, la normalización y la comunicación institucional, competencia de transformación digital necesaria a nivel estratégico de las organizaciones.

4.2. Beneficios y puntos críticos de la transformación digital

A partir de los datos obtenidos, se observa que el PAE se ha convertido en la principal herramienta de TD en los organismos de la administración pública del Estado de Pará desde su implementación en el año 2018, al permitir la creación y tramitación de documentos de forma 100 % electrónica, estableciéndose como una herramienta indispensable para las actividades rutinarias, corroborando en el entorno organizacional, además de convertirse en un pilar estratégico para la TD de la administración pública (Kretschmer & Khashabi, 2020).

En este contexto, se percibe, de forma recurrente, entre las declaraciones de acuerdo de las entrevistadas, que el PAE ha generado beneficios, ya que la herramienta ha permitido aumentar la transparencia pública y ha reforzado los principios de sostenibilidad, corroborando la eficiencia y la innovación en la administración pública.

La entrevistada 01 afirma que: "el sistema proporciona mayor agilidad, transparencia, economía y rapidez" cuando se refiere al flujo procesal, mientras que la entrevistada 02 afirma que: el PAE "El flujo, la rapidez de los procesos, la transparencia, el ahorro de papel y la sostenibilidad fueron las mayores ganancias que obtuvo la gestión". Por lo tanto, los resultados corroboran los argumentos de Medina Alves et al. (2025) y Abreu et al., 2022 sobre la formulación de estrategias institucionales orientadas a la transparencia, la eficacia y la eficiencia en el servicio público.

También se observa que la implementación de la TD cumple la función de un sistema legalmente seguro para la gestión y los ciudadanos, principalmente al reforzar valores públicos como la integridad, la trazabilidad y la responsabilidad medioambiental, que son elementos discutidos por Gasco-Hernández et al. (2022). Ambas entrevistadas coinciden en destacar que la TD, materializada por el PAE, ha aumentado significativamente la fiabilidad y la rapidez administrativa. Elementos como la reducción del papel, la eliminación del transporte físico de documentos y la tramitación instantánea fueron fundamentales en sus discursos.

Estos informes confirman la literatura que asocia la TD con la optimización de procesos y la reducción de los cuellos de botella burocráticos (Kretschmer & Khashabi, 2020; Madan & Ashok, 2023). Por lo tanto, el PAE no solo digitaliza documentos, sino que cambia toda la lógica de circulación de la información dentro de la administración pública. Las entrevistadas reconocen que el PAE no solo ha cambiado los instrumentos, sino la propia organización del trabajo. La entrevistada 02 afirma que el sistema «ha supuesto una carga adicional para el trabajo» y que permite a los funcionarios conciliar mejor la vida personal y profesional, ya que el flujo operativo se ha vuelto más manejable.

4.3. TD como impulsora de la reestructuración organizativa y la reconfiguración de la fuerza laboral

El análisis de los datos pone de manifiesto que la TD ha desempeñado un papel fundamental en la reestructuración organizativa de la administración pública, al promover la redefinición de los procesos administrativos y la racionalización de las rutinas de trabajo, tal y como destaca la entrevistada 01, quien afirma que "la transformación permitió el teletrabajo/trabajo a distancia y garantizó que el Gobierno del Estado no se detuviera durante la pandemia", lo que corrobora las afirmaciones de la entrevistada 02, quien relata que el trabajo se volvió gestionable y a distancia tras la implementación del PAE:

> Hoy en día, todo fluye perfectamente y con rapidez. La recepción de procesos en formato PDF por correo electrónico ha facilitado mucho las cosas, ya que alrededor del 90 % de los documentos se reciben en este formato. Los demás sectores pueden realizar un seguimiento de sus procesos, ganar rapidez y exigir plazos de respuesta, lo que mejora considerablemente el flujo de trabajo.

Además de los beneficios operativos, los hallazgos sugieren que la adopción del PAE modificó las rutinas de trabajo, ampliando la autonomía de los funcionarios y reduciendo la dependencia de la circulación física de documentos.

La digitalización de los procedimientos contribuyó a la reducción de las etapas burocráticas, agilizando e integrando los flujos, además de alterar significativamente la lógica de circulación de la información en el entorno organizacional. Con ello, la organización pública abre las puertas al mundo moderno, avanzando en sus TIC, que facilitan la difusión de información y servicios (DePaula, 2023).

En este contexto, se observa que la estandarización de los procesos administrativos, junto con el uso de sistemas digitales, ha favorecido un mayor control, trazabilidad y transparencia de las acciones institucionales. La entrevistada 02 lo menciona cuando dice que "la transformación digital ha venido para sumar, no para eliminar personas, contribuye a la mejora del trabajo, a la salud mental y a ganar tiempo". Asimismo, la digitalización exigió el desarrollo de nuevas competencias relacionadas con el uso de sistemas electrónicos y la gestión de información en entornos digitales, evidenciando cambios en el perfil funcional requerido por la administración pública. La adopción de la TD utilizando el sistema PAE se ha consolidado como un elemento

estructurante de la gestión pública, ampliando la eficiencia organizativa y exigiendo una mayor articulación entre los diferentes órganos y sectores. Al mismo tiempo, la creciente dependencia de las herramientas digitales refuerza la necesidad de alinear las prácticas operativas y las políticas institucionales, con el fin de garantizar la sostenibilidad de los cambios implementados, teniendo en cuenta que el sector público está cada vez más inmerso en la TD para atender mejor las demandas de los ciudadanos (Yuan et al., 2023).

Al mismo tiempo, la TD tuvo un impacto significativo en la reconfiguración de la fuerza laboral, al exigir a los funcionarios públicos el desarrollo de nuevas competencias digitales y la adaptación a rutinas informatizadas. La reorganización de las tareas fomentó una mayor independencia y compromiso de los funcionarios en el uso de los sistemas, al tiempo que permitió una organización más eficiente del flujo de trabajo, haciéndolo más manejable. Esto tuvo un impacto en la vida personal de los funcionarios, según lo relatado por la entrevistada 02, cuando afirma que el uso del PAE permitió "la rapidez proporcionada permite administrar la vida profesional y la vida personal. La modernización fue una ventaja para el funcionario y el profesional".

También se observa la consolidación del PAE en la reconfiguración de la fuerza de trabajo, cuando la entrevistada 02 afirma que en la SESPA "el proceso fue muy desafiante al principio, pero ha dado como resultado que actualmente el 90 % de la documentación se reciba de forma electrónica en el PAE", lo que demuestra el uso masivo de la herramienta. Esta percepción corrobora además el pensamiento de DePaula (2023) sobre la inclusión de la TD en el entorno gubernamental, como un punto inevitable y de gran importancia, especialmente en la reconfiguración de las actividades de comunicación e información en el entorno implementado.

No obstante, la creciente dependencia de herramientas digitales también plantea desafíos relacionados con la capacitación continua de los funcionarios y la sostenibilidad tecnológica de las actividades administrativas. Así pues, estos aspectos ponen de manifiesto que la TD no se limita a la introducción de tecnologías, sino que implica un proceso continuo de aprendizaje, capacitación y redefinición de roles, consolidándose como un vector de cambio estructural en el funcionamiento de la administración pública, teniendo en cuenta que al entrar en esta nueva configuración, se requiere cautela y evaluación de los riesgos debidos a los impactos causados, ya que la TD trae avances y también riesgos éticos y sociales (Franganillo, 2023).

5. Conclusiones

La transformación digital en el sector público se revela como un proceso complejo y multifacético, que va más allá de la mera incorporación de tecnologías e implica cambios profundos en las estructuras organizativas, las prácticas de trabajo y las formas de interacción entre el Estado y la sociedad. El análisis del caso pone de manifiesto que la digitalización de los procesos administrativos ha promovido reconfiguraciones significativas en las rutinas institucionales, contribuyendo a una mayor integración, agilidad y racionalización de las actividades gubernamentales, al tiempo que impone nuevos retos de orden técnico, organizativo y cultural.

En este contexto, se observa que la consolidación de la transformación digital depende no solo de la disponibilidad de herramientas tecnológicas, sino sobre todo de la capacidad de las organizaciones públicas para desarrollar competencias institucionales, alinear estrategias y promover una cultura organizativa favorable a la innovación. La experiencia analizada demuestra que la adopción de sistemas digitales puede fortalecer la transparencia, la eficiencia y la confiabilidad de los procesos administrativos, siempre que vaya acompañada de políticas de capacitación, gobernanza y gestión del cambio.

Además, la transformación digital se revela como un fenómeno continuo, marcado por ajustes progresivos y por la necesidad de una adaptación constante a las nuevas demandas sociales e institucionales. En este sentido, la incorporación de herramientas digitales en el sector público debe entenderse como un proceso dinámico, que requiere la articulación entre las dimensiones técnicas, organizativas y humanas, así como una atención permanente a los impactos sobre el trabajo, la gestión y la prestación de servicios a la sociedad.

Por último, al poner de relieve las múltiples dimensiones que intervienen en la digitalización de la administración pública, este estudio refuerza la importancia de adoptar enfoques integrados y reflexivos para comprender los retos y las posibilidades de la transformación digital, contribuyendo al debate académico y a la mejora de las prácticas institucionales en el contexto de la gestión pública contemporánea.

Aunque los resultados evidencian avances en la eficiencia administrativa, también sugieren que la transformación digital implica cambios en las competencias, rutinas y formas de organización del trabajo, aspectos que merecen una mayor profundización en futuras investigaciones.

Como agenda para futuras investigaciones, se recomienda ampliar el perfil de los participantes, incorporando funcionarios que experimentaron directamente los procesos de adaptación y resistencia a la transformación digital. Asimismo, estudios comparativos y longitudinales podrán contribuir a comprender mejor los impactos de estos cambios en las rutinas de trabajo y en la cultura organizacional. Además, es importante profundizar en el análisis de los efectos de la digitalización sobre la calidad de los servicios ofrecidos a la sociedad, así como investigar cómo la formación continua de los funcionarios y la cultura organizativa influyen en la consolidación y sostenibilidad de las iniciativas digitales en diferentes contextos gubernamentales.

6. Referencias bibliográficas

1. Abreu, R. C. B., Negrão, I. A. M. e, & Souza, L. F. M. O. (2022). O sistema de processo administrativo eletrônico – PAE e as metodologias de aprendizagem em tempos de isolamento social causado pela pandemia da COVID-19. In *Tópicos em administração* (Vol. 41, Parte II, pp. 108–115). Editora Poisson. https://www.egpa.pa.gov.br/sites/default/files/coloqpa_livro3_final.pdf

2. Bardin, L. (2011). *Análise de conteúdo.* Edições 70.

Crusoe, J., Magnusson, J., & Eklund, J. (2024). Digital transformation decoupling: The impact of willful ignorance on public sector digital transformation. *Government Information Quarterly, 41*(3), 101958.

3. Decreto nº 609, de 16 de março de 2020. (2020). *Diário Oficial do Estado do Pará*, nº 34.143. https://drive.google.com/file/d/1Kn8WjWL8NGJqHRxbWIiEOGqMtsWaDBlC/view

4. Decreto nº 2.176, de 12 de setembro de 2018. (2018). *Diário Oficial do Estado do Pará*, nº 33.699. https://drive.google.com/file/d/1yIftcCR-48o3wO390yas-4exwV5_hHqq/view

5. Depaula, N. (2023). Political ideology and information technology in government online communication. *Government Information Quarterly, 40*(1), 101747.

6. Fischer, E., Castilhos, R. B., & Fonseca, M. J. (2014). Entrevista qualitativa na pesquisa de marketing e do consumidor: Abordagens paradigmáticas e orientações. *Revista Brasileira de Marketing, 13*(4), 67–79.

7. Franganillo, J. (2023). La inteligencia artificial generativa y su impacto en la creación de contenidos mediáticos. *methaodos.revista de ciencias sociales, 11*(2), m231102a10.

8. Gasco-Hernández, M., Gil-Garcia, J. R., & Luna-Reyes, L. F. (2022). Unpacking the role of technology, leadership, governance and collaborative capacities in inter-agency collaborations. *Government Information Quarterly, 39*(3), 101710.

9. Gil, A. C. (2002). *Como elaborar projetos de pesquisa* (4ª ed.). Atlas.

10. Gil, A. C. (2008). *Métodos e técnicas de pesquisa social* (6ª ed.). Atlas.

11. Gil, A. C. (2025). *Pesquisa qualitativa básica*. Editora Vozes.

12. Gil, A. C., & Reis Neto, A. C. dos. (2021). Survey de experiência como pesquisa qualitativa básica em administração. *Revista de Ciências da Administração, 22*(56), 125–137. https://doi.org/10.5007/2175-8077.2020.e74026

13. Golzar, J., Tajik, O., & Noor, S. (2022). Convenience sampling. International Journal of *English Language Studies, 1*, 72–77. https://doi.org/10.22034/ijels.2022.162981

14. Irani, Z., et al. (2023). The impact of legacy systems on digital transformation in European public administration: Lesson learned from a multi case analysis. *Government Information Quarterly, 40*(1), 101784. https://doi.org/10.1016/j.giq.2022.101784

15. Kretschmer, T., & Khashabi, P. (2020). Digital transformation and organization design: An integrated approach. *California Management Review, 62*(4), 86–104.

16. Madan, R., & Ashok, M. (2023). AI adoption and diffusion in public administration: A systematic literature review and future research agenda. *Government Information Quarterly, 40*(1), 101774. https://doi.org/10.1016/j.giq.2022.101774

17. Medina Alves, V. L., Imoniana, J. O., & Lopes da Silva, W. (2025). eGovernment technology digital transformation and data stewardship towards sustainable development agenda in Brazil. *Procedia Computer Science, 257*, 1032–1038. https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.03.134

18. Śliwa, P., & Krzos, G. (2023). How to teach artificial intelligence to manage our organizations? *Procedia Computer Science, 225*, 4795–4804. https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.479

19. Tiwari, S. P. (2024). Digital transformation framework for higher education: Principles, guidelines, and actionable recommendations. *International Journal of Social Science Research and Review, 7*(9), 132–139.

20. Valle, P. R. D., & Ferreira, J. D. L. (2025). Content analysis in the perspective of Bardin: Contributions and limitations for qualitative research in education. *Educação em Revista, 41,* e49377. https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.7697

21. Vergara, S. C. (2016). *Projetos e relatórios de pesquisa em administração* (16ª ed.). Atlas.

22. Yuan, Y., et al. (2023). Government digital transformation: Understanding the role of government social media. *Government Information Quarterly, 40*(1), 101775.

EL ACELERACIONISMO EFECTIVO: UNA NUEVA IDEOLOGÍA PARA LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

EFFECTIVE ACCELERATIONISM: A NEW IDEOLOGY FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Jorge Brower Beltramin[1], Aracelli Muñoz Baldi[1]

¿Cuál es el camino revolucionario? ¿Existe alguno? ¿Retirarse del mercado mundial...? ¿O acaso ir en la dirección opuesta? ¿Avanzar aún más, es decir, en el movimiento del mercado, de la descodificación y la desterritorialización? Pues quizá los flujos aún no estén lo suficientemente desterritorializados, ni lo suficientemente descodificados, desde la perspectiva de una teoría y una práctica de carácter altamente esquizofrénico. No retirarse del proceso, sino ir más allá, "acelerarlo", como lo expresó Nietzsche: en este asunto, la verdad es que aún no hemos visto nada. (Deleuze y Guattari, El Anti-Edipo)

[1]*Departamento de Publicidad e Imagen, Facultad Tecnológica de la Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile (Jorge Brower Beltramin , jorge.brower@usach.cl, Aracelli Muñoz Baldi, aracelli.munoz@usach.cl)*

https://doi.org/10.17613/2rtnz-jb506

Resumen

En este trabajo, recorremos el desarrollo ideológico del Aceleracionismo Efectivo, entendido como un correlato explicativo de la Inteligencia Artificial en sus versiones más tradicionales y radicales. En ese recorrido, reconocemos al capitalismo y al neoliberalismo como las bases ideológicas de la IA. El Aceleracionismo Efectivo aparece asociado a concepciones socio-filosóficas, relacionadas directamente con los avances en materias propias de las nuevas tecnologías. Finalmente, reflexionamos brevemente sobre el futuro de este instrumental inteligente y su impacto en los nuevos empleos, haciendo énfasis en el componente ético que debe estar presente, como dispositivo regulatorio, tanto en su producción como en su utilización, orientándose al bienestar colectivo y no sólo al lucro. Asimismo, resulta fundamental promover la colaboración entre educadores, desarrolladores tecnológicos y especialistas en ética, con el propósito de integrar la inteligencia artificial de manera crítica y responsable en los marcos educativos tradicionales, resguardando el bienestar humano y la formación integral de las nuevas generaciones.

Palabras clave: Inteligencia Artificial (IA); ideología; neoliberalismo, Aceleracionismo Efectivo.

Abstract:

In this paper, we trace the ideological development of Effective Accelerationism, understood as an explanatory correlate of Artificial Intelligence in both its more traditional and more radical forms. Along this trajectory, we identify capitalism and neoliberalism as the ideological foundations of AI. Effective Accelerationism emerges as a socio-philosophical framework directly linked to advances in emerging technologies. Finally, we briefly reflect on the future of this intelligent instrumentalization and its impact on new forms of employment, emphasizing the ethical component that must be present as a regulatory device, both in its production and in its use, so that it is oriented toward collective well-being rather than solely toward profit. Likewise, it is essential to foster collaboration among educators, technology developers, and ethics specialists, with the purpose of integrating artificial intelligence critically and responsibly within traditional educational frameworks, safeguarding human well-being and the holistic development of new generations.

Keywords: Artificial Intelligence (AI); ideology; neoliberalism; Effective Accelerationism.

1. Inteligencia Artificial: consideraciones ideológicas previas

La Inteligencia Artificial (IA) se ha introducido en nuestra vida cotidiana de manera protagónica. Desde el ámbito de la salud pública y los temas de sanidad asociados, hasta los procesos educativos en todos sus niveles, pasando por el deterioro de los empleos y en el surgimiento de nuevas ocupaciones; la IA reproduce comportamientos humanos, razonando en dimensiones cada vez más complejas, que involucran la planificación de la vida y los procesos creativos para abordar problemáticas diversas.

En este trabajo, nos preguntamos inicialmente cómo la ideología se hace presente en el desarrollo de la IA, tratando de visualizar algunas respuestas iniciales, que se van articulando en la medida en que esta nueva tecnología adquiere mayor robustez y amplía su influencia en la vida de los seres humanos. Sabemos que la ideología es un sistema de ideas o cosmovisión que delimita el comportamiento de los individuos, en torno a un proyecto de desarrollo y de vida en comunidad[Desde los trabajos de Marx y todos los filósofos que continúan la corriente marxista, hasta las investigaciones orientados desde la densidad semiótica del discurso ideológico, desarrollados por autores como U. Eco y T. van Dijk, comprendemos que toda ideología se expresa fundamentalmente, a través de una materialidad discursiva, en sus dimensiones sintácticas y semánticas, ofreciendo una cosmovisión que es compartida por una sociedad en su conjunto. Esta cosmovisión explica el mundo mediante una lengua natural, aportando en ella, creencias, valores y normas por medio de las cuales se organiza la vida en sociedad.]. Dicho contexto nos permite vincular a la IA con una visión de mundo determinada. A partir de esta afirmación, múltiples preguntas se despliegan, siendo la más relevante para nosotros, aquella que se cuestiona sobre el tipo de ideología que porta la IA y cuáles son sus directrices y objetivos.

Ciertamente, el desarrollo tecnológico, como señala Marques (2023), tiene que ver con una intención y un desarrollo político y social. Ese es el caso de la novísima Inteligencia Artificial y también el de su desarrollo histórico, a partir de la Segunda Guerra Mundial, a mediados del siglo XX.

En relación con lo expresado por Marques (2023), se advierte que la mayor parte del trabajo científico desarrollado sobre la IA corresponde a una investigación protagonizada por hombres, relegando a las mujeres a un segundo plano. Para el Institut Mines et télécom (2023), estamos en presencia de un sesgo de género que se expresa finalmente en una visión masculina del mundo

Otro aspecto ideológico a considerar, se relaciona con las desigualdades raciales. Es posible observar, en el sistema utilizado en Estados Unidos para definir las penas de prisión, un enfoque racista, puesto que las penas más severas recaen en los individuos racializados y las más leves en quienes no son racializados. Sobre este punto en particular, Ravet (2018), centra sus preocupaciones en la dimensión ética contenida en la IA.

Se puede observar entonces, que la máquina algorítmica presenta sesgos como los de género y los raciales. Los desarrolladores introducen una visión de mundo y ese diseño tecnológico es a la vez expresión de una ideología.

La Inteligencia Artificial beneficia, de este modo, relaciones de poder que, de un modo u otro, se encuentran implementadas en la sociedad, a través de las diversas performances institucionales y otras no oficiales.

Ravet (2018), advierte sobre la decisiva influencia de una ideología tecnicista que puede someter al ser humano, instalando una relación perversa y eventualmente asimétrica, que empobrece y debilita las capacidades y talentos propios de nuestra especie.

La emergencia descontrolada de la IA en las últimas décadas, pone en riesgo los oficios y el trabajo artesanal que de una u otra forma definen la identidad del ser humano. Un cambio dramático se está gestando en la relación entre el hombre y el mundo, ya que la lente algorítmica establece una lógica instrumental empobrecida, que incluso destruye la racionalidad pragmática, en la que podíamos apreciar muchos matices para la comprensión del mundo natural y cultural. Los complejos procesos hermenéuticos desarrollados en siglos de desarrollo cultural, pueden ir desapareciendo con la penetración de estas lógicas materialistas algorítmicas.

La nueva mecanización del mundo, se nos presenta como una revolución acelerada del tiempo incontenible, vinculada a dispositivos tecnológicos funcionales, para todos los ámbitos de la vida humana. Una nueva forma de esclavitud amenaza al ser humano y la IA puede ser uno de sus componentes centrales, si no mantenemos al ser humano como centro de nuestras preocupaciones y fuente de inspiración de los proyectos de futuro que de verdad contemplen una mejor calidad de vida para todos.

Así planteadas las cosas, la IA crece y evoluciona en un caldo ideológico neoliberal, que le permite optimizar los procesos de producción industrial, reduciendo las fallas que, en dichos procesos, se originan en la acción de los seres humanos. La reducción de los errores en el mundo productivo, disminuye los costos de la producción y acelera los procesos para llegar finalmente a un mercado cada vez más competitivo. La eficacia es la noción que mejor describe este proceso de producción, como elemento distintivo del modelo neoliberal. En esa línea argumentativa, Dutrisac (2017), nos dice que se ha producido una suerte de imbricación entre la Inteligencia Artificial y los valores neoliberales referidos al rendimiento, la eficacia y la productividad. Por otro lado, Bastien (2021), agrega que el desarrollo de la IA está asociado a la ideología neoliberal, al pretender aumentar la productividad y sus respectivos beneficios, prescindiendo cada vez más del ser humano.

En esta introducción reflexiva sobre la existencia de un discurso ideológico que se articula y explica a la IA, podemos adelantar con convicción que los intereses políticos y económicos de ciertos sectores del planeta se expresan nítidamente en esta novísima tecnología. La IA, efectivamente, introduce sesgos y todos estos condicionantes (género, raza, clase, entre otros), podrían agudizar problemáticas sociales ya existentes que no hemos sido capaces de superar, en favor de los grandes capitales globales que manejan la vida de todos los seres humanos.

Cualquier estructura valórica y ética puede ser distorsionada a tal punto que termine significando cuestiones contrarias a sus planteamientos iniciales. De esta forma, la reorganización valórica profunda de las sociedades, nos puede poner a corto plazo, frente a un mapa social y cultural muy distinto, para desarrollar nuestras interacciones humanas. Si se produjeran estos cambios semánticos/valóricos, es muy posible que el menú de creencias se reduzca también dramáticamente, limitando

simultáneamente la posibilidad de acciones concretas para enfrentar problemáticas de diverso tipo. Una nueva forma de totalitarismo, ahora tecnológico, se podría imponer, en donde cuestiones como la responsabilidad y la transparencia no funcionaran adecuadamente o simplemente funcionen de otra manera.

En este desarrollo tecnológico vertiginoso y desregulado, es muy importante la participación activa de los seres humanos y su conciencia, para asegurar un desarrollo ético de procesos que finalmente son valorados en su estatus material. El diálogo entre diferentes culturas sobre estos tópicos es insoslayable y seguramente constituirá uno de los pilares fundamentales de la democracia del futuro. Si los procesos tecnológicos, en los que está involucrada la IA siguen el camino de una aceleración oportunista, las comunidades humanas se verán seriamente amenazadas, en su posibilidad de avizorar un futuro en el que la vida, en toda su expresión, sea el valor central.

2. Origen del Aceleracionismo Efectivo o la explosión de la inteligencia humana

En la primera parte de este trabajo, hemos considerado algunas cuestiones que dan cuenta de las delimitaciones del tejido ideológico que lee y explica el desarrollo de la Inteligencia Artificial. De este modo, el modelo de la economía neoliberal, orientado a optimizar la producción de bienes y servicios, hace suyo el desarrollo de las nuevas tecnologías, con miras a su utilización para optimizar el funcionamiento de dicho modelo económico. Estas nuevas tecnologías se ponen al servicio del neoliberalismo como el medio por el que se puede acelerar y aumentar las ganancias y por tanto la riqueza de los grupos económicos que gobiernan el planeta.

Para ese proceso de cambio de velocidad, el movimiento intelectual que dio forma al aceleracionismo, resulta clave. Inicialmente los trabajos del filósofo británico Nick Land (2018), entendieron la aceleración del cambio tecnológico, como la forma de obtener transformaciones en la sociedad, la cultura, la economía y en la política vigentes en la actualidad (comienzos del siglo XXI). Estos trabajos, posteriormente fueron leídos, como la manera de potenciar el tecnocapital, cuestión para la cual se necesitaría una verdadera explosión de inteligencia, exigiéndola a límites aún no imaginados, maximizando sus capacidades para el desarrollo de ese tecnocapital.

De este modo, lo que hoy conocemos con Aceleracionismo Efectivo, obedece a una corriente filosófica que toma forma en la década de 1990, en un espacio de investigación que limitaba con el delirio y la ciencia ficción. Nos referimos a la Unidad de Investigación de Cultura Cibernética (CCRU) de la Universidad de Warwick, Inglaterra. En ese espacio funcionó un colectivo de investigadores jóvenes, que leían con avidez novelas de ciencia ficción ciberpunk, o escuchaban música de la cultura rave, mientras exploraban las posibilidades de las nuevas tecnologías emergentes. Dentro de esos investigadores, sobresalieron Nick Land y Sadie Plant, quienes son reconocidos como fundadores de la CCRU. El caso de Land es notable ya que es reconocido como un verdadero personaje de la ciencia ficción, en un rol de científico desquiciado que imagina mundos inexistentes.

A partir de esos trabajos de la década del 90, desarrollados por Land y recogidos en Fanged Noumena (2018), se establecen los fundamentos del aceleracionismo de derecha, también conocido como aceleracionismo ciberpunk. Allí, el capitalismo aparece como una evolución tecnocultural que avanza autopropulsada, en la que la tecnología y los mercados se potencian orientados a un crecimiento exponencial. Esa proyección exponencial, hace que el capitalismo sea un sistema económico que se encuentra en un proceso desbocado, en un escenario complejo y de autoescalada. Lo anterior dio origen a una suerte de nihilismo extático que planteaba la acción humana como irrelevante y superada por los acelerados procesos que se desarrollan a partir de la combinación del capital y la tecnología.

De este modo, los ensayos de Land influyeron en diversos ámbitos del saber. Su escritura descarnada y un tanto delirante, muy cercana a la cultura cibergótica, recrea escenarios en los que el dominio del capital, produce una catástrofe teleológica en la que el mundo maquínico se apodera del destino de la humanidad. Se trata del resultado de la inteligencia acumulativa del capital que evoluciona, sin contemplar en esa evolución, una posible autodestrucción del hombre ni del sistema tecnocapitalista.

A partir de los trabajos de Land, el Aceleracionismo Efectivo ha dado sustento teórico y respaldo intelectual, a proyectos en los que la Inteligencia Artificial y la extensión de la vida humana, a través de procesos de colonización espacial, han dispuesto de una base conceptual para hacer sus propuestas. Dicho respaldo fue heredado de las subculturas que emergieron en Silicon Valley, relacionadas principalmente con el transhumanismo y el extropianismo, que enfatizaban sus posturas, respecto al valor del progreso tecnológico.

3. Desarrollo actual del Aceleracionismo: hacia una prototecnología radical

En la actualidad, el Aceleracionismo Efectivo, conocido también como e/acc, (effective accelerationism) se puede entender como una forma de prototecnología radical, que en términos de Teigens et al. (2024), es parte de una cuarta revolución industrial. En esta etapa de la revolución industrial, el desarrollo tecnológico debe evolucionar sin restricciones de ningún tipo, con el fin de alcanzar altos niveles de rendimiento en tiempos acotados. El Aceleracionismo Efectivo (e/acc), se inspira y sustenta, fundamentalmente en la Inteligencia Artificial. Las problemáticas más urgentes que enfrenta el planeta, tales como la pobreza, la guerra y el cambio climático, pueden ser intervenidas por la IA, reduciendo sus magnitudes o pudiendo hacerlas desaparecer del todo. Los partidarios del e/acc, tienen una postura radical en este sentido y consideran que todas las políticas y normativas que regulan las novísimas tecnologías, desaceleran el desarrollo tecnológico, perdiéndose, en el tiempo presente, la posibilidad de solucionar problemáticas que aquejan hoy a la humanidad.

Los aceleracionistas apuestan por una evolución rápida de la tecnología, para asegurar la supervivencia de la raza humana. Uno de los pensadores actuales de esta corriente intelectual e ideológica, Verdon y Jezos (2023), físico y matemático canadiense, investigador en el área de la computación cuántica, sostiene que este movimiento debe dar inicio a una evolución de la conciencia, creando formas de vida para las próximas generaciones, hoy inexistentes.

A comienzos del siglo XXI, el Aceleracionismo Efectivo (e/acc), todavía era considerado como marginal, sin embargo, hoy ha ido ganando adeptos, instituciones y organizaciones, que invierten en investigación teórica y aplicada en este campo de estudio. En su momento, Silicon Valley ocupó un lugar protagónico en estas investigaciones. Hoy existe una mayor cantidad de centros de estudio dentro de empresas y compañías comerciales de carácter transnacional, que dedican tiempo y capital humano avanzado para investigar sobre el e/acc. La aceleración del progreso tecnológico, como ya adelantamos, está estrechamente vinculada al desarrollo de la IA. De este modo, han creado una nueva denominación para este tipo de inteligencia, cuyo nombre es Inteligencia Artificial General o también conocida como Inteligencia Artificial Fuerte (AGI) cuando el énfasis es ético, ideológico o político. Lo que hoy conocemos como AGI, es una postura que propicia el desarrollo y despliegue ilimitado de la IA. Para Soufi (2024), esta postura es muy controversial y ha generado controversias y polémicas en la política mundial, ya que lo que se intenta es una desregulación legal para que la intervención gubernamental sea cada vez menor en los mercados nacionales e internacionales.

El trasfondo epistemológico y teórico de la AGI, tiene que ver con términos como entropía y termodinámica, revisitados por el prestigioso físico del Massachusetts Institute of Technology (MIT), Jeremy England (2020), a propósito del origen de la vida. En síntesis, el universo promueve el aumento de la entropía/desorden, para que la vida consuma mayores cantidades de energía, modelando nuevas formas de existencia biológica y material.

Así, preocupados de dar forma a una Inteligencia Artificial Fuerte (AGI), como una forma avanzada de IA, que progrese a una mayor velocidad, no ven obstáculos morales o éticos para que las máquinas inteligentes puedan tener una inteligencia equiparable a la que tiene el ser humano. La premisa de esta corriente radical y que sienta las bases de una prototecnología para el siglo XXI, es que, si la IA es capaz de resolver problemas y planificar el futuro con asertividad, su desarrollo debiese ser ilimitado y sin restricciones.

Por ahora, el planteamiento de la AGI, se encuentra en una fase de desarrollo teórico y experimental y muchos investigadores, entre ellos, Shevlin et al. (2019), creen que la autonomía total de este tipo de IA es imposible de alcanzar. Aun así, con todas las reservas que esta novísima Inteligencia Artificial implica, magnates como Jeffrey Bezos, fundador de Amazon, han invertido millones de dólares en el desarrollo acelerado de las nuevas tecnologías, incluida, por cierto, la AGI. Comprometido también con temas como la inmortalidad humana y la colonización espacial, ya realizó su primer viaje al espacio en su propia nave, con un cohete New Shepard , desarrollado por la compañía Blue Origin del propio Bezos, efectuando un vuelo suborbital que partió desde Texas.

Al igual que Bezos, Elon Musk es otro de los magnates que se ha embarcado en la AGI. Fundador de SpaceX, diseñador de productos para Tesla, Inc. y cofundador de Neuralink y Open AI, sus intereses van desde el transporte aeroespacial, hasta la fabricación de vehículos eléctricos. Una de sus empresas orientadas a la investigación sobre Inteligencia Artificial, es Open AI. Originalmente sin fines de lucro, orienta su desarrollo a una utilización masiva de esta tecnología, al igual que sucede con Neuralink, empresa de neuro tecnología que explora la creación de interfaces entre el cerebro y el computador.

Finalmente, en la política mundial, han sido los gobiernos de Donald Trump, los que adoptan con más fuerza, los criterios y objetivos, tanto del e/acc como los de la versión más avanzada de AGI. En las elecciones presidenciales de 2024, destacadas figuras de la industria tecnológica apoyaron a Trump, desde posturas alineadas con el aceleracionismo, poniendo énfasis en la necesidad de desregulación respecto a los avances de las nuevas tecnologías, en particular en relación a la IA. Inicialmente, la presencia de Elon Musk en asuntos gubernamentales, como la auditoría de programas federales, con el fin de disminuir la supervisión regulatoria del sector tecnológico, es una prueba del empoderamiento de esta corriente de pensamiento, en el programa de gobierno actual de Trump.

Destacados empresarios del sector tecnológico suscribieron su apoyo a los proyectos desregulatorios. Entre ellos, Aaron Levie cofundador y director ejecutivo de la empresa de nube Box, expresó su interés en que se elimine gran parte del aparato burocrático y la excesiva regulación, en relación a la industria tecnológica. Otro de los inversores importantes a nivel mundial, ligado a la industria tecnológica, Mark Pincus, accionista de Facebook y fundador de Zynga, se refirió explícitamente al e/acc y la consecuente necesidad de flexibilización de las regulaciones en estas materias, para realizar con mayor libertad, fusiones de empresas del rubro, así como la adquisición de las mismas.

Por último y, solo a modo de alcance, en la Conferencia de Seguridad efectuada este año en Múnich, el Vicepresidente de Estados Unidos, J.D. Vance, cuestionó directamente el manual de regulación tecnológica europeo. En esa oportunidad, criticó las políticas de la Unión Europea, señalando que censuraban y sobreregulaban la circulación de la información global. Definitivamente, la nación más poderosa del planeta, busca despejar el camino, para desarrollar una carrera vertiginosa en el campo de las novísimas tecnologías, cuestión claramente peligrosa para la estabilidad mundial.

El discurso de Vance en Múnich se produjo apenas unos días después de que declarara a Europa que sus leyes tecnológicas estaban frenando el desarrollo de la inteligencia artificial y sofocando la innovación en la Cumbre de Acción sobre IA de París. En esa oportunidad, el vicepresidente de Estados Unidos instó a los países europeos a abrazar "la nueva frontera de la IA con optimismo y no con temor" (Caulcutt, 2025) y a adoptar un enfoque más flexible en materia de regulación tecnológica, advirtiendo que marcos restrictivos podrían obstaculizar el avance del sector "JD Vance warns Europe to go easy on tech regulation in major AI speech", (Caulcutt, 2025).

4. Aceleracionismo Efectivo: impacto en la pérdida del empleo

A continuación, presentamos dos casos donde el Aceleracionismo Efectivo ha incidido en el desplazamiento laboral, por medio de la automatización y el tecnocapitalismo.

4.1. Caso 1: Amazon y la automatización total del trabajo

La implementación de sistemas de IA y robótica en centros logísticos de Amazon ha mostrado al mundo cómo la inteligencia artificial acelera la productividad y reduce la intervención humana, sin

embargo, ha profundizado desigualdades laborales. Este sistema es una manifestación de la "eficacia neoliberal" que subordina la vida y el trabajo a la lógica de rendimiento y control algorítmico.

Amazon ha desarrollado un modelo de automatización integral basado en robots, sistemas de IA para logística y control conductual de sus trabajadores. Estos sistemas no solo gestionan inventarios, sino que monitorizan y evalúan el rendimiento humano en tiempo real (Delfanti, 2021, p. 64). La compañía estadounidense representa la nueva fábrica digital, donde el algoritmo cumple la función disciplinaria que antes ejercía el supervisor industrial, donde se acrecienta el trabajo acelerado, el poder algorítmico y la "Nueva Fábrica Global".

Conectados con este modelo de "economías del algoritmo", también existen plataformas gig, que son mercados digitales que conectan a trabajadores independientes (freelancers) con clientes para realizar tareas o proyectos a corto plazo (gigs), ofreciendo flexibilidad y trabajos esporádicos a cambio de servicios. Empresas como Rappi, Uber o Didi operan bajo este sistema, han consolidado una forma híbrida de empleo donde los algoritmos asignan tareas, regulan precios y evalúan el rendimiento sin mediación humana. Este modelo ha sido descrito como una "nueva servidumbre digital" (Couldry & Mejías, 2019), en la que el trabajador opera dentro de una red de control opaca y asimétrica, una forma que puede ser considerada como neoesclavitud.

Este fenómeno expresa el núcleo del Aceleracionismo Efectivo (e/acc), la creencia en la eficiencia tecnológica ilimitada como principio rector de la economía y la sociedad (Land, 2018). La automatización no solo incrementa la productividad, sino que redefine el valor del trabajo y la condición misma del sujeto laboral.

La cultura empresarial que promueve la innovación constante, la disrupción acelerada y la eliminación de regulaciones, declarado por compañías estadounidense como Meta, Google X o Palantir, expresan de alguna manera la utopía aceleracionista de crecimiento exponencial, donde la velocidad y el riesgo sustituyen la deliberación democrática. Esta "teología de la innovación" reproduce un capitalismo autopropulsado y autolegitimado, descrito por Land (2018) y Guattari (2004).

En el entorno tecnológico dominante, especialmente en ecosistemas como Silicon Valley, el modelo de la startup eterna suplanta las formas institucionales tradicionales (universidades, gobiernos, medios) como motor de innovación continua e incesante disruptividad. Este paradigma empresarial reside en la aceleración perpetua: la innovación no tiene pausa, el riesgo es permanente y el fracaso temporal se ve como un escalón evolutivo.

A menudo, los fundadores y principales inversores asociados al Aceleracionismo Efectivo (e/acc) asumen una misión de carácter casi misionario, sustentada en una narrativa utópica de transformación total que concibe el avance tecnológico como un imperativo moral. Esta visión no sólo legitima la inversión desmedida en desarrollos tecnológicos de alto riesgo, sino que también promueve un descuido deliberado de los marcos regulatorios, presentados como obstáculos al progreso. En este sentido, reportes recientes describen al e/acc como "Un movimiento pro-tecnología que está ganando fuerza en Silicon Valley y que quiere acelerar el progreso tecnológico lo más rápido posible sin regulación." (Ben's Bites, 2024). La adopción pública del término "e/acc" por parte de inversores de alto perfil en Silicon Valley evidencia así una adhesión explícita a una agenda de progreso tecnológico extremo, en la que la velocidad y la expansión del capital tecnocientífico sustituyen la deliberación ética y el control democrático.

5. Aceleracionismo Efectivo: tensiones y oportunidades emergentes para la creación de nuevos empleos

En contraposición a lo anterior, presentamos dos casos donde el Aceleracionismo Efectivo ha incidido en el surgimiento de nuevas ocupaciones.

Si bien gran parte de los análisis críticos sobre el Aceleracionismo Efectivo (e/acc) enfatizan sus efectos negativos en la precarización laboral y el desplazamiento del trabajo humano, resulta analíticamente pertinente reconocer que este paradigma también ha contribuido a la emergencia de nuevas ocupaciones y campos profesionales, particularmente en contextos altamente tecnologizados. Estas nuevas formas de empleo no neutralizan las tensiones éticas y sociales previamente descritas, pero permiten comprender la complejidad del fenómeno más allá de una lógica exclusivamente destructiva.

5.1. Caso 1: Nuevas profesiones en el ecosistema de la inteligencia artificial avanzada

La aceleración del desarrollo tecnológico impulsada por el e/acc ha generado una demanda creciente de nuevos perfiles profesionales vinculados al diseño, supervisión y gobernanza de sistemas de inteligencia artificial. Entre ellos destacan ocupaciones como AI ethicist, prompt engineer, AI policy advisor, data curator y human-AI interaction designer. Estas funciones emergen como respuesta a la complejidad técnica y social de los sistemas algorítmicos, particularmente en escenarios donde la IA comienza a intervenir en procesos decisionales críticos.

Paradójicamente, incluso dentro de un marco ideológico orientado a la desregulación, la expansión acelerada de la IA ha hecho visible la necesidad de mediaciones humanas especializadas, capaces de evaluar riesgos, sesgos y consecuencias sociales de estos sistemas (Cortina, 2024; Kellner, 2021). En este sentido, el e/a

cc no elimina completamente el trabajo humano, sino que lo reconfigura hacia labores de alto nivel cognitivo, ético y estratégico, aunque de manera desigual y concentrada en ciertos territorios y élites profesionales.

5.2. Caso 2: Industrias creativas, tecnocapitalismo y nuevos roles híbridos

Un segundo ámbito donde se observa un impacto positivo relativo del e/acc es en la transformación de las industrias creativas, particularmente en el diseño, la comunicación y la producción cultural. La integración acelerada de herramientas de IA generativa ha dado lugar a roles híbridos, como directores creativos algorítmicos, diseñadores de experiencias humano-máquina y curadores de contenido generado por IA.

En estos contextos, la aceleración tecnológica ha permitido la creación de nuevas formas de trabajo creativo ampliado, donde la IA funciona como un dispositivo de co-producción que expande las capacidades expresivas humanas. No obstante, tal como advierten autores críticos del tecnocapitalismo, estos nuevos empleos se desarrollan bajo una lógica de rendimiento intensificado y competencia global, lo que obliga a repensar sus condiciones de sostenibilidad, autoría y reconocimiento simbólico (Guattari, 2004; Brower, 2023).

Así, los empleos emergentes asociados al e/acc revelan una ambivalencia estructural: por una parte, abren posibilidades inéditas de innovación profesional; por otra, reproducen las asimetrías propias del capitalismo mundial integrado, en el que la aceleración se convierte en norma y el tiempo humano en recurso expendable.

6. Para concluir: algunas cuestiones cruciales para promover el valor de lo humano

La exposición realizada en este trabajo, nos conduce irremediablemente al planteamiento de cuestiones de fondo, en lo que tiene que ver con el vertiginoso desarrollo de las máquinas inteligentes.

En primer término, observamos cómo los modelos económicos del capitalismo, desde sus versiones más conservadoras, hasta sus expresiones más radicales representadas por el neoliberalismo, promueven un desarrollo libre de regulaciones gubernamentales, en el campo de la IA. La optimización de costos y el reemplazo del recurso laboral humano, en un mundo global, son cuestiones que se deben considerar, junto a la rapidez con la que se debe llegar a los mercados internacionales.

De allí la importancia de la desregulación de dichos mercados, por parte de las corporaciones financieras y de los gobiernos nacionales. A lo que se apunta, es a suprimir cualquier techo o limitante normativo, para el desarrollo de las nuevas tecnologías.

De este modo, el e/acc, apunta teleológicamente a fortalecer el modelo capitalista en su versión más neoliberal, exigiendo al racionalismo instrumental, más allá de cualquier consideración pragmática razonable y sostenible en el tiempo. Esta racionalidad, da cuenta de una forma de pensamiento que pone el énfasis en un utilitarismo que antepone la consecución de un fin, a cualquier consideración humana o social.

El e/acc en el campo de la IA y, en particular, en el de la Inteligencia Artificial Fuerte (AGI) asume, como hemos dicho, una postura radical. El espíritu fundacional de una prototecnología para el futuro de la humanidad, resulta ser una apuesta riesgosa e incierta. La desregulación normativa que se pretende, cuestiona entre otras cosas, el desarrollo de los sistemas democráticos de las sociedades libres. Unos pocos deciden el destino de miles de millones de seres humanos que habitan el planeta, haciendo prevalecer sus criterios sobre el progreso y crecimiento que las naciones pueden planificar para el presente y futuro en un diálogo global.

El bienestar y la calidad de vida, en las que el ser humano debiese ser protagonista, en contextos colectivos, no aparece explicitado con claridad, dentro de esta carrera sin control, dirigida por mag-

nates egocéntricos que buscan obsesivamente, como apunta Torres (2023), su inmortalidad y la posibilidad de llevar la vida a colonias espaciales, en las que sea posible la existencia, cuando el planeta tierra se encuentre fatigado y destruido en relación a sus equilibrios naturales.

La AGI, contiene premisas e hipótesis que limitan con el ensueño de mundos alienados y delirantes que, hasta aquí, solo parecen favorecer, como señala Guattari (2004), a un Capitalismo Mundial Integrado (CMI), que cada día, exige flujos interaccionales más rápidos y oportunistas en el escenario global de los mercados. Como hemos dicho (Brower, 2023), a propósito de este CMI, su discurso y efecto pragmático se ha extendido a los diferentes ámbitos de la vida humana, resemantizando continuamente la geografía económica, política y cultural del mundo. Se trata de un tejido articulatorio simbólico, que ofrece un nomos cambiante y por tanto incierto, que posibilita el constante desborde de cualquier modus vivendi. Se trata, en el fondo, de un mismo y diferente capitalismo, al que le interesa esencialmente su carácter planetario e integrado.

En esta mise en scène, las consideraciones filosóficas y éticas en particular, respecto a las novísimas tecnologías, parecen no tener relevancia, a menos de que permitan robustecer la argumentación favorable para su desarrollo. La matriz algorítmica de la inteligencia artificial, padece de un vaciamiento absoluto de lo humano y de lo que los entornos culturales podrían aportarles para un desarrollo que vincule creativamente la máquina con el hombre, siendo este último, su referente esencial.

Se hace urgente pues, el desarrollo de una cosmovisión, en la que el ser humano ocupe un lugar protagónico desde el cual pensar el futuro, con sociedades más colaborativas y, por tanto, más solidarias. En el pasado, han sido consensos y encuentros, los que nos han permitido avanzar como civilización. Como hemos señalado en otro espacio reflexivo (Brower 2024), orientar nuestros sistemas políticos, hacia la construcción de democracias directas y participativas, significa incorporar a toda la sociedad en las decisiones sobre cómo deseamos vivir el presente y el futuro, logrando con ello, pactos sociales genuinos, logrados desde las comunidades de vida reales.
En ese contexto político y valórico, la IA podría funcionar para el desarrollo a una escala más humana, cooperando en la resolución de múltiples problemáticas que nos aquejan, sin olvidar la participación ciudadana y el distanciamiento crítico necesario para ponderar las soluciones propuestas. Cortina (2024), nos aporta en este sentido, que estas nuevas dinámicas en las que podríamos dialogar con las nuevas tecnologías, preservan nuestra libertad humana. La matriz algorítmica de la IA, se pone de esta forma, al servicio del ser humano, en un contexto democrático participativo. Esto implica el funcionamiento de una democracia más horizontal, en donde las regulaciones normativas para las tecnologías recientes, también sean co-diseñadas por la ciudadanía. El desarrollo de una inteligencia artificial acelerada, elimina la posibilidad de una participación amplia en la toma de decisiones. La ejecución algorítmica de la máquina inteligente solo favorece, en última instancia, a quienes gobiernan económicamente el mundo.

Como es posible observar, la democracia es amenazada desde diferentes lugares. No se trata tan solo de los populismos de derecha o izquierda y la corrupción asociada a la clase política sino que, desde el flanco tecnológico, las máquinas inteligentes que obedecen a intereses ideológicos, podrían eventualmente eliminar el ejercicio democrático e instalar regímenes totalitarios que representen los objetivos del tecnocapitalismo.

Finalmente podemos agregar que el momento de desarrollo en el que nos encontramos, nos hace mirar con cierta nostalgia la Revolución Industrial de mediados del siglo XIX. La máquina a vapor y la electricidad, entre otros adelantos que posibilitaron el conocimiento de mundos geográficamente lejanos y con ello, el acceso a diferentes culturas, hoy aparece como una imagen estática con contenidos básicos o elementales.

El presente del desarrollo tecnológico nos pone en un estado de ansiedad sobre un presente y un futuro que, en ocasiones, no podemos ni imaginar. El mercado planetario y su movimiento se erigen como la variable que da cuenta del desarrollo humano. El sueño delirante y perverso con máquinas vivientes y avatares que nos reemplazan, nos llevan a pensar en formas de neoesclavitud, en las que solo somos una especie que se extingue. Solo la pesadilla y el miedo latente a ser destruidos por estas máquinas inteligentes ponen alguna pausa a ese delirio tecnocapitalista.

7. Referencias bibliográficas

1. Bastien, L. (2021). *How AI improves productivity in business*. LeBigData. https://www.lebigdata.fr/ia-ameliore-productivite-entreprise

2. Ben's Bites. (2024, May 11). *Inside e/acc, the new religion in Silicon Valley.* https://web.archive.org/web/20240511021217/https://bensbites.beehiiv.com/p/inside-eacc-new-religion-silicon-valley

3. Brower, J. (2023). *El capitalismo mundial integrado de Félix Guattari*. El Quinto Poder. https://www.elquintopoder.cl/sociedad/el-capitalismo-mundial-integrado-de-felix-guattari/

4. Brower Beltramin, J. (2024). *IA: Una propuesta de democracia directa*. Le Monde diplomatique. https://www.lemondediplomatique.cl/2024/06/una-propuesta-de-democracia-directa.html

5. Caulcutt, C. (2025, February 11). JD Vance warns Europe to go easy on tech regulation in major AI speech. *Politico*. https://www.politico.eu/article/vp-jd-vance-calls-europe-row-back-tech-regulation-ai-action-summit/

6. Couldry, N., & Mejías, U. A. (2019). *The costs of connection: How data is colonizing human life and appropriating it for capitalism*. Stanford University Press.

7. Cortina, A. (2024). *¿Ética o ideología de la inteligencia artificial? El eclipse de la razón comunicativa en una sociedad tecnologizada*. Paidós.

8. Delfanti, A. (2021). T*he warehouse: Workers and robots at Amazon*. Pluto Press. https://doi.org/10.2307/j.ctv1ghv4m8

9. Dutrisac, R. (2017, November 25). Les menaces technicistes de l'intelligence artificielle. *Le Devoir.* https://www.ledevoir.com/societe/le-devoir-de-philo-histoire/513927/les-menaces-technicistes-de-l-intelligence-artificielle

10. England, J. (2020). *Every life is on fire: How thermodynamics explains the origins of living things*. Basic Books.

11. Feenberg, A. (1991). *Critical theory of technology*. Oxford University Press.

12. Guattari, F. (2004). P*lan sobre el planeta: Capitalismo mundial integrado y revoluciones moleculares*. Traficantes de Sueños.

13. Institut Mines-Télécom Business School. (2023). *La place des femmes dans l'IA: Vers une maîtrise de l'IA égalitaire*. https://www.imt-bs.eu/la-place-des-femmes-dans-lia-vers-une-maitrise-de-lia-egalitaire/

14. Kellner, D. (2021). *Technology and democracy: Toward a critical theory of digital technologies*. Springer VS.

15. Land, N. (2018). F*anged noumena: Collected writings 1987–2007*. Urbanomic/Sequence Press.

16. Levitsky, S., & Ziblatt, D. (2018). *Cómo mueren las democracias*. Ariel.

17. Marques, J. (2023). L'intelligence artificielle au prisme d'une approche intersectionnelle: Entre négociations et définitions. *Communication, technologies et développement*. https://journals.openedition.org/ctd/7109

18. Ravet, J.-C. (2018). Éthique et intelligence artificielle. *Relations, 795,* 5–5. https://www.erudit.org/en/journals/rel/2018-n795-rel03467/87785ac.pdf

19. Soufi, D. (2024, January 6). "Accelerate or die," the controversial ideology that proposes the unlimited advance of artificial intelligence. *El País*.

20. Shevlin, H., Vold, K., Crosby, M., & Halina, M. (2019). The limits of machine intelligence: Despite progress in machine intelligence, artificial general intelligence is still a major challenge. *EMBO Reports, 20*(10), e49177. https://doi.org/10.15252/embr.201949177

21. Teigens, V., Skalfist, P., & Mikelsten, D. (2024). *Inteligencia artificial: La cuarta revolución industrial*. Cambridge Stanford Books.

22. Torres, É. P. (2023, December 14). Effective accelerationism and the pursuit of cosmic utopia. *Truthdig*. https://www.truthdig.com/articles/effective-accelerationism-and-the-pursuit-of-cosmic-utopia/

23. Verdon, G., & Jezos, B. (2023, December 29). E/acc movement, physics, computation & AGI [Audio podcast episode]. In L. Fridman (Host), *Lex Fridman Podcast* (No. 407).

FACULTAD
TECNOLÓGICA

Obra completa:

Tecnología y Sociedad "Tecnologías emergentes y trabajo del futuro"