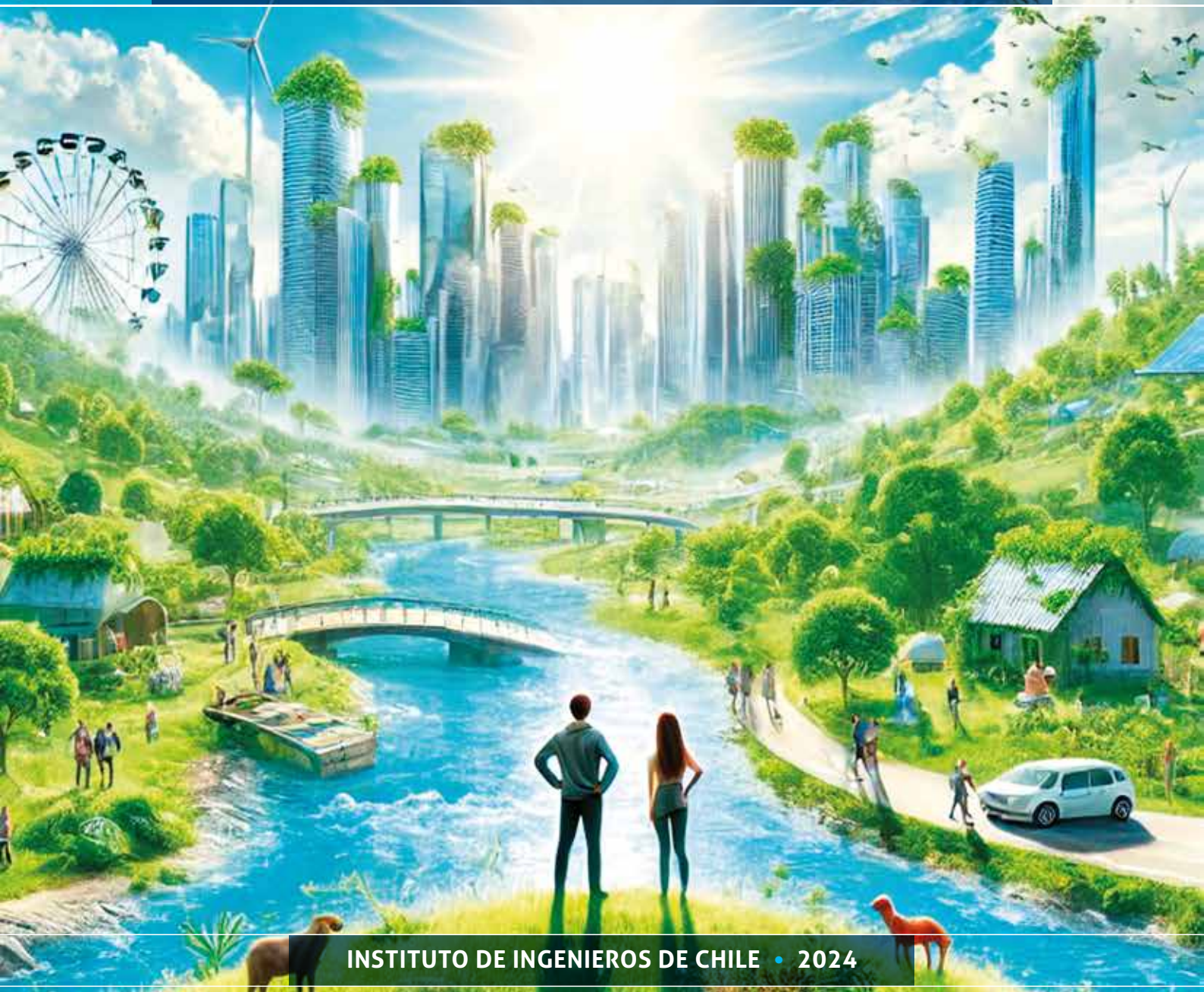
INSTITUTO DE INGENIEROS
CHILE

PROSPECTIVAS DEL IMPACTO de la INTELIGENCIA ARTIFICIAL en la INGENIERÍA CHILENA



INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE • 2024

INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Fundado en 1888

Miembro de la American Society of Civil Engineers (ASCE)

JUNTA EJECUTIVA

Presidente
Juan Carlos Barros Monge

Primer Vicepresidente
Ricardo Nicolau del Roure G.

Segunda Vicepresidenta
Ximena Vargas Mesa

Secretario
Germán Millán Valdés

Prosecretario
Javier García Monge

Tesorero
Jorge Pedrals Guerrero

Protesorero
Mauro Grossi Pasche

DIRECTORIO 2024

Alejandra Acuña Villalobos
Dante Bacigalupo Marió
Marcial Baeza Setz
Cristian Barrientos Gutiérrez
Juan Carlos Barros Monge
Juan Enrique Castro Cannobbio
Alex Chechilnitzky Zwicky
Silvana Cominetti Cotti-Cometti
Rodrigo Fernández Aguilera
Álvaro Fischer Abeliuk
Roberto Fuenzalida González
Jorge Gironás León
Javier García Monge
Mauro Grossi Pasche
Germán Millán Valdés
Marcela Munizaga Muñoz
Eduardo Muñoz Castro
Juan Music Tomicic
Luis Nario Matus
Ricardo Nicolau del Roure G.
José Orlandini Robert
Verónica Patiño Sánchez
Jorge Pedrals Guerrero
Humberto Peña Torrealba
Daniela Pollak Aguiló
Miguel Ropert Dokmanovic
Mauricio Sarrazín Arellano
Alejandro Steiner Tichauer
Ximena Vargas Mesa
Jorge Yutronic Fernández

Secretario General
Carlos Gauthier Thomas

SOCIEDADES ACADÉMICAS MIEMBROS DEL INSTITUTO

ASOCIACIÓN CHILENA DE SISMOLOGÍA E INGENIERÍA ANTISÍSMICA, **ACHISINA**.
Presidente: Jorge Carvallo W.

ASOCIACIÓN INTERAMERICANA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL – CAPÍTULO CHILENO, **AIDIS**.
Presidente: Alexander Chechilnitzky Z.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA, **SOCHID**.
Presidente: Jorge Gironás L.

SOCIEDAD CHILENA DE GEOTECNIA, **SOCHIGE**.
Presidente: Paulo Oróstegui T.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA DE TRANSPORTE, **SOCHITRAN**.
Presidenta: Camila Balbontín T.

SOCIEDAD CHILENA DE EDUCACIÓN EN INGENIERÍA, **SOCHEDI**.
Presidente: Raúl Benavente G.

COMISIONES DEL INSTITUTO

Cambio Climático y el Agua.
Presidente: Luis Nario M.

Comunicaciones.
Presidente: Germán Millán V.

Convergencia Biológica Digital.
Presidente: Alejandro Steiner T.

El Estado, su Eficiencia, su Rol y los Desafíos Futuros.
Presidente: Jorge Pedrals G.

Ingenieros en la Historia Presente.
Presidente: Miguel Ropert D.

Práctica y Academia en la Ingeniería Chilena.
Presidenta: Silvana Cominetti C.

Propuestas desde la Ingeniería para Superar la Pobreza.
Presidente: Juan Enrique Castro C.

Prospectivas de la Ingeniería Chilena (II parte).
Presidente: Jorge Yutronic F.

Una Visión y Diagnóstico desde la Ingeniería a la Baja Participación de Jóvenes en Sociedades Académicas y Profesionales.
Presidente: Eduardo Muñoz C.

Ingeniería y Seguridad (Ad-hoc).
Presidente: Raúl Manásevich

CONSEJO CONSULTIVO

Raquel Alfaro Fernandois
Elías Arze Cyr
Marcial Baeza Setz
Juan Carlos Barros Monge
Bruno Behn Theune
Sergio Bitar Chacra
Francisco Brieva Rodríguez
Mateo Budinich Diez
Juan Enrique Castro Cannobbio
Alex Chechilnitzky Zwicky
Joaquín Cordua Sommer
Álvaro Fischer Abeliuk
Roberto Fuenzalida González
Alejandro Gómez Arenal
Tomás Guendelman Bedrack
Diego Hernández Cabrera
Jaime Illanes Piedrabuena
Sergio Lavanchy Merino
Agustín León Tapia
Nicolás Majluf Sapag
Jorge Mardones Acevedo
Carlos Mercado Herreros
Germán Millán Pérez
Andrés Navarro Haeussler
Guillermo Noguera Larraín
Luis Pinilla Bañados
José Rodríguez Pérez
Rodolfo Saragoni Huerta
Mauricio Sarrazín Arellano
Raúl Uribe Sawada
Luis Valenzuela Palomo
Andrés Weintraub Pohorille
Jorge Yutronic Fernández

INSTITUTO DE INGENIEROS
CHILE

PROSPECTIVAS DEL IMPACTO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA INGENIERÍA CHILENA

PRESIDENTE
Jorge Yutronic

PARTICIPANTES
Juan Carlos Barros
Sergio Bitar
Raúl Ciudad
Felisa Córdova
Thierry de Saint Pierre
Yadran Eterovic
Cristian Hermansen
Víctor Grimblatt
José Orlandini
Alfredo Piquer
Javier Ruiz del Solar
Rodolfo Saragoni

CONTENIDO

Presentación 5
El Instituto de Ingenieros de Chile 6
Agradecimientos 7
Acrónimos 8

CAPÍTULO I **10**
Introducción 10

CAPÍTULO II **12**
Antecedentes 12
Definiciones 12
Herramientas matemáticas relacionadas con IA 15
Caso de uso de IA y efectividad de IA generativa 16
Avance en IA generativa 17
Explicabilidad y transparencia del aprendizaje profundo 19
Explicabilidad 19
Transparencia 19
Impacto de la explicabilidad y transparencia 19
Alucinaciones en IA generativa 19

CAPÍTULO III **20**
Aspectos generales 20
Principios sobre Inteligencia Artificial (OECD – 2019) 20
Oportunidades y riesgos asociados a IA 20
Características que desafían su regulación y gobernanza 22
Acciones recomendadas 22
Estrategias políticas 23
Orden ejecutiva Biden, octubre 2023 23
Declaración de Bletchley, noviembre 2023 24
Acta de Inteligencia Artificial de Unión Europea (UE) 25

CAPÍTULO IV **26**
IA en Educación Superior 26
Métodos, técnicas y herramientas 27
Retos y preocupaciones 29
Colaboración entre Instituciones y la Industria 29
Rol de los estados y los poderes públicos en la aplicación de la IA 30
Desafíos futuros de la IA 30
Prospectiva IA en Educación Superior 31

CAPÍTULO V **34**
IA en Energía 34
Impacto de la IA 34
Aceleramiento de procesos 35

CAPÍTULO VI 37
IA en Transporte 37
Automóviles 37
Puertos 37
Aeropuertos 38

CAPÍTULO VII 39
IA en *Smart Cities* 39
Garantizando la seguridad de todos los usuarios 39
Eventos Indeseados en la vía pública 39
Planificación y programación eficientes 39
Automatización de despacho desde centros de distribución 39
Predicción y monitoreo del tráfico 40

CAPÍTULO VIII 41
IA y Ciudades Sísmicamente Resilientes 41
Aplicaciones en Ingeniería Civil e Ingeniería Sísmica 41
Limitaciones de bases de datos reducidas 42
Aplicaciones incipientes 42

CAPÍTULO IX 44
IA en Manufactura 44
Visión 2035 44
Prospectiva 2035: Manufactura e IA 47

CAPÍTULO X 51
IA en Agricultura 51
Escenario I 52
Escenario II 53

CAPÍTULO XI 54
IA en Salud 54
Tendencias en investigación y aplicaciones de IA en salud 54
Escenario I 55
Escenario II 56

CAPITULO XII 57
IA en Economía Digital 57
Escenario I 57
Escenario II 63

CAPÍTULO XIII 64
IA y Estado Digital 64
Posibles aplicaciones en el Estado Digital/algorítmico: 64
Creación de nuevas industrias 66

CONCLUSIONES 68
A. Síntesis de aspectos relevantes 68
Tecnologías clave 68
Potencial y oportunidades 68
Solución de problemas complejos 69
Desintermediación y expansión de las profesiones 69
Riesgos relevantes 69
Desafíos 70

B. Oportunidades Globales basadas en IA para el Desarrollo de Chile 70
Oportunidades para el país (global) 70
Oportunidades para las empresas y otros actores económico-sociales 70
Oportunidades para los organismos públicos 71
Oportunidades para las Instituciones de Educación Superior (IES) 71
Oportunidades para las personas 71
C. Espacios habilitados con los resultados de la prospectiva 72
Evolución del Gobierno y del Estado: transición proactiva 72
Desarrollo de políticas públicas: generación y captura de valor 72
Oportunidades para empresas y actores económicos: innovación, colaboración, creación de valor con IA 72
Instituciones de Educación Superior (IES): funciones de formación, I+D, innovación, creación y vinculación 73
Protagonismo de las personas en el desarrollo de la sociedad: capacidad de actuación y autogestión potenciados con IA 73
D. Trayectorias de evolución posibles 74
Evolución “Principalmente Reactiva” 74
Evolución “Principalmente Proactiva” 74
Evolución “Principalmente Disruptiva” 74

Referencias bibliográficas 76

Glosario 81

PRESENTACIÓN

La computación ha tenido un creciente impacto en la vida moderna durante los últimos 50 años, influyendo significativamente en prácticamente todo ámbito del quehacer humano: trabajo, entretención, comunicaciones, viajes, negocios y relaciones familiares, entre otros.

Cuando en noviembre de 2022 se hizo público Chat GPT y sus capacidades, el mundo quedó maravillado con el potencial de la Inteligencia Artificial (IA). Un millón de personas se pusieron a usar esta herramienta en la primera semana y al cabo de dos meses ya existían 100 millones de usuarios, siendo esta tecnología la de mayor velocidad de adopción en la historia. Nvidia, empresa líder en la fabricación de circuitos integrados para ser usados en el desarrollo de la IA, llegó en tiempo récord a alcanzar un valor de mercado de US$3,32 trillones[1] en junio 2024, lo que la convirtió en la empresa con mayor valor bursátil del mundo.

El mundo ha quedado profundamente conmovido por el potencial impacto, beneficios y riesgos que representa la IA en diferentes ámbitos de la sociedad.

Esta realidad motivó al Instituto de Ingenieros de Chile a convocar a un grupo de muy destacados ingenieros chilenos, para analizar el impacto de la IA y los posibles escenarios de desarrollo futuro. Esta comisión ha estado presidida por el destacado ingeniero Jorge Yutronic. El trabajo de este grupo ha quedado plasmado en este informe **"Prospectivas del Impacto de la Inteligencia Artificial en la Ingeniería Chilena"**, que es entregado a la comunidad como una contribución de los ingenieros para enfrentar los desafíos de esta nueva tecnología.

Se estudió el impacto de la IA en áreas tan diversas como: energía, transporte, *smart cities*, agricultura, manufactura, salud y economía. Mención especial debo realizar al análisis del impacto de la IA en ciudades sísmicamente resilientes, considerando la naturaleza de nuestro país. También destaco el análisis de la IA en el "estado digital", por su gran impacto en la generación y ejecución de políticas públicas, ciberseguridad, servicios a los ciudadanos y materias presupuestarias, entre otras.

Destaco muy especialmente que este trabajo considere el impacto de la IA en la educación. En efecto, la educación es una de las herramientas más poderosas para propiciar el desarrollo y la movilidad social de los ciudadanos. Además, la IA tiene el potencial de acercarnos más al "aprendizaje personalizado", que permitirá educar a los estudiantes explotando de manera más eficaz su potencial individual.

Como toda nueva tecnología, la IA también enfrenta desafíos y riesgos, los que también son señalados en este documento.

En síntesis, este estudio es un documento muy valioso que constituye un aporte relevante del Instituto de Ingenieros de Chile para el país. Felicito al Instituto por la iniciativa y a los autores de este trabajo por su valiosa contribución.

JOSÉ RODRÍGUEZ PÉREZ
Dr. Ing U. Erlangen, Alemania
Premio Nacional de Ciencias Aplicadas y Tecnológicas 2014
Profesor, Universidad San Sebastián

[1] En el texto se utilizará el concepto sajón, para billones y trillones, es decir, un trillón de US$equivale a 10 elevado a 12 US$y un billón de US$equivale a 10 elevado a 9 US$.

EL INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

El Instituto de Ingenieros de Chile tiene como misión "promover la excelencia de la ingeniería, de su enseñanza y con ello contribuir al desarrollo del país". Con este compromiso, el presente documento resume el trabajo de la Comisión creada por el Directorio para explorar cómo se proyecta el futuro de la ingeniería en Chile, en un contexto de grandes cambios y desafíos, pero también de grandes oportunidades.

La ingeniería tiene un propósito clave: mejorar la calidad de vida de las personas, incrementar la eficiencia y sostenibilidad de los procesos y contribuir al bienestar de la sociedad. En este momento de acelerada transformación, entender el impacto que tendrá la Inteligencia Artificial (IA) en la ingeniería chilena y en la sociedad en general es especialmente relevante.

La IA, con su capacidad de procesamiento de datos y automatización, está cambiando no solo la forma en que se diseñan y gestionan los proyectos y obras de ingeniería, sino también cómo abordamos los grandes problemas que afectan a nuestra sociedad.

La Comisión ha realizado un análisis exhaustivo que ofrece una mirada de futuro sobre la manera en la que la ingeniería puede adaptarse y aprovechar estas tecnologías para contribuir de manera significativa al bienestar y desarrollo de nuestra sociedad.

Este documento, en base a los temas abordados en una comisión anterior[2], profundiza en el impacto que tendrá la IA en la ingeniería, enfoque fundamental para guiar el desarrollo de la ingeniería en Chile y el de las próximas generaciones de ingenieros.

Así, este documento se convierte en una herramienta inspiradora para universidades, empresas y líderes de decisión en el país. Los análisis y reflexiones que contiene son esenciales para planificar un futuro donde la tecnología y la innovación no solo transformen la economía, sino que también construyan una sociedad con oportunidades para todos.

JUAN CARLOS BARROS MONGE
Presidente del Instituto de Ingenieros de Chile

[2] CPI: Comisión de Prospectiva de Ingeniería del Instituto de Ingenieros de Chile.

AGRADECIMIENTOS

El Instituto de Ingenieros de Chile agradece la dedicación y compromiso de los integrantes de la Comisión: Jorge Yutronic, Juan Carlos Barros, Sergio Bitar, Raúl Ciudad, Felisa Córdova, Thierry de Saint Pierre, Yadran Eterovic, Cristian Hermansen, Víctor Grimblatt, José Orlandini, Alfredo Piquer, Javier Ruiz del Solar y Rodolfo Saragoni, quienes han aportado sus visiones, conocimientos y experiencias profesionales para complementar y profundizar la prospectiva presentada en el libro publicado en 2023[3], en el ámbito de la Inteligencia Artificial (IA).

El valioso trabajo realizado ha hecho posible, luego de un significativo trabajo colaborativo, lograr la convergencia en el ámbito de prospectivas de la IA en la Ingeniería chilena.

El Instituto expresa su reconocimiento a los integrantes del Comité Editorial a Jorge Yutronic, Juan Carlos Barros, Felisa Córdova, Yadran Eterovic, Thierry de Saint Pierre y al Ingeniero Sr. Raúl Uribe, Director de la Revista y Anales de Instituto de Ingenieros de Chile quien, en su calidad de editor de las publicaciones de nuestra Corporación, colaboró en la revisión del material que integra este informe. Se hace extensivo este reconocimiento al Sr. Carlos Gauthier, por el apoyo prestado al trabajo de la Comisión.

[3] Prospectiva de la Ingeniería Chilena. Transformación Digital e Industria 4.0. Instituto de Ingenieros de Chile en agosto 2023 con colaboración de USM.

ACRÓNIMOS

AGI: Artificial General Intelligence (Inteligencia Artificial General)

AI: Artificial Intelligence (Inteligencia Artificial)

API: Application Programming Interface (Interfaz de Programación de Aplicaciones)

AR: Augmented Reality (Realidad Aumentada)

AWS: Amazon Web Services (Servicios Web de Amazon)

BIM: Building Information Modeling (Modelado de Información para la Construcción)

BLEU: Bilingual Evaluation Understudy (Estudio de Evaluación Bilingüe)

BM: Banco Mundial

CDIO: Conceive, Design, Implement, Operate (Concebir, Diseñar, Implementar, Operar)

CNN: Convolutional Neural Network (Red Neuronal Convolucional)

CPI: Comisión Prospectivas de la Ingeniería

ERNC: Energías Renovables No Convencionales

EU: European Union (Unión Europea)

F.A.T.E.: Fairness, Accountability, Transparency and Ethics (Imparcialidad, Rendición de Cuentas, Transparencia y Ética)

GAN: Generative Adversarial Network (Red Generativa Antagónica)

G7: Group of Seven (Grupo de los Siete)

GPT: Generative Pre-trained Transformer (Transformador Preentrenado Generativo)

GPU: Graphics Processing Unit (Unidad de Procesamiento de Gráficos)

HPC: High-Performance Computing (Computación de Alto Rendimiento)

IA: Inteligencia Artificial

I+D: Investigación y Desarrollo

I4.0: Industria 4.0

IES: Instituciones de Educación Superior

IGA: Inteligencia General Artificial

IoT: Internet of Things (Internet de las Cosas)

IT: Information Technology (Tecnología de la Información)

LLM: Large Language Model (Modelo de Lenguaje Grande)

NLP: Natural Language Processing (Procesamiento del Lenguaje Natural)

ODS: Objetivos de Desarrollo Sustentable de Naciones Unidas

OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico)

PaLM: Pathways Language Model (Modelo de Lenguaje Pathways)

RNN: Recurrent Neural Network (Red Neuronal Recurrente)

RA: Realidad Aumentada

RV: Realidad Virtual

RX: Realidad Extendida

TD+I4.0: Transformación Digital + Industria 4.0

TPU: Tensor Processing Unit (Unidad de Procesamiento de Tensores)

UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura)

UE: Unión Europea

UX: User Experience (Experiencia de Usuario)

WEF: World Economic Forum (Foro Económico Mundial)

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

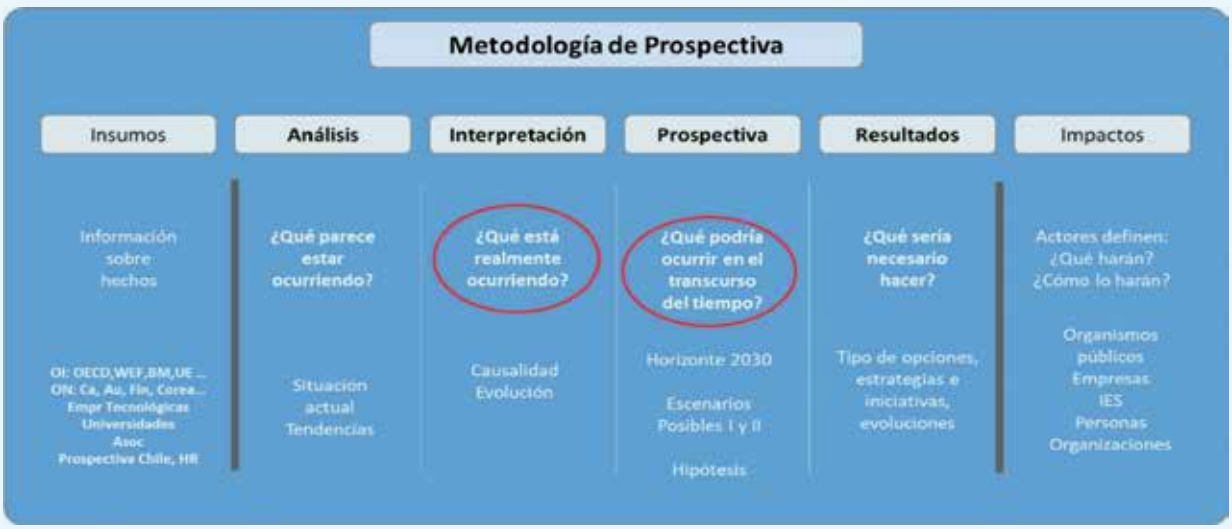
La CPI[4] del Instituto de Ingenieros de Chile decidió abordar una complementación y profundización de la prospectiva presentada en el libro publicado en 2023[5], con foco en la Inteligencia Artificial (IA)[6], **debido a su rápida expansión en los países y a su sinergia con las otras tecnologías de la Industria 4.0**.

Las elaboraciones de prospectiva focalizadas en IA se consideran en el período hacia 2035, en dos escenarios:

1. **Escenario I: basado principalmente en mejoramiento y aumento significativo de lo existente y,**
2. **Escenario II: en el surgimiento de nuevos tipos de actores que son habilitados por la IA.**

La metodología de prospectiva es la misma descrita en la sección 1.3 del libro publicado sintetizada en la Figura 1.

Figura 1. Metodología de prospectivas



Fuente: Adaptación del modelo generado por Joseph Voros y presentado en su trabajo "A generic foresight process framework", Joseph Voros, Faculty of Business and Enterprise, Swinburne University of Technology, Australia. Foresight, vol.5, no.3, pp.10–21, 2003. ISSN: 1463-6689.

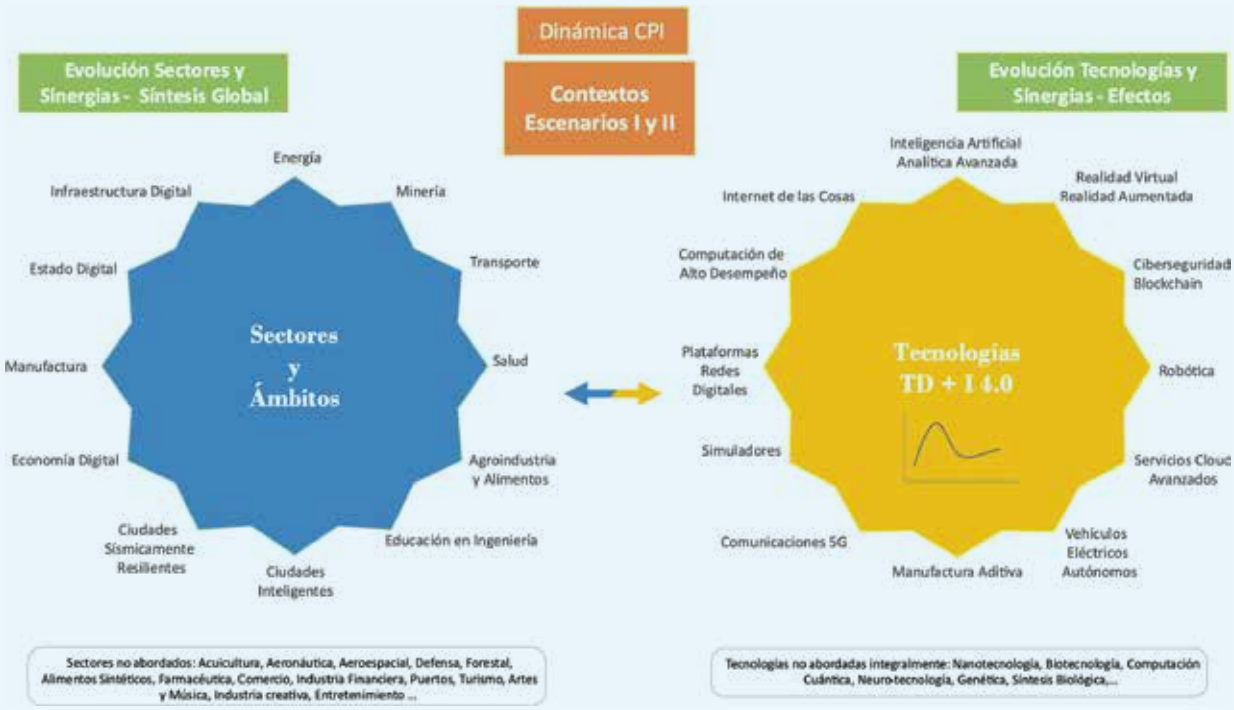
[4] CPI: Comisión de Prospectiva de Ingeniería del Instituto de Ingenieros de Chile.

[5] Prospectiva de la Ingeniería Chilena. Transformación Digital e Industria 4.0. Instituto de Ingenieros de Chile en agosto 2023 con colaboración de USM.

[6] Diferentes concepciones —y definiciones— de IA están coexistiendo y evolucionando a escala internacional en los ámbitos de investigación y desarrollo, así como en los ámbitos de aplicación y uso. En este informe se considera la IA en forma diversa.

Los sectores y tecnologías considerados en la prospectiva son los mismos ya señalados en el libro referido, y que se representan en la Figura 2.

Figura 2. Sectores y tecnologías consideradas



Fuente: Elaboración propia.

La IA se articula con las otras tecnologías, acelerando y aumentando sus efectos sobre las industrias, los organismos públicos, las instituciones educacionales, otros actores, la vida de las personas y la sociedad en su conjunto.

Este informe de prospectiva de Ingeniería en IA presenta primero los sectores y ámbitos analizados (Salud, Transporte y Logística, Industria Digital, Manufactura, otros), ya sea considerando los Escenarios I y II por separado, o en forma integrada. Al final se plantea un conjunto de Conclusiones principalmente respecto de los efectos en los actores, las oportunidades y opciones que habilita la IA.

Se observan elementos comunes entre los sectores y ámbitos, así como otros elementos que son únicos de cada uno de ellos. Esto facilita la prospectiva a otras esferas no incluidas en este informe y al conjunto del país.

La redacción de este documento valora la independencia de los lectores para darle el uso que estimen conveniente a los resultados de la prospectiva por lo que no se incluyen recomendaciones específicas ni planes de acción.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES

La inteligencia artificial forma parte de la revolución tecnológica digital generando un **profundo impacto en la sociedad y en las relaciones económicas, impactando prácticamente todos los campos del saber** desde el mundo legal, la salud, la educación, el gobierno, las diferentes ingenierías y ciencias, el transporte, y la economía digital.

En particular, se estima que la IA generativa, que emerge al gran público en noviembre de 2022 y con una adopción de más de 100 millones de usuarios en pocos meses, tiene el potencial de **generar un alto impacto positivo en la industria y la sociedad, creando nuevos tipos de servicios y productos**, así como profundizando la automatización y robotización de los actuales sistemas productivos. Por otro lado, también se temen consecuencias negativas, como la propagación del sesgo existente[7], la generación y divulgación de información falsa (*fake news*) o la facilitación de los ataques de ciberseguridad.

DEFINICIONES

La Inteligencia Artificial es un campo del saber de carácter multidisciplinario cuyos objetivos son comprender, diseñar, desarrollar e implementar sistemas para un determinado conjunto de propósitos definidos por humanos. Los sistemas de IA incluyen la habilidad de realizar tareas que requieren las capacidades de aprender, razonar, crear y recomendar, lo que implica percibir el entorno real o virtual, contextualizarlo y tomar acciones que optimizan parámetros de desempeño, con diversos niveles de autonomía[8].

Un sistema de IA es un sistema basado en una máquina que, para objetivos explícitos o implícitos, infiere, a partir de una entrada que recibe, resultados tales como predicciones, contenido, recomendaciones o decisiones que pueden influir en entornos físicos o virtuales. Los diferentes sistemas de IA varían en sus niveles de autonomía y adaptabilidad después del despliegue[9] (Figura 3).

Las siguientes definiciones serán utilizadas a lo largo de este documento:

Alucinación *(Hallucination)*

Fenómeno en modelos de generación de lenguaje natural, por ejemplo, los LLM, donde el sistema produce información incorrecta o inventada que parece plausible. Las alucinaciones pueden afectar la confiabilidad de las respuestas generadas por modelos de IA. (Ji, Z., et al. (2023)).

---

7 El sesgo en la (IA) es la tendencia que tienen estos sistemas de producir resultados que reflejan los prejuicios humanos, lo que puede ocurrir debido a los datos utilizados en el entrenamiento, en el algoritmo mismo o en las predicciones que se realicen.

8 Comisión desafíos del futuro del Senado 11-2023.

9 Definición OECD 11-2023.

Figura 3. Sistema IA (OECD 11-2023)

Aprendizaje auto-supervisado *(Self-supervised learning)*

Técnica donde el modelo aprende representaciones útiles de los datos sin necesidad de etiquetas manuales. Utiliza información inherente en los datos para generar tareas de aprendizaje auxiliares, permitiendo aprovechar grandes conjuntos de datos no etiquetados. (LeCun, Y., et al. (2021)).

Aprendizaje de máquinas *(Machine learning)*

Rama de la inteligencia artificial que se centra en el desarrollo de algoritmos y modelos que permiten a las computadoras aprender y hacer predicciones o decisiones basadas en datos. Estos sistemas mejoran su rendimiento con la experiencia sin ser explícitamente programados para cada tarea específica. (Mitchell, T. M. (1997)).

Aprendizaje no supervisado *(Unsupervised learning)*

Enfoque del aprendizaje de máquinas que trabaja con datos no etiquetados, buscando descubrir patrones, estructuras o relaciones ocultas en los datos, como agrupamientos o asociaciones. (Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009)).

Aprendizaje por refuerzo *(Reinforcement learning)*

Paradigma de aprendizaje donde un agente aprende a tomar decisiones mediante la interacción con un entorno, recibiendo recompensas o castigos según sus acciones. El objetivo es aprender una política que maximice la recompensa acumulada a lo largo del tiempo. (Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018)).

Aprendizaje profundo *(Deep learning)*

Subcampo del aprendizaje de máquinas *(machine learning)* que utiliza redes neuronales artificiales con múltiples capas (profundas) para modelar patrones y representaciones de datos de alto nivel. Es especialmente efectivo en tareas como reconocimiento de voz, visión por computadora y procesamiento del lenguaje natural. A modo de ejemplo, para las secuencias de datos como lenguaje natural o las series de tiempo se utilizan las redes neuronales recursivas —o RNN, en las cuales los resultados de una iteración de la red (en tiempo *t*) es utilizada como entrada para la iteración siguiente (tiempo *t*+1), creando una especie de memoria—; y para las imágenes se usan las redes convolucionales —o CNN, que aplican filtros iniciales a las imágenes de entrada para detectar cierto tipo de patrones. (Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016)).

Aprendizaje supervisado *(Supervised learning)*

Método de aprendizaje de máquinas donde el modelo es entrenado con datos de entrada y salida conocidos (etiquetados). El objetivo es aprender una función que mapee entradas a salidas correctas y pueda predecir resultados para nuevos datos no vistos. (Bishop, C. M. (2006)).

Inteligencia artificial general (IAG) *(Artificial general intelligence – AGI)*

Concepto de una inteligencia artificial capaz de comprender, aprender y aplicar conocimientos de manera amplia y generalizada, similar a la inteligencia humana. La IAG tendría la capacidad de realizar cualquier tarea intelectual que un ser humano pueda realizar. El alineamiento (*alignment*) de un Sistema IGA es el proceso mediante el cual se controla, con diferentes mecanismos que ponen barreras (*rail guard*), que la IGA opere de acuerdo con las instrucciones de los seres humanos. Es decir, sigue en control de los seres humanos. (Goertzel, B. (2014)).

IA generativa

Tecnología de inteligencia artificial que puede crear contenido nuevo, como texto, imágenes, audio o video, que es similar pero no idéntico a los datos en los que fue entrenada. Incluye modelos como redes generativas antagónicas *(GAN – Generative Antagonic Network)* y Transformador Generativo Preentrenado *(GPT – Generative Pre trained Transformer)*. Es capaz de generar las respuestas esperadas para diferentes señales de entrada como texto en lenguaje natural[10], imágenes o audio y luego en su operación, generar la señal de salida más probable a partir de una señal de entrada. Se construye como un sistema de aprendizaje automático entrenado con cantidades masivas de datos, prediciendo palabras, píxeles, formas de onda, datos y detectando patrones que se parecen a los datos de entrenamiento. (Foster, D. (2019)).

IA neuro simbólica

Combina dos enfoques de la IA: el aprendizaje profundo que identifica patrones y aprende funciones y relaciones complejas de los datos, con la IA simbólica que manipula símbolos y la lógica para realizar inferencias, lo que le permite manejar conocimientos abstractos y razonamiento deductivo. Esto permite crear sistemas que, combinando las fortalezas de ambos métodos, sean más inteligentes, comprensivos y transparentes. (d'Avila Garcez, A. S., Lamb, L. C., & Gabbay, D. M. (2009)).

Modelos de lenguaje de gran tamaño *(LLM – Large language models)*

Modelos de aprendizaje profundo con miles de millones de parámetros entrenados en grandes cantidades de datos textuales. Pueden generar texto coherente y realizar una variedad de tareas de procesamiento del lenguaje natural, como traducción, resumen y respuesta a preguntas. (Brown, T. B., et al. (2020)).

Modelos fundacionales *(Foundation models)*

Modelos de IA entrenados en datos a gran escala que pueden adaptarse a múltiples tareas y dominios con ajustes mínimos. Sirven como base para desarrollar aplicaciones específicas, aprovechando el conocimiento amplio adquirido durante el entrenamiento inicial. (Bommasani, R., et al. (2021)).

---

[10] El lenguaje natural es la forma de comunicación que utilizan los seres humanos en su vida cotidiana, a través de la escritura y el habla.

Procesamiento del Lenguaje Natural *(Natural Language Processing – NLP)*

Campo de la inteligencia artificial que se enfoca en la interacción entre computadoras y lenguaje humano. Permite a las máquinas entender, interpretar y generar lenguaje de manera que sea natural para los humanos. (Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2021)).

Singularidad tecnológica

Es concepto que se refiere a un punto hipotético en el futuro en el cual el progreso tecnológico, especialmente en inteligencia artificial, se vuelve tan acelerado y profundo que resulta en cambios impredecibles y posiblemente incomprensibles para la mente humana. Este fenómeno se asocia comúnmente con la creación de una superinteligencia artificial que supera ampliamente las capacidades cognitivas humanas. Característica clave de la singularidad tecnológica: la tecnología avanzaría a un ritmo tan acelerado que cada nuevo desarrollo ocurriría más rápidamente que el anterior. Las máquinas inteligentes podrían diseñar generaciones sucesivas de inteligencias aún más avanzadas sin intervención humana. La idea de la singularidad plantea importantes debates éticos, filosóficos y prácticos sobre el futuro de la humanidad, el control de las inteligencias avanzadas y las implicaciones para nuestra comprensión de la vida y la existencia. (Kurzweil, R. (2005)).

Superinteligencia Artificial

Es un concepto que se refiere a una inteligencia artificial que supera ampliamente las capacidades cognitivas humanas en prácticamente todos los aspectos. No solo igualaría la inteligencia general humana, sino que la excedería significativamente en áreas como el razonamiento, la creatividad, la resolución de problemas complejos y el aprendizaje. Una superinteligencia artificial podría: resolver problemas científicos y tecnológicos avanzados que están más allá del alcance humano actual; desarrollar nuevas tecnologías y conocimientos a un ritmo exponencialmente más rápido que los humanos; y tomar decisiones y planificar con una eficacia y precisión sin precedentes. (Bostrom, N. (2014))

HERRAMIENTAS MATEMÁTICAS RELACIONADAS CON IA

Podemos nombrar algunas de las herramientas matemáticas y de la ingeniería que están siendo utilizadas profusamente en la Inteligencia Artificial:

- Estadística
- Probabilidades (Bayes, procesos estocásticos)
- Optimización (energía, error)
- Aprendizaje de máquinas no generativo
- Grafos y árboles de decisión
- Sistema a base de Reglas y heurísticas (Sistemas Expertos)
- IA Simbólica (lenguajes formales, grafos)
- Física de partículas, entropía
- Simulaciones
- Matemáticas discretas
- IA generativa

CASO DE USO DE IA Y EFECTIVIDAD DE IA GENERATIVA[11]

Se determina si el caso de uso genera valor para el negocio y es factible de ejecutar, independientemente de la técnica de IA a utilizar. Esto es importante porque algunos casos de uso no son adecuados para la IA y no merecen mayor consideración.

A continuación, se presenta la efectividad de la IA generativa según el caso de uso:

- **Poco efectiva**: Predicción/previsión, planificación, inteligencia de decisiones, sistemas autónomos
- **Medianamente efectiva**: Segmentación/clasificación, sistemas de recomendación, percepción, automatización inteligente, detección/monitoreo de anomalías
- **Efectiva**: Generación de contenidos, interfaces de usuario conversacionales, descubrimiento de conocimientos.

Tabla 1. Efectividad de IA generativa según caso de uso

Familia de casos de uso	Uso actual de modelo de IA generativa	Ejemplo de casos de uso
Predicción / previsión	Bajo	Predicción de riesgo, pérdida de clientes, previsión de ventas/ demanda
Inteligencia de decisiones	Bajo	Soporte de decisiones, ampliación, automatización
Segmentación/clasificación	Medio	Agrupamiento, segmentación de clientes, clasificación de objetos
Sistemas de recomendación	Medio	Motor de recomendaciones, asesoramiento personalizado, siguiente mejor acción
Generación de contenido	Alto	Generación de texto, generación de imágenes y vídeos, datos sintéticos.
Interfaces de usuario conversacionales	Alto	Asistente virtual, chatbot, trabajador digital

En los casos de uso clasificados en las categorías 1 y 2 se recomienda utilizar algunas de las herramientas y tecnologías de IA nombradas anteriormente.

Por otro lado, en el análisis de un caso particular de uso, éste puede requerir de una combinación de las tecnologías mencionadas anteriormente. Por ejemplo, se puede utilizar la IA para aprender un modelo predictivo de un proceso productivo o industrial (configuración óptima de una planta industrial o de la minería) con herramientas estadísticas, de optimización o de aprendizaje de máquinas, lo que requiere una gran cantidad de datos que deben ser adecuadamente limpiados y filtrados. Para posteriormente, aplicar

[11] Gartner Group 2024.

la IA generativa con el objeto de generar las respuestas del modelo predictivo, en un lenguaje fácilmente interpretable por el usuario final, así como implementar una interfaz conversacional para la interacción con este usuario.

Finalmente, la IA generativa podría no ser adecuada para su caso de uso si los riesgos que conlleva son inaceptables y no pueden mitigarse de manera efectiva. Estos incluyen resultados no confiables, privacidad de datos, propiedad intelectual, responsabilidad, ciberseguridad y cumplimiento normativo, ya sea solos o en combinación entre sí.

AVANCE EN IA GENERATIVA

En particular desde noviembre de 2022, una de las ramas de la IA, la IA generativa ha experimentado un desarrollo vertiginoso basada en inversiones significativas de las principales empresas de tecnología (OpenAI, Microsoft, AWS, Google, NVIDIA por nombrar las principales) con el apoyo de muchos investigadores en las principales universidades del mundo.

Un rasgo central de la inteligencia humana es la capacidad cognitiva que tienen los humanos para crear contenido (Chawla et al., 2023). Los modelos de IA generativa utilizan "solicitudes" (*prompts*) para producir texto, imágenes, audio y video sintéticos que, ya hoy, pueden ser casi imposibles de distinguir de la creación humana (Nightingale and Farid., 2022[6]); (Abbott y Rothman, 2022).

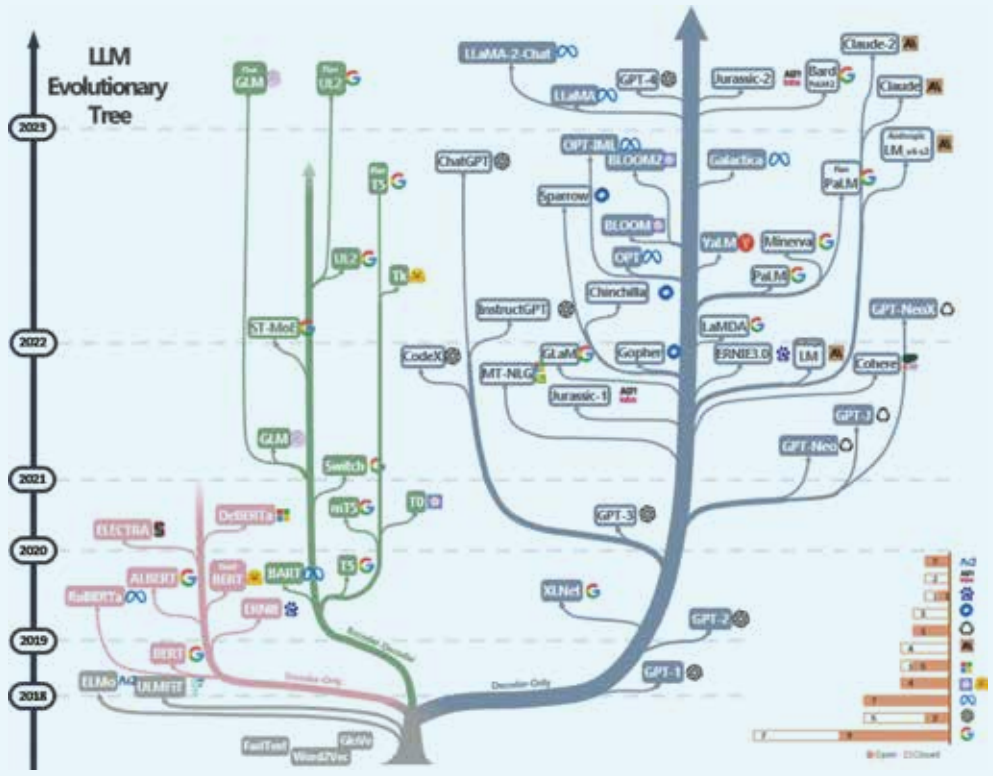
La calidad de los modelos de lenguaje de gran escala (LLM) que permiten la generación de texto ha mejorado rápidamente desde la publicación de la arquitectura Transformers por parte de investigadores de Google en 2017 y alcanzó un punto de inflexión con el lanzamiento de Chat GPT en noviembre de 2022. Como el primer agente conversacional accesible a través de una interfaz de usuario cómoda e intuitiva, el lanzamiento sorprendió a gobiernos, organizaciones e individuos de todo el mundo. Se estima que Chat GPT adquirió alrededor de 100 millones de usuarios activos en unos cuantos meses, lo que la convierte en la aplicación de software de consumo de más rápido crecimiento de la historia (Hu, 2023).

La inversión y el desarrollo de los modelos generativos han sido explosivos desde 2018, luego de la publicación del articulo "*Attention is all you need*" (Vaswany et al [2017]) (Figura 4).

Así, Gartner propone que la IA generativa está en su máximo de expectativa según el *hype cycle* de la Inteligencia Artificial 2023 (Figura 5).

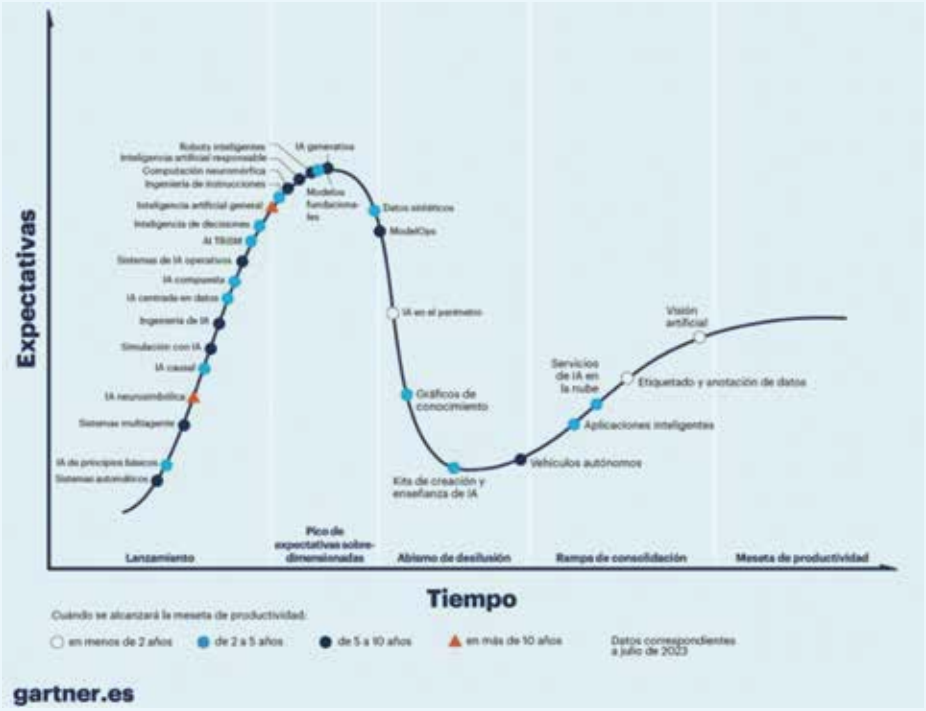
Las capacidades de la IA generativa se miden en número de parámetros que utilizan para aprender la información que se le presenta (desde algunos billones y hasta más de 500 billones de parámetros). Evaluar el desempeño de un LLM implica evaluar factores como la fluidez del lenguaje, la comprensión contextual y la capacidad de generar respuestas relevantes y significativas. Se utilizan métricas como la perplejidad, la puntuación BLEU y evaluaciones humanas que pueden medir y comparar el desempeño del LLM.

Figura 4. Aprovechando el poder de los LLM: una revisión sobre Chat GPT y entorno



Fuente: Yang et al 2023.

Figura 5. Hype cycle de la Inteligencia Artificial 2023



EXPLICABILIDAD Y TRANSPARENCIA DEL APRENDIZAJE PROFUNDO

Los algoritmos de aprendizaje profundo y de IA generativa enfrentan problemas significativos de explicabilidad y transparencia debido a su complejidad y naturaleza opaca.

Explicabilidad

- Complejidad de los Modelos: Los modelos de *deep learning* suelen consistir en redes neuronales profundas con millones de parámetros y múltiples capas ocultas. Esta complejidad hace que sea difícil entender cómo se toman decisiones específicas dentro del modelo.
- Caja Negra: Estos algoritmos funcionan como "cajas negras", donde los procesos internos no son fácilmente interpretables por humanos. Esto dificulta la capacidad de explicar por qué el modelo llegó a una conclusión particular.

Transparencia

- Opacidad en el Funcionamiento: La falta de transparencia se refiere a la dificultad para inspeccionar y comprender cómo funciona internamente el modelo. Esto es especialmente problemático en aplicaciones donde se requieren explicaciones claras para decisiones automatizadas.
- Desafíos en la Auditoría: Sin transparencia, es complicado auditar los algoritmos para detectar sesgos, errores, uso de propiedad intelectual o comportamientos inesperados, lo que puede llevar a resultados no deseados o discriminatorios.

IMPACTO DE LA EXPLICABILIDAD Y TRANSPARENCIA

- Confianza y Aceptación: La falta de explicabilidad y transparencia puede erosionar la confianza de los usuarios y *stakeholders* en las soluciones de IA.
- Cumplimiento Normativo: Las regulaciones emergentes exigen que los sistemas de IA sean explicables y transparentes, especialmente en sectores como la salud, finanzas y seguridad.
- Ética y Responsabilidad: Sin una comprensión clara de cómo funcionan los algoritmos, es difícil garantizar que operen de manera ética y responsable.

Por todas las razones mencionadas anteriormente, la explicabilidad y transparencia de los modelos son áreas de investigación significativa para la adopción masiva y automatizada de ellos.

ALUCINACIONES EN IA GENERATIVA

Debido a la forma en que están diseñados, estos sistemas también pueden generar respuestas falsas (llamadas alucinaciones) puesto que el algoritmo estocástico subyacente puede generar una secuencia de palabras que son probabilísticamente probables pero que no responden al contexto de la pregunta. En la actualidad, se intenta reducir estos errores con distintas técnicas de reforzamiento de las respuestas correctas.

CAPÍTULO III

ASPECTOS GENERALES

Cabe señalar que la IA y en particular, la IA generativa, por su alto impacto transversal, **están generando una importante discusión en el mundo político, tanto respecto de su alcance y oportunidades como de sus aspectos éticos y riesgos**.

Para ello, iniciamos esta revisión con los principios sobre Inteligencia Artificial que identificó la OECD en 2019, luego pasaremos a revisar un documento sobre oportunidades y riesgos de la IA generado por G7 en 2023 para terminar revisando características de la IA generativa que desafían su regulación y gobernanza.

Principios sobre Inteligencia Artificial (OECD – 2019)

Los Principios de la OECD sobre Inteligencia Artificial promueven una inteligencia artificial (IA) que sea innovadora y confiable y que respete los derechos humanos y los valores democráticos:

1. La IA debe estar al servicio de las personas y del planeta, impulsando un crecimiento inclusivo, el desarrollo sostenible y el bienestar.
2. Los sistemas de IA deben diseñarse de manera que respeten el Estado de derecho, los derechos humanos, los valores democráticos y la diversidad, e incorporar salvaguardias adecuadas —por ejemplo, permitiendo la intervención humana cuando sea necesario— con miras a garantizar una sociedad justa y equitativa.
3. Los sistemas de IA deben estar guiados por la transparencia y una divulgación responsable a fin de garantizar que las personas sepan cuándo están interactuando con ellos y puedan oponerse a los resultados de esa interacción.
4. Los sistemas de IA deben funcionar con robustez, de manera fiable y segura durante toda su vida útil, y los potenciales riesgos deberán evaluarse y gestionarse en todo momento.
5. Las organizaciones y las personas que desarrollen, desplieguen o gestionen sistemas de IA deberán responder por su correcto funcionamiento en consonancia con los principios precedentes.

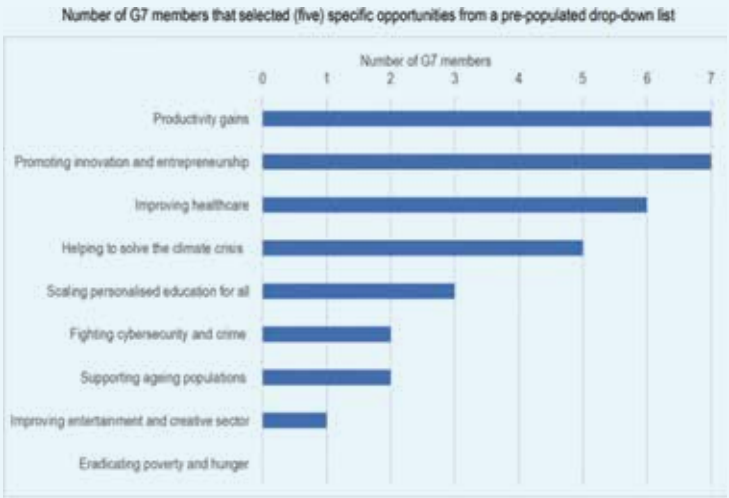
Oportunidades y riesgos asociados a IA[12]

El reconocimiento de la naturaleza polivalente de las tecnologías de IA y de cómo pueden implementarse (incluida la IA generativa) ha llevado a la OECD a desarrollar un Monitor de Incidentes de IA global, diseñado para proporcionar evidencia en tiempo real sobre los riesgos de la IA para informar a los tomadores de decisiones políticas. Esto se logra mediante el escrutinio de incidentes y peligros del mundo en tiempo real, según lo informado por medios de noticias acreditados.

[12] Referencia: G7 Proceso de Hiroshima en IA Generativa hacia una interpretación común de IA generativa por parte del G7 (Sept 2023).

A continuación, se presenta un resumen de las principales oportunidades identificadas por el G7.

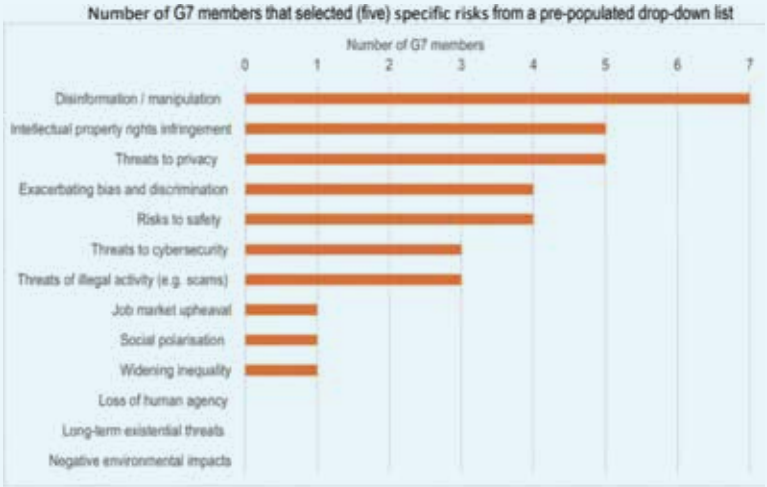
Figura 6. Principales oportunidades de la IA



Note: The figure aggregates responses from seven respondents to the question: "*From your country or region's perspective, what are the top five opportunities generative AI presents to help achieve national and regional goals? (Please select five options)*".

En ese mismo encuentro se identificó una serie de riesgos de los cuales destacamos: la importancia de prevenir el uso de la IA generativa para crear amenazas químicas o biológicas (por ejemplo, virus) [*risks to safety*], o desinformación masiva, así como las amenazas a la ciberseguridad y las infracciones a la propiedad intelectual, destacando la necesidad de cooperación internacional en estos desafíos comunes.

Figura 7. Principales riesgos asociados a la IA generativa



Note: The figure aggregates responses from seven respondents to the question: "*From your country or region's perspective, what are the top five risks generative AI presents to achieving national and regional goals? (Please select five options)*".

Características que desafían su regulación y gobernanza

Los miembros del G7 señalaron la imprevisibilidad del impacto, la adaptabilidad, la autonomía y la naturaleza polivalente como características de la IA generativa que desafían su regulación y gobernanza.

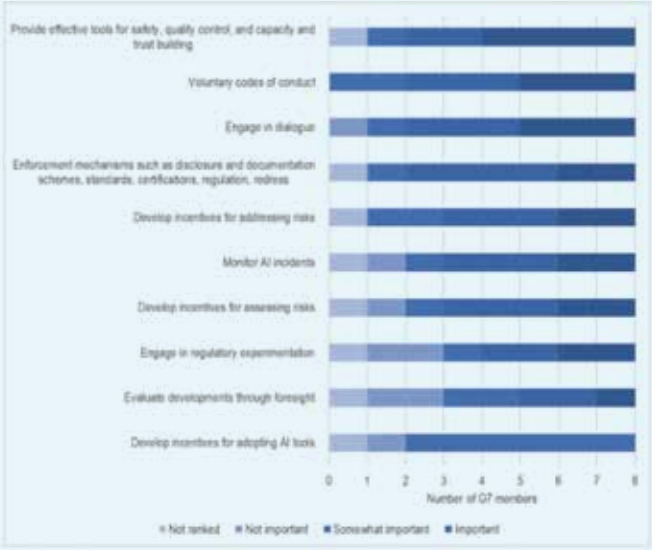
En efecto:

- La IA generativa crea innovaciones disruptivas, que impactan a una amplia gama de usuarios. El amplio campo de aplicación de la tecnología, las crecientes interacciones entre los sistemas generativos de IA y los rápidos avances técnicos provocan una gran incertidumbre e imprevisibilidad para la sociedad.
- Las aplicaciones de IA generativa hoy en día tienen poca "autonomía", es decir, poca capacidad para tomar decisiones o acciones por sí mismas, sin supervisión o dirección humana. Producen contenido siguiendo un conjunto de instrucciones. Sin embargo, a medida que la IA generativa, utilice "agentes" generativos autónomos con complementos (*plug-ins*) para conectarlos a aplicaciones de terceros, estos se volverán más autónomos.
- La "adaptabilidad" de la IA generativa plantea dificultades para que los desarrolladores comprendan la intención o la lógica que conduce a los resultados de los sistemas. Esto se debe a que los sistemas de IA se "entrenan" infiriendo patrones a partir de un gran conjunto de datos. Estos patrones no son fácilmente identificables para los programadores humanos. Este mecanismo permite que los sistemas de IA generativa desarrollen la capacidad de resolver tareas con resultados que los desarrolladores no esperaban, lo que es una poderosa fuente de nuevas capacidades, pero también una barrera para diseñar intencionalmente o incluso comprender completamente los resultados y las capacidades del modelo. Esta brecha entre la intención de los desarrolladores al generar el Sistema y las capacidades generadas en el sistema puede complicar la asignación de responsabilidad respecto de los resultados del sistema.
- La adaptabilidad y la naturaleza multipropósito de la IA generativa, y su capacidad para generar contenido mucho más rápidamente que antes, pueden exacerbar los sesgos y otros riesgos en un conjunto más amplio de contextos respecto de los sistemas anteriores, promoviendo o reforzando estereotipos dañinos.
- La diversidad de casos de uso y contextos en los que se puede aplicar la IA generativa también es un desafío en sí mismo, ya que cada caso de uso y contexto puede tener potencialmente diferentes requisitos regulatorios o de gobernanza.
- La poca explicabilidad, la complejidad y la adaptación continua de los sistemas de IA pueden generar o exacerbar los riesgos en sistemas que se utilicen en las áreas de salud y seguridad, en los cuales se requieren explicaciones claras respecto de los diagnósticos y los sospechosos o inculpados respectivamente.

Acciones recomendadas

En este contexto el G7 recomendó una serie de acciones que detallamos a continuación tales como proveer herramientas efectivas para la seguridad, calidad, control, capacidad y generación de confianza; códigos voluntarios de conducta; mecanismos para cumplimiento tales como divulgación y documentación de los esquemas, estándares, certificaciones y regulación; desarrollar incentivos para abordar los riesgos; monitorear los incidentes de IA; realizar experimentación regulatoria; entre otros.

Figura 8. Principales acciones recomendadas por G7



Note: The figure aggregates responses from eight respondents to the question: "*What type of actions could the G7 recommend to collectively evaluate developments and how to harness the opportunities and address the risks posed by generative AI?*".

ESTRATEGIAS POLÍTICAS

Frente a este contexto, de riesgos y oportunidades identificados por diferentes grupos de países, diferentes instancias políticas han reaccionado generando políticas para la gestión de estas oportunidades y riesgos. Pasamos a revisar un par de estas políticas atendida su relevancia mundial, entre éstas: la orden ejecutiva para el Desarrollo y uso de la Inteligencia Artificial en forma inocua, segura, y confiable del Presidente Biden, USA en 2023, la declaración de Bletchley de los países que asisten a la Cumbre de seguridad de la IA (noviembre 2023) y el Acta de Inteligencia Artificial de la Unión Europea (EU) de 2024.

Orden ejecutiva Biden, octubre 2023[13]

Esta orden ejecutiva direcciona un conjunto de acciones que abordan en forma amplia los principales desafíos actuales y futuros de la IA.

1. Nuevos estándares para Seguridad e Inocuidad en IA
   - Los desarrolladores de los principales sistemas de IA deben compartir sus pruebas de seguridad y otra información crítica con el Gobierno.
   - Desarrollar estándares, herramientas y testeos que permitan asegurar que los sistemas de IA no causan daños, son seguros y confiables.
   - Proteger contra el riesgo que se utilice la IA para desarrollar materiales biológicos peligrosos.
   - Establecer un programa de ciberseguridad avanzado que desarrolle herramientas de IA para encontrar y corregir las vulnerabilidades en softwares de carácter crítico.

[13] Orden ejecutiva para el Desarrollo y uso de la Inteligencia Artificial en forma inocua, segura, y confiable (Biden – octubre, 2023).

2. Proteger la privacidad de los ciudadanos:
   - Se deben desarrollar técnicas que preserven la privacidad de los datos personales.
3. Avanzar en los derechos civiles y de equidad.
4. Defender a los consumidores, pacientes y estudiantes:
   - Avanzar en el uso de IA responsable.
   - Dar forma al potencial de la IA para transformar la educación.
5. Apoyar a los trabajadores:
   - Desarrollar principios y mejores prácticas para mitigar los daños y maximizar el beneficio de la IA para los trabajadores.
6. Promover la innovación y la competencia.
7. Promover un ecosistema de IA justo y competitivo.
8. Garantizar el uso de una IA responsable por parte del Gobierno:
   - Acelerar la rápida contratación de profesionales IA.

Declaración de Bletchley, noviembre 2023[14]

Citamos:

"En el contexto de nuestra cooperación, y para informar la acción a nivel nacional e internacional, nuestra agenda para abordar el riesgo fronterizo de la IA se centrará en:

- *Identificar los riesgos de seguridad de la IA de interés compartido, construir una comprensión compartida científica y basada en evidencia de estos riesgos, y mantener esa comprensión a medida que las capacidades continúan aumentando, en el contexto de un enfoque global más amplio para comprender el impacto de la IA en nuestras sociedades.*
- *Construir respectivas políticas basadas en los riesgos en nuestros países, para garantizar la seguridad a la luz de dichos riesgos, colaborando según corresponda y reconociendo que nuestros enfoques pueden diferir según las circunstancias nacionales y los marcos legales aplicables. Esto incluye, junto con una mayor transparencia por parte de los actores privados que desarrollan capacidades de vanguardia en IA, métricas de evaluación apropiadas, herramientas para pruebas de seguridad y el desarrollo de capacidades e investigaciones científicas relevantes del sector público.*

Para promover esta agenda, decidimos apoyar una red internacionalmente inclusiva de investigación científica sobre la seguridad de la IA, que abarque y complemente la colaboración multilateral, plurilateral y bilateral existente y nueva, incluso a través de foros internacionales existentes y otras iniciativas relevantes, para facilitar la provisión de la mejor ciencia disponible para la formulación de políticas y el bien público.

En reconocimiento del potencial transformador positivo de la IA, y como parte de garantizar una cooperación internacional más amplia en materia de IA, decidimos mantener un diálogo global inclusivo que involucre a los foros internacionales existentes y otras iniciativas relevantes y contribuya de manera abierta a debates internacionales más amplios, y continuar la investigación de vanguardia sobre la seguridad de la IA para garantizar que los beneficios de la tecnología puedan aprovecharse de manera responsable para el bien de todos".

[14] Declaración de Bletchley de los países que asisten a la Cumbre de seguridad de la IA (noviembre 2023).

Acta de Inteligencia Artificial de Unión Europea (UE)

El 14 de marzo de 2024, el Parlamento Europeo aprobó la ley de inteligencia artificial (IA) de la Unión Europea, que constituye una de las primeras normativas integrales sobre IA del mundo.

La Ley de IA de la UE se propone garantizar que "la IA sea digna de confianza, segura y respete los derechos fundamentales de la UE, al tiempo que apoya la innovación".

Esta Ley clasifica los modelos de aprendizaje automático en cuatro categorías en función del riesgo que suponen para la sociedad.

A continuación, detallamos las categorías de riesgo y su definición:

- **Riesgo inaceptable**: son aquellos sistemas de IA que se consideran una amenaza clara para la seguridad, los medios de vida y los derechos de las personas, desde los marcadores sociales de los gobiernos hasta los juguetes que utilizan asistencia por voz que fomentan comportamientos peligrosos, incluyendo los sistemas de identificación biométrica de rostros en lugares públicos.
- **Alto riesgo**: son aquellos sistemas de IA en infraestructuras críticas, en la formación educativa o profesional, en los componentes de seguridad de los productos, en los servicios públicos y privados esenciales, en los que interfieren con los derechos fundamentales de las personas, en la gestión de la migración y el control de fronteras, en la administración de justicia y en los procesos democráticos.
- **Riesgo limitado**: son sistemas de IA a los cuales se exige principalmente niveles de transparencia en su uso, tales como *chatbots* de IA a los cuales se les requiere que los usuarios estén informados y que el contenido generado sea identificable.
- **Riesgo mínimo**: son sistemas de IA tales como aplicaciones de videojuego o filtros de spam que se consideran de uso libre.

La UE ha creado una herramienta llamada *"The EU AI Act Compliance Checker"*, que permite a las organizaciones ver en qué punto se encuentran respecto de esta legislación.

Además, los legisladores añadieron disposiciones específicas para los modelos de IA generativa tales como GPT y Gemini.

Los desarrolladores de modelos de IA de propósito general deberán entregar resúmenes detallados de los datos de entrenamiento utilizados en dichos sistemas y cumplir con la legislación de derechos de autor de la UE.

CAPÍTULO IV

IA EN EDUCACIÓN SUPERIOR

Según la UNESCO, tres áreas vinculan la IA y la educación: **aprender con la IA, aprender sobre la IA y aprender para la IA**. Audrey Azoulay, Directora General de la UNESCO, declara que: **"se van a revolucionar los métodos de enseñanza, las formas de aprender, de acceder al conocimiento, de capacitar a los docentes"**. La IA permitirá alcanzar más rápidamente el logro de los objetivos globales de la educación, ya que reducirá las dificultades de acceso al aprendizaje, aportará la automatización de los procesos de gestión y la optimización de los métodos que permitan mejorar los resultados de aprendizaje. El IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) publica investigaciones y estándares relacionados con la Inteligencia Artificial en ingeniería y educación. La ACM (*Association for Computing Machinery*) organiza conferencias y publica investigaciones sobre IA y educación en ingeniería informática.

Las instituciones académicas líderes en ingeniería, como MIT, Stanford, y Oxford, realizan investigaciones y desarrollan iniciativas sobre el uso de IA en la educación superior en ingeniería. Las empresas tecnológicas como Google, Microsoft e IBM colaboran con instituciones educativas y desarrollan herramientas y plataformas basadas en IA para la educación en ingeniería. La IA afectará en qué es necesario educarse, al desplazar/evolucionar las actividades humanas, en particular de las profesiones. La IA en educación superior tiene un fuerte potencial, en lo referente a procesos de admisión, retención, supervisión y calidad de la educación universitaria, detección temprana de problemas de conducta, estrategias metodológicas en el aprendizaje de personas con discapacidad, favoreciendo el aprendizaje personalizado, dadas las necesidades e intereses de los estudiantes. Abarca diversas aplicaciones, como la personalización del aprendizaje, el análisis de datos para mejorar la toma de decisiones institucionales y la automatización de tareas administrativas. También, participa en sistemas de tutoría virtual y evaluación automatizada, mejorando la eficiencia y ofreciendo experiencias de aprendizaje más adaptativas.

La IA ayudará al proceso de orientación vocacional del estudiante que ingrese a la educación superior, identificando aptitudes e intereses, así como carreras a elegir, sugiriendo universidades y programas afines a los resultados obtenidos por el estudiante. También, ayudará en el análisis de datos de rendimiento y preferencias de los alumnos, con el fin de crear planes de clases y evaluaciones personalizadas, que se ajusten a los puntos fuertes y débiles de cada estudiante.

En la detección temprana de conductas, de ambiente en el que se desenvuelve el estudiante y actitud que este demuestra, el sistema IA obtendrá un perfil del estudiante y recomendará acciones a tomar por parte de las autoridades del establecimiento escolar, grupo familiar y profesionales de apoyo, cuando esto lo amerite.

El estudiante, como aprendiz digital, podrá desarrollar habilidades transversales que le permitan adaptarse a entornos cambiantes, contando con el acceso a recursos educativos globales y así, colaborar con máquinas inteligentes, participando de la formación permanente en el "aprendizaje más allá de la escuela", a lo largo de la vida. La IA puede permitirle innovar en sus áreas de formación educativa, optimizando los procesos de enseñanza-aprendizaje,

esperando que tanto la ética como la confiabilidad de la información manejada estén presentes en el proceso.

La IA toma relevancia también en las "oportunidades para estudiantes con necesidades especiales", ya que puede **proporcionar herramientas y entornos de aprendizaje** personalizados que se adapten a las necesidades individuales de los estudiantes, tales como lectores de pantalla con subtítulos automáticos, software de reconocimiento de voz o programas de traducción automática. También, proporcionando evaluación y realimentación instantánea y adaptiva.

La IA, como herramienta habilitadora de nuevas prácticas, **cambiará la forma de trabajar de profesores y estudiantes**, cambiará el rol del profesor que se transformará en un motivador e inspirador para el estudiante y puede también transformarse en un orquestador de las redes digitales. La colaboración de sistemas y prácticas de aprendizaje innovadores, personalizados y mejorados, la evaluación automatizada y los sistemas de tutoría inteligente adaptados a las necesidades de cada estudiante, podrán ayudar a detectar en forma temprana los problemas de aprendizaje de los estudiantes.

Sin embargo, no se visualiza que en el plazo de la prospectiva (2035) la inteligencia artificial reemplace completamente el trabajo del profesor en el aula, sino que **será utilizada como una herramienta complementaria para mejorar** la calidad de la educación, el proceso de enseñanza por parte de los profesores y el aprendizaje de los estudiantes, a partir de su uso y aplicabilidad.

Métodos, técnicas y herramientas

La investigación en IA en educación lleva décadas desarrollándose a nivel internacional, pero ha experimentado un gran avance en los últimos diez años impulsada por el desarrollo de técnicas de aprendizaje automático, procesamiento de lenguaje natural y redes neuronales de aprendizaje generativas. Las aplicaciones de IA en educación en ingeniería incluyen una amplia gama de modelos, métodos, técnicas y herramientas, destacando las siguientes:

- **Estrategias y Políticas Educacionales**. La IA está ayudando a identificar patrones y perspectivas que puedan servir de base para el desarrollo de nuevas estrategias y políticas educativas, analizando grandes volúmenes de datos.

- **Desarrollo de Nuevos Modelos Educativos**. La IA puede ayudar a impulsar la creación de modelos educativos innovadores, como la educación bajo demanda y la formación continua a lo largo de la vida.

- **Personalización del Aprendizaje**. La IA permitirá una adaptación aún más precisa de los métodos de enseñanza a las necesidades individuales de los estudiantes, adaptando el contenido educativo y facilitando un enfoque personalizado, mejorando de esta forma la eficacia del aprendizaje. A través de simulaciones interactivas se logrará que los estudiantes exploren conceptos de una manera más visual y práctica, adaptando el contenido y la metodología de enseñanza a sus necesidades y habilidades, permitiendo el avance a su propio ritmo y enfoque.

- **Desarrollo de la IA neurosimbólica**. Esta modalidad combina métodos de *machine learning* y sistemas simbólicos para crear modelos de IA más robustos y fiables. Proporciona una infraestructura de razonamiento para resolver una gama más amplia de problemas educacionales de manera más eficaz.

- **Sistemas de Tutoría Virtual**. Ya proporcionan asistencia individualizada, respondiendo a preguntas y ofreciendo orientación, mejorando el apoyo a los estudiantes.

- **Análisis Predictivo y Estadísticas**. Hoy ya se utilizan datos que permiten prever el rendimiento estudiantil, identificar patrones y brindar información valiosa para la toma de decisiones institucionales, lo que será potenciado por la IA.

- **Uso de gráficos de conocimiento**. Como representaciones que siguen un modelamiento de datos gráfico de los mundos físico y digital, incluyendo entidades (personas, empresas, activos digitales) y sus relaciones, puede facilitar la comprensión de temas complejos y la conexión entre diferentes áreas de estudio junto con recomendar trayectorias de aprendizaje adaptadas a las necesidades específicas de los alumnos.

- **Sistemas multiagente**. Como sistema de IA integrado por múltiples agentes independientes e interactivos, que son capaces de percibir su entorno y llevar a cabo acciones. Los agentes pueden ser modelos de IA, programas de software, robots y otras entidades informáticas que pueden contribuir al aprendizaje colaborativo, crear entornos de simulación para aprender conceptos complejos o implementar asistentes de aprendizaje que se ajusten a cada estudiante.

- **Expansión de la Evaluación Automatizada**. La evaluación automatizada mediante IA se volverá más sofisticada, abarcando una variedad de habilidades y competencias más allá de simples respuestas. Facilitará la corrección rápida y eficiente de exámenes y tareas, liberando tiempo para los educadores y proporcionando retroalimentación inmediata. Se espera se produzca un cambio importante en los conceptos de evaluación, desarrollo de tareas y trabajos prácticos, evolucionando hacia la autoevaluación asistida por IA.

- **Uso masivo de Asistentes de IA virtuales y *Chatbots***. Se prevé un aumento en la implementación de asistentes virtuales y sistemas de tutoría basados en IA para brindar apoyo personalizado a los estudiantes, colaborando en la obtención de información rápida sobre cursos, fechas importantes y otros aspectos administrativos. A los profesores les permitirá el acceso rápido a grandes volúmenes de información y conocimiento disperso en redes y bases de datos.
  Los *chatbots* avanzarán en el manejo de fotos, videos, diagramas, gráficos y otros medios. Los *chatbots* pueden utilizar aplicaciones de software, sitios web y otras herramientas en línea, como hojas de cálculo, calendarios en línea. Su comportamiento se parecerá cada vez más al razonamiento humano y realizarán tareas cada vez más complejas en campos como las matemáticas y la ciencia.
  El Chat GPT y sus variantes pueden revolucionar la investigación académica procesando y analizando grandes cantidades de datos con rapidez, descubriendo nuevos hallazgos, generando hipótesis y realizando revisiones bibliográficas más rápido que con los métodos tradicionales. El Chat GPT puede ayudar a los investigadores en la redacción de artículos ofreciéndoles comentarios y sugerencias, e incluso generando partes del texto, creando mayor y más rápido acceso a la información y conocimiento

- **Formación y Gestión de Aprendizaje**. Los sistemas inteligentes habilitarán nuevas formas de gestión, facilitando la administración de cursos, su programación, el seguimiento del progreso estudiantil y su evaluación en forma dinámica. La IA hará más rápida y efectiva la transferencia de conocimiento recientemente generado (resultados de I+D) a la formación.

- **Reconocimiento de Patrones de Aprendizaje**. Al detectar patrones en datos como artículos de revistas, libros y textos digitales extraídos de internet, una red neuronal puede aprender a generar texto por sí sola. La red neuronal también ayudará a identificar con rapidez y precisión, comportamientos de aprendizaje de los estudiantes para adaptar estrategias y mejorar la retención de conocimientos, todo esto, en articulación con la psicología del aprendizaje y la neurociencia.

- **Realidad Virtual (RV) y Realidad Aumentada (RA).** La realidad virtual y la realidad aumentada pueden desempeñar un papel más prominente, ofreciendo experiencias de aprendizaje envolventes y prácticas. Hoy, ya mejoran la experiencia de aprendizaje mediante simulaciones y entornos virtuales inmersivos logrando que el aprendizaje sea más interactivo e inmersivo.

Retos y preocupaciones

Uno de los mayores retos es **garantizar que las herramientas y plataformas basadas en IA sean accesibles** para todos los estudiantes, independientemente de su situación socioeconómica o ubicación. En ese contexto, **la IA ayudará a democratizar el uso de redes y aplicaciones informáticas**, que estarán disponibles para todas las personas que deseen utilizarlas, y que tengan acceso y alfabetización digital, en particular profesores y estudiantes. Para esto, la IA deberá organizarse adecuadamente.

A muchos educadores les preocupa que las herramientas impulsadas por la IA puedan sustituir a la interacción humana y afectar a la calidad de la enseñanza en el aula. La IA ha demostrado ser una herramienta poderosa en la educación, pero no puede reemplazar completamente a los profesores. Aunque la IA se está utilizando en la evaluación automatizada y en la personalización del aprendizaje, la educación y el aprendizaje son una relación social que se celebra entre personas y que, al menos hasta hoy, no existe aplicación que sea capaz de reemplazarlos. En los próximos años será importante garantizar que la IA se utilice de forma que complemente, y no sustituya, a los educadores humanos. El reemplazo se produce efectivamente en ciertas tareas, tales como la tutoría personalizada, evaluación automática de proyectos y tareas, generación de contenido educativo interactivo, simulación de experimentos y proyectos complejos, análisis de datos para investigación y desarrollo de nuevas tecnologías.

La igualdad de acceso a la educación impulsada por la IA beneficiará a todos los estudiantes, en la medida que se organice para ello, también a profesionales de diversas especialidades. Con la creciente disponibilidad de educación en línea y recursos educativos en Internet, es importante garantizar que todos los estudiantes, independientemente de su situación socioeconómica o ubicación, tengan acceso a estos recursos.

El adecuado uso de la Inteligencia artificial se representa por la sigla: F.A.T.E. (*Fairness, Accountability, Transparency and Ethics*) que significa: Imparcialidad, Rendición de Cuentas, Transparencia y Ética.

Colaboración entre Instituciones y la Industria

La colaboración entre instituciones educativas y la industria tecnológica ayudará a mantenerse actualizado con las últimas innovaciones y necesidades del mercado laboral. En la actualidad, se están explorando diversas aplicaciones de la IA en el ámbito educativo, incluyendo la personalización del aprendizaje, la evaluación automatizada, la tutoría inteligente y la detección temprana de problemas de aprendizaje. En el campo de la

ingeniería, la IA se está utilizando para mejorar la eficiencia de los procesos de enseñanza y aprendizaje, así como para desarrollar herramientas de apoyo para la toma de decisiones en la ingeniería. La proyección prevista es una mayor articulación e integración a través de plataformas con IA.

Rol de los estados y los poderes públicos en la aplicación de la IA

En Chile ya existe una estrategia nacional de IA, liderada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, [Política Nacional de IA, 2021], poniendo la IA en la agenda política y mejorando las capacidades estatales en la educación superior, pues solo un alto nivel de conocimiento especializado permitirá aprovechar un sector tan complejo para beneficiar el desarrollo educativo. La IA habilita a los diferentes actores, entre ellos a ejecutivos de gobierno, para ver nuevos desarrollos e innovaciones que no se percibían en tiempos anteriores. También, se desarrollarán agencias públicas educativas especializadas en el desarrollo tecnológico más avanzado y las leyes de Transformación Digital estarán activas para entregar los marcos de referencia para actuar en este dominio.

Las Instituciones de Educación Superior estarán en disposición de participar en alianzas internacionales para el desarrollo, compra y distribución pública de bienes educativos digitales de última generación. Instituciones tales como el Instituto de Ingenieros, Asociaciones académicas y profesionales quedarán habilitadas para proponer y acelerar la implementación de estos adelantos, identificando científicos, educadores, personas claves, profesionales de diversas especialidades y búsqueda de problemas complejos a resolver.

Desafíos futuros de la IA

En cuanto al desarrollo de habilidades del Siglo XXI, la IA puede desempeñar un papel crucial en la integración de habilidades como el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la creatividad en los programas académicos. A continuación, se presentan los principales desafíos que trae la IA en la Educación Superior:

- Ética, Privacidad y Transparencia. A medida que la IA desempeña un papel más importante, se espera un **mayor enfoque en cuestiones éticas**, incluida la equidad en el acceso y la transparencia en los algoritmos, esto es, que los algoritmos revelen, hagan visible, los mecanismos a través de los cuales llegan a producir los resultados. La recopilación masiva de datos estudiantiles plantea preocupaciones éticas y de privacidad que serán abordadas para garantizar un uso responsable de la IA en la educación superior.

- Equidad y sesgo. La IA puede perpetuar sesgos existentes en los datos, lo que podría resultar en desigualdades. Es crucial abordar estos problemas para garantizar un acceso justo y equitativo a la educación superior.

- Interacción humano-máquina. A pesar de lograr grandes avances, es un desafío el **mantener un equilibrio adecuado** entre la tecnología y la conexión humana.

- Adaptabilidad y actualización continua. Dada la rápida evolución de la IA, la educación superior enfrenta el desafío de mantenerse actualizada y adaptarse constantemente para aprovechar las últimas innovaciones que se produzcan.

- **Inversión y acceso**. Se facilita y acelera la implementación de sistemas avanzados de IA, garantizando la inversión adecuada y el acceso generalizado a estas tecnologías para reducir las brechas entre estudiantes o entre distintos grupos demográficos con tecnologías para evitar brechas entre instituciones.

- **Aceptación y capacitación**. La aceptación y adopción de la IA por parte de educadores y estudiantes requiere de una comprensión profunda y de motivación real. La capacitación efectiva es clave para maximizar el potencial de la IA.

- **Desarrollo de contenido relevante**. La creación de contenido educativo que se alinee de manera efectiva con las capacidades de la IA es un desafío, y se necesita un enfoque colaborativo entre educadores y desarrolladores de tecnología. Esto puede evolucionar a proveedores sistematizados de contenidos basados en IA, tal como ocurrió con los textos y las editoriales.

- **Seguridad cibernética**. Con la integración de tecnologías avanzadas, la seguridad cibernética se vuelve aún más crítica para proteger los datos estudiantiles y la integridad de los sistemas educativos. Esto significa proteger la utilización transparente y verificable de los datos relativos a la educación. Estos incluyen desde los datos socioeconómicos y demográficos de los estudiantes hasta los datos relativos a salud estudiantil, beneficios otorgados por el Estado o las propias IES[15], y, por cierto, desempeño académico. Siendo esta información crítica, es muy importante tener la seguridad de que las aplicaciones basadas en IA que la usen, lo harán de manera predecible (ver punto anterior sobre transparencia), segura, y exclusivamente para los propósitos oficialmente declarados y aprobados. Así, es esencial poder garantizar la seguridad no sólo de esta información sino también de los algoritmos que la usan.
  Superar estos desafíos requerirá colaboración entre educadores, desarrolladores de tecnología, legisladores y otras partes interesadas para garantizar un uso ético y efectivo de la inteligencia artificial en la educación superior.

Prospectiva IA en Educación Superior

Es importante tener en cuenta que la prospectiva en este campo está sujeta a cambios, y la adopción exitosa dependerá de cómo se aborden los desafíos asociados, como la ética, la privacidad y la aceptación generalizada, tal como se presenta en la Figura 5 del Capítulo II.

En el *Hype Cycle* de la Inteligencia Artificial de Gartner que se muestra en esta figura, se evidencia que la IA generativa se encuentra ubicada en el máximo de las expectativas en el ciclo de Gartner. Le siguen los modelos fundacionales con parámetros entrenados a partir de una amplia gama de conjuntos de datos; también, los robots autónomos, la inteligencia artificial responsable y la computación neuromórfica[16]. Por otra parte, quienes trabajan en IA observan que la productividad de los desarrolladores, programadores y trabajadores del conocimiento está aumentando sustancialmente.

[15] Instituciones de Educación Superior.

[16] Chips computacionales que utilizan la misma física computacional utilizada por nuestro sistema nervioso.

Impacto de modelos de negocios y políticas públicas en educación superior en ingeniería

En la situación de disrupciones en tecnologías, los modelos de negocios y políticas públicas apoyadas por la Inteligencia Artificial **impactarán fuertemente a la educación superior en ingeniería**. Una vez abordadas las áreas que vinculan la IA con la educación, según la UNESCO, esto es el aprender con la IA y aprender sobre la IA, tomará un rol relevante el "aprender para la IA".

Cambio en el perfil de académicos y estudiantes

Cambiará el perfil de académicos y estudiantes asumiendo los primeros, como facilitadores del aprendizaje, colaboradores tecnológicos y fomentadores de la enseñanza interdisciplinaria y los segundos, como aprendices autónomos, con habilidades críticas y analíticas. Habrá también fuertes cambios pedagógicos como el aprendizaje personalizado y evaluaciones dinámicas. Los académicos y estudiantes tendrán que aprender a comportarse en los estos nuevos contextos educacionales con IA autónoma y también con la mayor autonomía que ellos adquirirán.

Creación de nuevos espacios de enseñanza-aprendizaje

Los sistemas virtuales e inmersivos potenciados con IA **crearán nuevos mundos virtuales de enseñanza-aprendizaje** con la colaboración de profesores, copilotos[17] y sus *avatares*[18] frente a estudiantes que manejarán sus propios *avatares*.

Aumento de las capacidades para resolver problemas complejos

Se producirá un **aumento significativo de las capacidades para resolver problemas complejos** por parte de estudiantes, académicos y directivos en la educación superior en ingeniería. Se puede mencionar como ejemplos representativos de este tema: los desafíos del Desarrollo Sostenible, la respuesta al Cambio Climático, el desarrollo de nuevas Industrias Tecnológicas, la creación de medicamentos y drogas de nueva generación, la proliferación de alimentos basados en síntesis biológica.

Desintermediación y expansión de las profesiones ligadas a la ingeniería

Por otra parte, se producirá una **desintermediación y expansión de las profesiones ligadas a la ingeniería**, generando un aumento y variación de las funciones profesionales en la ingeniería, que son asistidas o reemplazadas por IA, con la ayuda de asistentes virtuales, copilotos, gemelos digitales, entre otros. Resultará de interés el tratamiento que se dará al mayor tiempo disponible que se generará con la automatización/desintermediación.

Autonomía de la tecnología IA respecto de las actuaciones humanas

Puesto que la IA viaja por la red, existe el riesgo de la posible **autonomía de la tecnología IA respecto de las actuaciones humanas**, con efectos no controlables en la sociedad, al no poder ponerle límites y se hace necesario entonces establecer sistemas de vigilancia que ayuden a delimitarla. La seguridad será transversal y se aplicará en todos los ámbitos de la educación superior, evitando los excesos y malas prácticas que se puedan generar en su aplicación, así como el aumento significativo de los potenciales efectos negativos de la tecnología, en particular su uso por actores al margen de la ética y las leyes/normas.

---

17 Asistente de inteligencia artificial (IA) que ayuda a los usuarios a ser más productivos en su trabajo.

18 En Internet y otras tecnologías de comunicación modernas, se denomina avatar a una representación gráfica que se asocia a un usuario en particular para su identificación en un videojuego o un foro de internet.

Aumento de interacciones con robots físicos y virtuales

Con IA habrá un buen número de tareas que no requieren de humanos y en ese contexto habrá un **aumento significativo de interacciones con robots físicos y virtuales en el sector productivo y del conocimiento**. En general, se considera que existirán aspectos automatizables y otros más difíciles de automatizar, tal como el *brainstorming*, que se realizarán en forma presencial o semipresencial.

Se prevé que pueden aparecer formas de inteligencia distintas de las actuales, como por ejemplo ciertas variantes de la inteligencia emocional.

La IA permitirá el desarrollo acelerado de la transdisciplina, que será alimentada principalmente por los problemas multisectoriales que requieren de una mirada global e integral.

En cualquier situación futura, se percibe la necesidad de un cambio cultural, que se presenta como un desafío relevante de Educación Superior, en particular en Ingeniería, en las diversas actuaciones humanas para aprovechar equitativamente los beneficios de la IA, así como neutralizar los riesgos/efectos negativos.

CAPÍTULO V

IA EN ENERGÍA

La inteligencia artificial aplicada a energía acelera procesos, pero requiere de la disponibilidad de datos, como por ejemplo la información entregada por medidores inteligentes, no solamente en generación, transmisión y distribución eléctrica, sino también información de los consumidores. Esto permite un **cambio de modelo de negocios, cambio en el mercado energético**, en especial el mercado eléctrico, y **cambios culturales** incentivando la competencia en toda la cadena productiva y logística.

Se amplía el concepto de energía, actualmente sectorizado, para englobar un servicio de energía al consumidor-productor no solamente en electricidad sino también en soluciones térmicas, por ejemplo, calentamiento de agua y calefacción, incluyendo posteriormente optimización de agua y de eficiencia energética. Además, permite avanzar a la eliminación de los combustibles fósiles, reemplazados en aplicaciones térmicas por energías renovables, como electricidad y geotermia de baja entalpía[19].

Impacto de la IA

La Inteligencia Artificial acelera los elementos descritos en los escenarios en especial en el Escenario II con temas como: **disminución de la pobreza energética, aumento de la competencia, información transparente** para todos los involucrados y la comunidad, **empoderamiento a la demanda**. Los temas que tendrán una mayor aceleración por incorporación de inteligencia artificial son los siguientes:

Electromovilidad en todo el transporte público y privado

La inteligencia artificial acelerará la eficiencia en la recarga de vehículos eléctricos de todo tipo, **optimizando el consumo y costo de electricidad, permitiendo almacenamiento y venta de energía a la red pública en forma inteligente**, transformando los vehículos en un prosumidor[20] autónomo y una unidad de generación-consumo manejada en forma autónoma.

Disminución de la pobreza energética para todos los habitantes

La inteligencia artificial **acelerará el enfoque para considerar superada la pobreza energética**[21] al tener una temperatura adecuada, invierno y verano en los edificios, integrando electricidad, calentamiento de agua, calefacción distrital, geotermia de baja entalpía y eliminación de combustibles fósiles y de la leña como combustible. También permitirá incorporar los elementos de aislación y diseño energético de viviendas y adelantarse a cambios climáticos de corto plazo.

---

19 La geotermia de baja entalpía se basa en la capacidad que posee el subsuelo de acumular calor y de mantener una temperatura constante, entre 10 y 20 m de profundidad, a lo largo de todo el año.

20 Productor y consumidor.

21 Enmarcada en ODS 7 de Naciones Unidas, la pobreza energética es cuando un hogar no tiene acceso equitativo a servicios energéticos de alta calidad para cubrir sus necesidades fundamentales y básicas.

Redes eléctricas digitalizadas y empoderamiento de la demanda

El actual desarrollo de la Inteligencia Artificial y sus pronósticos de mejoramiento operacional permite integrar energía, tecnología, y modelos de negocios ampliando la incorporación de nuevos operadores en los mercados.

Para realizar este avance se requiere simultáneamente la incorporación de sensores en toda la red, sus componentes, generación y consumo, ya que sin sensores no existen datos ni información para los procesos de IA. Además de la información para procesos, los sensores deben entregar información en forma amigable para potenciar un cambio cultural, empoderamiento del consumidor, y democratización de la información.

Se visualiza una transformación desde el prosumidor individual a prosumidor integrado a una nueva cadena de micro y macro redes[22], permitiendo la **descentralización del control del sistema eléctrico y un mayor poder de mercado de los consumidores**.

Aceleramiento de procesos

La IA contribuye al aceleramiento de procesos, entre ellos, el **mejoramiento de la calidad de vida de las personas y el cambio cultural en la sociedad**.

Calidad de vida de las personas y comunidades

La información que se puede obtener por el manejo de datos con Inteligencia Artificial permite englobar el sector energía, agua y clima y al integrar dicha información se adelanta a cambios futuros permitiendo anticiparse las personas a dichos cambios, obteniendo una mejor calidad de vida.

También esta globalización de datos permite mejorar la calidad de vida de las personas, al tener información integrada de electricidad, calefacción, agua, agua caliente, aislación de viviendas, condiciones climáticas actuales y pronosticadas, confort personal y no la solución disgregada de cada uno de los problemas individuales permitiendo entre otras cosas disminuir la pobreza energética en forma eficiente y más económica.

Cambio cultural en la sociedad

La disponibilidad y el procesamiento de información de las personas y su entorno realizada por inteligencia artificial, permitirá que las personas puedan intervenir en el mercado de energía en forma fácil, avanzando aceleradamente en etapas de prosumidor, integrante de micro y macro redes, generando nuevas oportunidades de mercado, optimizando su consumo y facturación y descentralizando el control del sistema energético, en especial eléctrico, tanto para clientes residenciales como para los grandes clientes libres.

Estos elementos dan a las personas un empoderamiento frente a las grandes empresas, incorporando además la realidad de su territorio, su región, su comuna, su barrio, avanzando en democratización y compromiso de las personas con el cambio climático.

Esto es complementario al protagonismo de las personas en el desarrollo social y al aumento de asociatividad y colaboración entre empresas, ya descritos en el libro[23].

---

[22] Debido a la capacidad de autogeneración que poseerán debido a las energías renovables, principalmente solar.

[23] Prospectiva de la Ingeniería Chilena. Transformación Digital e Industria 4.0. Instituto de Ingenieros de Chile en agosto 2023 con colaboración de USM.

Se debe integrar en forma temprana a las personas en el uso de inteligencia artificial y sus potencialidades, para mejorar la participación de mercado de las personas, evitar los errores del pasado como fue el rechazo al uso de medidores inteligentes. Las personas deben cambiar culturalmente para manejar información, empoderarse en sus decisiones y participar en forma activa en el mercado de energía y dejar de ser sujetos pasivos.

CAPÍTULO VI

IA EN TRANSPORTE

En el sector Transportes, la IA también está reemplazando a pasos agigantados algoritmos desarrollados con técnicas tradicionales y cada día en mayor proporción, la IA participa en la toma de decisiones, y eso estimamos que se verá reflejado en un adelantamiento y mayor alcance del **Escenario II**, dejando el **Escenario I** atrás en el año 2035.

Dado lo diverso y amplio del análisis, parece más adecuado aproximarse mediante ejemplos reales, aunque estos sean aplicados solamente a un subsector más acotado.

Automóviles

Hace ya algún tiempo, hay vehículos en el mercado con sistemas de IA sencillos (no adaptivos)[24], empleados en asistentes digitales y en algunas funciones de los sistemas de seguridad. Recientemente, algunos fabricantes han desarrollado funciones basadas en IA con aprendizaje automático. Por ejemplo, control de velocidad de crucero que reconoce, analiza y aprende de los patrones de conducción del conductor, para mantener la distancia con el coche que nos precede, acelerar y responder de una forma idéntica a como lo haría el propietario del vehículo, de manera que el conductor siente que el automóvil reacciona como él mismo lo haría.

La IA con aprendizaje profundo (*deep learning*) todavía no está en el mercado de medios de transporte terrestre, pero sí en desarrollo por múltiples fabricantes de automóviles para lograr automóviles autónomos de verdad, sin conexión a un sistema central. Por ejemplo, la *start-up* británica Wayve[25] consiguió que un automóvil aprendiera a conducir sin salirse de la carretera tras doce intentos y numerosas correcciones por parte del conductor humano que se realizaron en 20 minutos. Esa *start-up* afirma que ha desarrollado el primer coche autónomo capaz de circular en el tráfico real recurriendo tan sólo a cámaras, un navegador GPS, e IA; en particular, utiliza *deep learning* para aprender a conducir por experiencia, ejemplo y *feedback*, tal como un ser humano.

Puertos

Durante el *peak* de la pandemia, era común ver en los puertos marítimos de todo el mundo flotas de buques portacontenedores esperando para descargar. La falta de trabajadores y las medidas de seguridad en los muelles fueron en parte responsables de este retraso, pero el verdadero problema fue la cadena de suministro global. El camino más efectivo para resolver estos problemas está en el uso intensivo de IA, que se alimenta dinámicamente de millones de variables.

---

[24] Sistemas diseñados para realizar tareas específicas y limitadas, como reconocimiento de voz, identificación de imágenes o traducción de idiomas que no tienen capacidad de aprendizaje o adaptación.

[25] https://wayve.ai/

En los puertos de Nueva York, Los Ángeles, Nueva Jersey, Hamburgo, Shanghai, Singapur y muchos otros están implementando aceleradamente planes para interconectar todo lo que interviene en el proceso que se desarrolla en los puertos (buques, contenedores, grúas, camiones, almacenes que reciben la carga y tráfico). Sólo a modo de ejemplo, la IA hace posible la previsión de un ETA[26] de los buques mucho más exacta, lo que permite cambiar todos los aspectos de las operaciones portuarias, creando un efecto dominó de beneficios para la planificación y asignación de la organización del puerto de escala.

Aeropuertos

En el **Escenario II** del libro anterior sobre prospectivas de la ingeniería chilena[27] ya se explicaba cómo la incorporación de tecnología será clave para coordinar los flujos de personas y para que los procesos sean más eficientes.

El uso intensivo de IA permite anticipar en forma significativa esa proyección. Así, Delta Airlines, en conjunto con Aduanas de USA ya tiene implementada IA para en el aeropuerto internacional de Atlanta. Los sensores de todo tipo detectan y siguen a cada persona y maleta por el aeropuerto, los reconocen, les permiten acceso a donde deben, verifican su documentación, y los pasajeros finalmente llegan o salen del aeropuerto sin ninguna barrera, en forma cómoda y expedita, y al mismo tiempo con más seguridad para los países y los vuelos. Este es sólo uno de los usos de IA que hoy se aplica en aeropuertos.

[26] ETA es la fecha en la que se estima que un contenedor llegue al puerto de destino (Estimated Time of Arrival).

[27] Prospectiva de la Ingeniería Chilena. Transformación Digital e Industria 4.0. Instituto de Ingenieros de Chile en agosto 2023 con colaboración de USM.

CAPÍTULO VII

IA EN *SMART CITIES*

La IA está impactando en todas las actividades y procesos que se desarrollan en una ciudad; las aplicaciones incluyen la automatización de almacenes, los vehículos autónomos, el análisis predictivo y las carreteras inteligentes, la vigilancia preventiva ante la ocurrencia de delitos y, en general, todo lo que ocurre en una ciudad, simplificando y automatizando numerosos procesos. Veamos algunos ejemplos.

Garantizando la seguridad de todos los usuarios

La seguridad de los pasajeros y conductores es una de las principales preocupaciones de las ciudades con relación a la industria del transporte. La IA puede reducir errores humanos y supervisar el cumplimiento de las normas de seguridad, tanto en automóviles particulares, como en transporte terrestre de todo tipo, por ejemplo, para detectar que un conductor tenga el comportamiento correcto, y más allá de ello, para determinar cambios en dicho comportamiento que hagan prever una situación anómala o de riesgo. Este tipo de aplicaciones tendrá un impacto especialmente importante para buses de transporte público y transporte de carga.

Eventos Indeseados en la vía pública

Hoy en día, ya se encuentran implementadas en la vía pública cámaras de video capaces de procesar lo que está ocurriendo en las calles, aprendiendo del comportamiento de las personas en cada barrio y cada casa, y de esta manera generar alarmas cuando ocurran situaciones que podrían preceder a un robo, un accidente, o muchas situaciones indeseadas. Estamos hablando de predecir eventos, no sólo registrarlos y generar las alarmas, con capacidades que ya hoy sobrepasan a las humanas.

Planificación y programación eficientes

Gigantes como Amazon y Google han comenzado a invertir en IA, puesto que puede ayudarlas a ahorrar recursos en todos sus procesos, para dar un salto en competitividad. Por ejemplo, uno de los usos de la IA es la programación óptima de rutas dinámicas en línea, con detección de tráfico para ajustar la ruta en tiempo real y minimizando tiempos de viaje. A diferencia de algoritmos tradicionales, el uso de IA permite el análisis de una cantidad de datos muy superior, entre los que se encuentra la información logística, una vista sobre las rutas, el comportamiento del conductor, el clima, entre otros, lo que permite actualizar en línea el proceso de planificación del transporte.

Automatización de despacho desde centros de distribución

Para el retail, el despacho de productos a consumidores es un problema de dimensiones insospechadas. Por ejemplo, una empresa con miles de centros de distribución en todo el mundo, cientos de miles de vehículos que toman pedidos desde esos centros, y

millones de clientes que esperan recibir sus productos a la brevedad, tiene una función de optimización que resulta imposible de modelar en forma dinámica, en línea. Hoy en día, ya existen sistemas que son capaces de tomar las decisiones utilizando IA en forma profunda, aprender de sus decisiones y mejorar día a día. Eso, que en el año 2023 parecía futuro, se está aplicando actualmente.

Predicción y monitoreo del tráfico

El tráfico es un problema significativo para el transporte, ya que puede provocar demoras, accidentes y desperdicio de combustible. La IA en el transporte puede predecir las condiciones del tráfico utilizando técnicas de pronóstico con datos de monitoreo del tráfico, información sobre eventos deportivos o masivos en general, o construcciones en la ciudad, e incluso calcular automáticamente rutas alternativas para evitar demoras.

CAPÍTULO VIII

IA Y CIUDADES SÍSMICAMENTE RESILIENTES

La inteligencia artificial tiene las siguientes importantes aplicaciones en Ingeniería Civil e Ingeniería Sísmica:

Aplicaciones en Ingeniería Civil e Ingeniería Sísmica

Diseño eficiente y optimización

La IA puede procesar rápidamente gran cantidad de datos y proponer soluciones de diseño óptimo, permitiendo a los ingenieros **tomar decisiones debidamente informados**.

Por ejemplo, la IA puede suministrar numerosos casos de interacción de diseño estructural en menos tiempo que un ser humano, destacando la mejor opción en términos de materiales, seguridad y costo.

Mantención predictiva

Para estructuras existentes, la IA puede ser empleada para predecir cuándo se requiere una mantención. Analizando datos de sensores colocados en la estructura (ejemplos: puentes o edificios), puede detectar anomalías o puntos de potenciales fallas y con ello alertar anticipadamente a los ingenieros.

Verificación automática de normas o códigos

Normas o códigos de edificios pueden ser complejas y varían según el país. Los sistemas de IA pueden ser entrenados para **verificar automáticamente el cumplimiento de estos diseños** según estos códigos, asegurando su acatamiento, ahorrando valioso tiempo a los ingenieros.

Incremento en las simulaciones

La IA puede **mejorar la precisión de las simulaciones empleadas** en ingeniería estructural. Por ejemplo, la predicción del comportamiento de estructuras complejas en terremotos u otros eventos catastróficos puede ser mejorada con algoritmos de IA.

Gestión de proyectos (*project management*)

La IA puede ayudar más eficientemente en la programación, presupuesto y administración de los recursos. El análisis predictivo permite **predecir potenciales atrasos o sobrecostos**, permitiendo así la oportuna intervención.

Investigación de materiales

La IA puede ser empleada para **analizar y predecir el comportamiento de nuevos materiales** o combinaciones de nuevos materiales. Esto puede ayudar a la creación de estructuras más fuertes, más durables o convenientes.

Monitoreo de la construcción en terreno

La IA potenciada con drones o robots puede monitorear la construcción en terreno, **asegurando que la construcción en desarrollo cumpla con el diseño** planificado, detectando cualquier anomalía o potenciales problemas.

Aprendizaje y desarrollo

La IA puede ayudar a desarrollar programas de entrenamiento para ingenieros basados en requerimientos y desarrollo profesional.

Gestión de grandes datos

Las empresas de ingeniería estructural tienen frecuentemente amplias bases de datos no organizadas en la forma de informes, notas o emails, el Procesamiento del Lenguaje Natural (NLP), un subcampo de la IA puede obtener información valiosa de estos datos, permitiendo a las empresas obtener una visión más profunda que, de otra forma, podría quedar oculta.

Mejoramiento de seguridad

La IA puede ser empleada para predecir asuntos potenciales de seguridad, ya sea durante la etapa de construcción o después de la construcción de una estructura. La IA puede suministrar recomendaciones para mejorar la seguridad mediante el análisis de incidentes pasados o condiciones actuales.

Estimación de costos

La IA puede ser entrenada para obtener estimaciones de costos más precisos basados en información histórica, costos de los materiales, usos de la mano de obra u otros factores relevantes.

Limitaciones de bases de datos reducidas

La IA generativa requiere de bases de millones de datos, situación que no se da en la ingeniería civil.

Por ello hay una necesidad que la IA aprenda de conjuntos de datos seleccionados más pequeños en la medida que se vayan agotando las grandes fuentes de información para entrenar los modelos.

Estas bases de datos pequeñas requieren filtrado de los datos para obtener un espacio de resultados representativo, lo que puede conducir a datos prejuiciados que aumenta el prejuicio de la predicción. Ello normalmente requiere de ingenieros calificados que evalúen el realismo de los resultados, evitando alucinaciones.

Aplicaciones incipientes

Las aplicaciones de IA en ingeniería estructural a nivel mundial son en este momento incipientes, especialmente en diseño eficiente y mantención predictiva[28].

En Chile hay solo unos pocos casos pioneros de aplicación efectiva de IA. Las aplicaciones posibles en los escenarios I y II se indican a continuación.

Escenario I

En este escenario se espera que la aplicación de la IA se desarrolle más que los actuales casos. Algunos usos de la IA serán los siguientes:

[28] Las aplicaciones que se mencionan de la IA en ingeniería estructural y sísmica se obtuvieron parcialmente mediante Chat GPT.

En diseño eficiente:

- Las herramientas de IA y los algoritmos de optimización permitirán a los ingenieros **crear diseños estructurales más eficientes**, minimizando el uso de materiales y maximizando la resistencia y durabilidad de las obras.
- La IA generará diferentes alternativas para el diseño de estructuras a partir de diversos parámetros, permitiendo a los ingenieros elegir la **opción más eficiente en términos de costos y efectividad**.
- Las herramientas que utilizan IA recomendarán modificaciones o mejoras en los diseños en base a datos históricos y simulaciones, haciendo posible **prever el comportamiento de las estructuras frente a diferentes solicitaciones**.

En mantenimiento predictivo:

- Se implementarán sensores IoT junto con IA para monitorear y analizar datos en tiempo real y **detectar deterioro o daños en las estructuras**.
- Se utilizarán algoritmos de aprendizaje automático para analizar datos históricos y **predecir cuándo se necesitarán reparaciones o mantenimiento en componentes estructurales**.
- Con métodos avanzados de IA se realizarán **análisis de causa raíz para fallas estructurales**, facilitando la mejora continua en el diseño y la construcción.
- La integración de IA con BIM[29] permitirá **predecir las necesidades de mantenimiento** y optimizar la vida útil de un edificio.

Escenario II

La IA tiene un desarrollo vertiginoso, lo que puede significar que se desarrolle la IA capaz de realizar aplicaciones a ingeniería como las que se indican a continuación:

En diseño eficiente:

- Aparecerán nuevos actores: arquitectos, ingenieros y diseñadores de software que colaborarán en plataformas habilitadas por IA que integrarán diferentes disciplinas, entregando un enfoque integral en el diseño estructural.
- Se realizarán proyectos que permitirán que profesionales de diferentes disciplinas contribuyan a mejorar los diseños estructurales mediante retroalimentación y análisis asistidos por IA.
- La integración de Realidad Aumentada y Realidad Virtual permitirá **visualizar y simular diseños en entornos tridimensionales** haciendo posible que arquitectos e ingenieros tomen decisiones de diseño más efectivas.
- Las plataformas que utilizarán IA realizarán análisis de simulación en tiempo real en las que se integrarán las condiciones del entorno para ajustar y optimizar el diseño.

En mantenimiento predictivo:

- Se instalarán redes de sensores distribuidos que recopilarán datos sobre el estado de las infraestructuras y la IA **analizará esta información en tiempo real permitiendo una vigilancia constante**.
- Se utilizará IA para fusionar datos de múltiples fuentes como sensores, datos históricos de mantenimiento y modelos climáticos, creando un **sistema de análisis predictivo** más robusto.
- Se desarrollarán plataformas de IA que automatizarán la programación y ejecución de mantenimiento preventivo, basándose en el análisis predictivo y el estado real de las estructuras.
- Nuevos actores utilizarán IA para identificar y analizar tendencias en el desgaste de materiales y estructuras permitiendo un enfoque proactivo en la investigación y el desarrollo de nuevos materiales.

[29] Building Information Modeling.

CAPÍTULO IX

IA EN MANUFACTURA

Visión 2035

Escenarios I y II: optimización, innovación y aceleración de los impactos IA

La industria manufacturera (metalmecánica, maquinarias, plástico, eléctrica, electrónica, madera y otras) está siendo impactada por la IA y las tecnologías I4.0. **El impacto aumentará significativamente hacia 2035 como consecuencia de la profundización de los desarrollos en diversas modalidades de IA y su integración sinérgica** con IoT, analítica avanzada, RV/RA/RX, gemelos digitales y simuladores, asistentes virtuales (copilotos), comunicaciones 5G y transición a 6G, plataformas *cloud* de alto desempeño, robótica avanzada, otras tecnologías I4.0, fuentes de energías renovables, biotecnología, nanotecnología. Diversos estudios[30] de entidades internacionales señalan el significativo impacto de la IA en la industria.

Entre las modalidades principales de IA: *machine learning* para detectar patrones de comportamiento con algoritmos y data automática; *deep learning* —subconjunto de *machine learning*— para reconocer objetos en imágenes y vídeos usando redes neuronales objetos; agentes con IA que gestionan tareas en forma autónoma como robots colaborativos o vehículos y dispositivos conectados; inteligencia artificial generativa

En el Escenario I se proyecta la optimización de los procesos, productos, servicios y sistemas manufactureros existentes. También, **algunas innovaciones incrementales**. Lográndose **significativos mejores niveles** de: calidad, sustentabilidad, efectividad, productividad, disminución de costos, aumentos de continuidad operacional; descarbonización, reducción de consumo de agua y otros recursos críticos; aumentos de seguridad; gestión integrada y dinámica de la producción (indicadores económicos - ambientales - sociales) en contextos complejos y con incertidumbre; progresión en la economía circular.

El **Escenario I** considera impacto tanto en **grandes fábricas como en medianas y pequeñas, al aumentar el acceso a soluciones escalables, de menor costo y mayor valor**.

Los usos de **IA en manufactura son variados, ya que esta industria es cada vez más intensiva en datos** provenientes de procesos productivos, transporte y logística, articulaciones con clientes y proveedores, necesidades e intereses de las personas, regulaciones.

Ejemplos de usos diversos de IA en manufactura: mejoramiento de la detección automática de defectos en objetos industriales usando sistemas inteligentes de análisis; sistemas productivos cuasi autónomos; mantenimiento predictivo avanzado y de menor costo; proyección más precisa de la demanda y respuesta productiva sincronizada; sistemas productivos diseñados para disminuir el desperdicio de materiales; mayores y mejores espacios de colaboración entre personas y máquinas en los procesos productivos y en los ecosistemas industriales.

---

[30] Por ejemplo, informe de Mckinsey 2024: https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/adopting-ai-at-speed-and-scale-the-4ir-push-to-stay-competitive

A diferencia del Escenario I (basado en la optimización de los productos, procesos y encadenamientos productivos existentes), en el Escenario II, la IA acelerará disruptivamente la innovación en manufactura, al habilitar nuevos materiales, nuevos procesos productivos, nuevos roles de las personas, nuevos productos y servicios. **La IA se integrará profundamente con las otras tecnologías I4.0** como dinámica de desarrollo sustentable y competitivo de la industria nacional y su proyección internacional. En el **Escenario II se proyecta el surgimiento de nuevos tipos de actores en la industria** que son habilitados por la IA (desde nuevo tipo de empresas manufactureras hasta sistemas autónomos o semiautónomos de manufactura).

Se experimentará una transición (compleja y con incertidumbre) desde productos y servicios con desempeños mejorados / optimizados (característicos del **Escenario I**) hacia productos y servicios disruptivamente innovadores de significativo mayor valor económico, ambiental y social —en forma simultánea— que habilitan impactos notables en los usuarios (nuevas y mejores realidades, riesgos importantes).

Riesgos y desafíos de IA en manufactura

La **IA presenta riesgos importantes para las personas, la sociedad y la propia industria**. Entre ellos, riesgos por: efectos colaterales de la tecnología (desplazamiento laboral desbalanceado, inequidad); mal uso o uso malicioso (actuaciones fuera de las normas y marcos éticos necesarios); atraso en el uso de la IA respecto de sociedades que la usan bien y oportunamente.

Aumentará significativamente el riesgo —en ambos escenarios— de que industrias de otros países desplacen la industria nacional al desarrollarse más rápidamente usando la IA. Asimismo, el **riesgo de que las acciones humanas en las nuevas fábricas/entidades automatizadas sean desplazadas por sistemas con alta autonomía**. Esto plantea el desafío de la articulación efectiva del desarrollo industrial con las políticas públicas (anticipación y fomento, transición laboral con calidad), en contexto de impacto IA.

Aumentarán los potenciales efectos negativos de las tecnologías usadas en productos / servicios / sistemas manufactureros. En particular: aumento de asimetrías, inequidad y de sesgos en el acceso a productos; de noticias falsas sobre productos y sus usos; aumento de manipulación de los usuarios; aumento de la segmentación y autorreferencia de segmentos de la sociedad por accesos a los productos; uso malicioso por actores al margen de las éticas y las leyes/normas (crimen organizado, actores sociales o políticos). Esto plantea el **desafío de diseños de nueva generación de productos y servicios** más satisfactorios para las personas, mejores estándares éticos y prácticas de gestión en todo el ciclo de vida.

En el **Escenario II, se hace posible la autonomía progresiva de los sistemas** de manufactura basados en IA y tecnologías I4.0 respecto de las actuaciones humanas, con efectos eventualmente no controlables —o poco controlables— en la sociedad. Tanto la autonomía de IA alineada con la sociedad / humanidad (por ejemplo, en vehículos autónomos) como la posibilidad de autonomía de IA fuera del control humano plantean el **desafío de anticipar esta posibilidad e idear soluciones** que preserven el control humano sobre los sistemas basados en IA.

Aumentará el desafío de seguridad —física y digital— en la industria manufacturera, y asociadamente para la vida y activos de las personas, empresas, instituciones, organismos públicos, infraestructuras, incrementando el potencial de proveer seguridad a las personas, los productos y servicios manufactureros; y también el mayor riesgo por diseños inadecuados o por uso malicioso.

Todo lo anterior implica un aumento de la **necesidad y la urgencia de avanzar en las siguientes dimensiones asociadas a IA: prevención sistematizada de riesgos y sus efectos, diseño de nuevas soluciones más efectivas que las actuales y regulación adecuada**, apalancando los importantes beneficios que representa la IA y proyectando un balance positivo hacia 2035.

IA: nuevos modelos industriales y transición del empleo

La industria manufacturera acelerará su transformación al usar proactivamente nuevos modelos operacionales y productivos, de negocios y de políticas públicas habilitados por IA y otras tecnologías I4.0 (IoT, gemelos digitales, analítica avanzada, plataformas *cloud* y otros) articuladas sinérgicamente, respondiendo a las **demandas crecientes de la sociedad por soluciones** radicalmente sustentables y de mejor calidad de vida, y a las oportunidades en los mercados.

Los consumidores, profesionales, técnicos y trabajadores (diferentes roles) tendrán **acceso a sistemas/algoritmos IA para uso directo en sus ámbitos relevantes**, desde usuarios empoderados hasta profesionales y técnicos asistidos por copilotos virtuales basados en IA. Una parte importante de las funciones profesionales y técnicas (por ejemplo, diseño, implementación, operación, mantenimiento y gestión en Ingeniería) será asistida o reemplazada por IA.

Esto implicará **cambios significativos en el empleo**: eliminación o disminución de posiciones actuales, surgimiento de nuevas posiciones en manufactura e industrias asociadas. Las funciones estructuradas o basadas en los activos de conocimiento accesible (data y su uso) tenderán a ser remplazadas por sistemas digitales (con mayor efectividad, calidad y seguridad que las acciones humanas); la labor humana se orientará a las funciones no estructuradas, a la creación de nuevos productos y servicios, a nuevas actividades de interés para las personas.

Se proyecta, entonces, la **expansión de las profesiones hacia ámbitos a ser creados**, basada en el mayor tiempo disponible que se generará con la automatización/desintermediación de las funciones manufactureras estructuradas, **configurando nuevos espacios profesionales y técnicos**, y de actuación de los consumidores/usuarios (aumentando su influencia en los diseños y en la posibilidad de manufactura a escala adaptable).

Aumentarán significativamente las **capacidades de profesionales, instituciones, organismos y empresas para resolver problemas complejos** en la industria manufacturera, en particular, de los desafíos del desarrollo sostenible, la respuesta al cambio climático, el desarrollo de nuevas industrias (en particular, tecnológicas).

IA: importancia de la data de calidad y el cambio cultural

En ambos escenarios se requiere de suficientes datos de calidad —grandes volúmenes actualizados continuamente— para desarrollar sistemas de IA confiables para la manufactura avanzada, tanto data factual como data sintética.

En el diseño, gestión y uso de datos para productos – servicios – sistemas basados en IA será cada vez **más crítico el comportamiento con altos estándares**: transparencia, tratamiento justo a las personas, privacidad, *accountability,* responsabilidad profesional y de las entidades, control humano, propiedad intelectual, con gobernanza adecuada.

Aumentará significativamente la necesidad de cambio cultural en las diversas actuaciones humanas de la manufactura e industrias asociadas, para aprovechar equitativamente los beneficios de la IA y neutralizar los riesgos/efectos negativos, en particular, para la **colaboración efectiva y sinérgica entre organismos, empresas, instituciones y personas**.

Despliegue de la IA en manufactura

El **despliegue de IA en manufactura puede proyectarse en fases**. En una fase inicial, **se enseña a la IA a realizar tareas observando las acciones** de personas y máquinas. Con el tiempo, aprenderá a **realizar una variedad de tareas sin necesidad de una supervisión alta**.

En unas fases siguientes **se amplía con data de diversos actores** (operadores internos, clientes, proveedores, asociados, plataformas de acceso a conocimiento global) para entrenar la IA, considerando la concurrencia de otras tecnologías I4.0 según las características de los respectivos procesos productivos. Los resultados se obtendrán rápidamente y se analizarán con la data almacenada, **resultando una IA con acceso al conocimiento colectivo y la habilidad para internalizar los conocimientos y prácticas de otros, y ampliarlos**.

En fases posteriores es posible el uso de otras formas de **aprendizaje en la manufactura**.

Prospectiva 2035: Manufactura e IA

Con IA articuladas con otras tecnologías I4.0, se acelerará la transición hacia productos y servicios optimizados (Escenario I) y otros de nueva generación que habilitan nuevas realidades en sus usuarios (Escenario II)

Se acelerará la tendencia de disminución y retiro de algunos productos y servicios manufactureros. Por ejemplo, equipos, dispositivos, materiales con niveles inaceptables de: tasas de fallas u obsolescencia; huellas de carbono, hídrica o de residuos altas.

Simultáneamente, **se acelerará la innovación y desarrollo de productos y servicios manufactureros** que usan tecnologías avanzadas I4.0 para aumentar significativamente sus funcionalidades, desempeños y capacidades de habilitación de nuevas realidades con su uso, **respondiendo a los cambios** en los mercados y hábitos de los consumidores, las demandas de la sociedad y regulaciones más exigentes.

Por ejemplo: auto producción de partes y piezas in situ; equipos y dispositivos inteligentes y crecientes capacidades de autonomía; sensores inteligentes para nichos industriales (fundiciones, usos marítimos, otros); alimentos de nueva generación (biosintéticos y otros[31]); sistemas productivos, equipos y dispositivos mecánicos y eléctricos de nueva generación (digitalizados integralmente para aplicaciones en minería, energía, agricultura, infraestructura y otros ámbitos); manufactura aditiva escalable en industria de la construcción; prótesis y órtesis de nueva generación para salud; equipos y sistemas para laboratorios inteligentes (con usos desde educación hasta aplicaciones industriales); I+D e innovación asistida por IA, orientados a crear productos y servicios de nueva generación, con ventajas competitivas en los mercados internacionales; diseños sistémicos resilientes, flexibles, adaptativos; mantenimiento predictivo y adaptativo de alto desempeño; ingeniería para diseñar y construir soluciones de más valor económico, social y ambiental; servicios de aseguramiento de sustentabilidad desde el diseño; servicios de participación activa en economía circular desde la concepción y diseño.

[31] Si bien la elaboración de alimentos de nueva generación se acelerará con el uso de tecnologías avanzadas I4.0, no existe consenso respecto a su actual condición higiénica o saludable. Estudios señalan una conexión directa entre el consumo de estos alimentos y el aumento de problemas de salud: obesidad, hipertensión, diabetes tipo 2 y sobrepeso. Además, estos alimentos pueden incluir ingredientes adictivos. En este estudio de prospectiva hacia 2035 se considera que esta situación se podrá superar con políticas públicas articuladas con la industria 4.0.

Estos **productos y servicios usarán intensamente las tecnologías I4.0, articuladas por IA**, para lograr la habilitación de nuevas funcionalidades, desempeños y realidades para sus usuarios, generando innovación sustantiva en las industrias.

Los **desafíos de ingeniería que plantean estas transformaciones** son: identificación de algunos ámbitos de I4.0 para ir a la vanguardia; desarrollos de IA en torno a ellos; gestión de innovación incremental y disruptiva, articulada con calidad (más allá del mejoramiento continuo); participación en el estado del arte internacional en las tecnologías manufactureras 4.0 y sus formas de aplicación; profundización de la investigación y desarrollo en forma competitiva internacionalmente en los respectivos ámbitos manufactureros; uso avanzado de plataformas digitales; inserción intensa en los mercados internacionales (internacionalización, no solo exportación); velocidad suficiente para ir "un paso más adelante" en ámbitos aptos para Chile, respecto de algunas industrias de países de avanzados; sinergia importante a escala internacional; ingeniería integrada de tecnologías I4.0 con otras (tecnologías de materiales, nanotecnología, super materiales, biotecnología, tecnologías de energía); aumento de autonomía de máquinas y sistemas productivos (**Escenario II**).

Despliegue de productos y servicios avanzados (Escenario I) y de nueva generación (Escenario II), basado en tecnologías I4.0 potenciadas con IA, que habilitan impactos muy positivos en la sociedad, pero también, riesgos importantes que deben ser abordados

Con el **aumento de innovación incremental y disruptiva, integrado con IA, aumentará el despliegue de productos y servicios** avanzados y de nueva generación industrial, que satisfacen simultáneamente las necesidades y aspiraciones de los actores económicos y personas, así como el logro de la sustentabilidad ambiental y social. Esto da curso al mejoramiento y renovación de la industria existente (**Escenario I**) y al nacimiento de nueva industria (**Escenario II**) que contribuyen a que Chile sea un país desarrollado, con los nuevos códigos aceptables a escala global. Además de la renovación profunda de la industria existente, se acelera la creación de nuevas industrias.

Por cierto, en un contexto de riesgo de la industria nacional frente a industrias de otros países que actúen con mayor efectividad y velocidad a escala internacional.

Ejemplos de sistemas, procesos, productos y servicios: sistemas productivos con menores huellas de carbono (**Escenario I**) y huellas nulas o negativas de carbono (**Escenario II**), y asimismo de agua y residuos; manufactura crecientemente "personalizada" a las necesidades de los actores económicos y sociales; interfaces tecno-humanas de alta calidad y desempeño (lenguaje natural avanzado, capacidades hápticas); plataformas manufactureras articuladas con otras industrias y aceleradas por IA; servicios inteligentes, integrados y oportunos de alto valor para la manufactura (I+D específica, financiamiento y gestión de inversiones, diseño, marketing, logística, gestión de calidad y productividad, mantenimiento avanzado, y otros); ámbitos de *factory less manufacturing*; vehículos eléctricos (otros basados en hidrógeno verde[32]) y vehículos autónomos de altas calidades y desempeños para usos industriales diversos; máquinas y sistemas de nueva generación en nichos mineros e industriales estratégicos (por ejemplo, tuneladoras[33]); productos y sistemas genuinamente "verdes" que usan ERNC de bajo costo y sostenible, que proveen seguridad en su uso, con demostrada trazabilidad (por ejemplo: metales, partes y piezas,

[32] Es necesario considerar las diferencias entre la eficiencia de los vehículos eléctricos (alrededor de 70%) vs 13% para los vehículos propulsados con hidrógeno.

[33] Las tuneladoras operadas por IA ofrecen una mayor eficiencia y seguridad al aprovechar datos en tiempo real y tecnologías avanzadas para optimizar el proceso de excavación en relación a las convencionales que dependen en gran medida de la intervención y supervisión humana.

equipos, alimentos); nichos manufactureros que apalanquen las virtudes de Chile en sostenibilidad (cobre, energías renovables, litio y otros); síntesis biológica de alimentos de nueva generación usando I4.0[34]; vestimenta laboral inteligente; exoesqueletos y otros sistemas de potenciación de capacidades humanas.

Estos sistemas, procesos, productos y servicios **usarán las tecnologías I4.0 para lograr las innovaciones; pero también, las propias innovaciones generarán necesidad de desarrollar nuevas tecnologías I4.0 y otras tecnologías** (por ejemplo, en energía, materiales diversos).

Así con la IA, además del mejoramiento y renovación de la industria existente (**Escenario I**), emergerá heterogénea y aceleradamente una "industria de nueva generación" (**Escenario II**). Un caso importante para Chile es el "cobre verde" que combina la minería y energía altamente sostenibles con la industria manufacturera que provee equipos y sistemas que lo hacen posible. Esto es, nuevos encadenamientos o redes productivas locales e internacionales. Esto proyecta a **Chile como un polo de sustentabilidad al combinar las industrias del cobre con las industrias del litio y del hidrógeno verde. El cual solo será posible con I4.0**.

Los desafíos de ingeniería que plantean estas transformaciones: liderazgo demostrado en algunos ámbitos de ingeniería a nivel internacional, en el estado del arte o pioneros; investigación y desarrollo relevante para innovación disruptiva, además de incremental, para mejorar lo existente (**Escenario I**) y para el desarrollo de productos y sistemas productivos de nueva generación con desempeños superiores; velocidad y escala de creación valor "exponencial" (**Escenario II**); integración transformadora en el país y sistémica a nivel internacional.

Caso de interés en iniciativas disruptivas que se está expresando en Chile son los de biosíntesis de alimentos usando IA. En particular, de proteínas vegetales con sabores similares a los de carne, leche y huevos[35].

La industria se transformará con nuevos modelos operacionales, de negocios y de políticas públicas habilitados por la IA y otras tecnologías I4.0 y las demandas crecientes de las industrias para ser sustentables y competitivas, impactando muy positivamente el desarrollo del país

En el **Escenario II, la industria manufacturera evoluciona aceleradamente hacia la Industria 4.0 potenciada con IA**, ante el riesgo de supervivencia y las oportunidades de mercado, logrando alta sinergia de la IA y otras tecnologías I4.0 con nuevos y mejores modelos operacionales, de negocios y de políticas públicas, incorporando ampliamente la sustentabilidad, la economía circular, la mejor calidad de vida, articulándose en **redes dinámicas e internacionales que integran polos industriales relevantes**, constituyéndose Chile en uno de ellos, e impactando significativa y positivamente a la sociedad y las personas.

Siendo claves para el despliegue de la IA y su impacto: políticas públicas de nueva generación; modelos transformacionales de los actores económicos; modelos híbridos.

---

34 Ver nota 23.

35 En relación a las condiciones existen diferentes visiones que van desde quienes piensan que estos alimentos tienen propiedades más saludables y sustentables hasta los que opinan que no es lo mismo ingerir un producto de origen natural, mínimamente procesado que uno que ha sido aglomerado a partir de ingredientes, algunos de los cuales han sido obtenidos a partir de procesos físico-químicos de separación, extrusión, refinación, extracción por solvente, blanqueamiento, desodorización, adición de sintetizados químicos que no existen en la naturaleza.

Con IA articulada con otras tecnologías I4.0, son destacables la optimización de los modelos existentes (Escenario I) y modelos de nueva generación (Escenario II): Manufactura 4.0 que demuestra su contribución efectiva a los ODS; economía circular integrada con Industria 4.0; modelos que articulan equipos y dispositivos con servicios inteligentes, sustentables y de bajo costo; industrias que realizan transformación digital integral (diversas funciones de Industria 4.0 y su integración en los encadenamientos productivos y redes de suministro; modelos de integración sinérgica entre empresas por ejemplo, redes y parques simbióticos); gestión integrada de la data como un activo valioso mayor, proveniente de varias fuentes (actores económicos, personas considerando sus derechos, y de dispositivos, sensores y equipos); modelos de sistemas industriales basados en inteligencia artificial, altamente efectivos, y respetuosos de la privacidad y sensibilidades de las personas[36]; modelos industriales para reducción radical de las huellas de carbono, de agua y de residuos; modelos de comunidades sinérgicas de fabricación potenciadas por I4.0/IA; modelos de participación en los mercados internacionales que crean alto valor sin generar efectos negativos netos en los actores locales; modelos industriales avanzados de ESG (*Environment, Social and Governance*) potenciados por I4.0/IA y evolución a soluciones superiores; modelos de nueva generación de economía circular, en redes integradas con los actores relevantes. Con diseños que incorporan IA en funcionalidades y desempeños.

Complementariamente: atracción significativa de emprendedores y profesionales diversos a renovación y mejoramiento de las industrias existentes así como la construcción y desenvolvimiento de las nuevas industrias, en particular en la variedad de servicios asociados; transición a alta calificación del empleo y diferentes formas de asociación del capital humano a los actores económicos; creación de valor económico, social y ambiental equilibrado y en altos niveles según tendencias internacionales; uso y dominio de políticas públicas de nueva generación (I+D, innovación, inversión, regulaciones, incentivos y otras); articulación virtuosa empresa - estado - instituciones de educación superior - comunidades y sociedad civil - medio ambiente; dinámicas transformacionales mayores (lógicas 2x - 10x) sustentables; modelos de cadenas-redes resilientes de suministros; modelos industriales de síntesis de nuevos alimentos habilitados por I4.0/IA, en particular en entornos urbanos; modelos de ciclos cerrados de fabricación, suministro, uso y recuperación (lógica de economía circular habilitada por I4.0/IA).

Estas transformaciones se desencadenan —en parte importante— por el acelerado cambio tecnológico en torno IA así como por la demanda creciente de las industrias basadas en los recursos naturales y en los desafíos relevantes de Chile en ámbitos B2B[37] (minería, energía, agro alimentos, construcción, salud y otras) y algunos B2C[38]. Esta demanda creciente, competitiva a nivel internacional, brinda una oportunidad relevante para la progresión de la industria manufacturera del país y para participar activamente en los mercados internacionales, como lo están haciendo algunos países, entre ellos Australia.

En síntesis, la **manufactura 4.0 potenciada con IA evoluciona significativamente, contribuyendo a la transformación de diversas industrias y del país en su conjunto, y también al surgimiento de nuevas industrias**, haciendo posible nuevas formas de organizar, producir y suministrar los productos y servicios necesarios para el desarrollo más pleno y sustentable.

---

[36] No es claro cómo se logra esto ya que la realidad muestra que las empresas tecnológicas basan sus modelos de negocios en la utilización desenfrenada de los datos personales, incluyendo datos sensibles.

[37] Business to Business. Corresponden a transacciones comerciales que se establecen entre empresas y o entre empresas y distribuidores.

[38] Business to Consumer. Son estrategia en las que las empresas comerciales buscan llegar directamente al cliente o consumidor final.

CAPÍTULO X

IA EN AGRICULTURA

La Inteligencia Artificial está siendo utilizada en diversos sectores económicos y obviamente la agricultura no escapa a esta tendencia. **Los sistemas de IA pueden mejorar el rendimiento del suelo**, a través del análisis de los datos recolectados por sensores en el suelo, sensores en drones e imágenes capturadas por drones y/o satélites. Esto **permite al agricultor tomar mejores decisiones de riego, fertilización y control de pestes** al estar basadas en datos. **La IA optimiza de igual forma la crianza de ganado**, tanto para la producción de carne como para la de lácteos, entregando al granjero información relevante sobre el ganado y su alimentación.

Es necesario, antes de detallar diversas aplicaciones agrícolas que utilizan IA, precisar que las aplicaciones basadas en IA requieren de una gran cantidad de datos y de una gran capacidad computacional, lo que ha impedido su aplicación masiva en la agricultura. **La captura de datos, su transmisión y posterior análisis en la nube o servidores locales es costosa para los agricultores**. En este punto es necesario recordar que el 80% de las explotaciones agrícolas a nivel mundial cuentan con menos de 2 hectáreas, siendo estas explotaciones familiares que permiten escasamente la subsistencia. Por otro lado, los sistemas físico-químicos que gobiernan la agricultura son extremadamente complejos y no siempre se pueden encontrar relaciones entre los datos que permitan utilizar los algoritmos típicos de la IA, incluso a veces no sabemos medir estos datos a través de sensores de manera eficiente y económica. Por ejemplo, un sensor para medir el pH de la tierra en tiempo real cuesta más de 100 dólares, valor prohibitivo para el pequeño y mediano agricultor.

Las **superficies que se manejan en agricultura son extensas y carecen en general de redes de comunicación**. Si bien se utilizan hoy en día redes de comunicación de largo alcance (LoRa)[39],estas solo permiten la transmisión de datos a una baja tasa, por lo que la transmisión de imágenes se hace imposible. Esto afecta a la captura y transmisión de datos, los que deben ser procesados en general en la nube debido a la capacidad computacional requerida por la IA.

Hay varios factores que han impedido la masificación del uso de la IA en la agricultura. El primero de ellos es el costo de los sensores, de las transmisiones y de los sistemas de análisis de datos, costo que no puede ser fácilmente asumido por los pequeños y medianos agricultores, lo que corresponde a la mayoría del universo en Chile y en el mundo.

Otro factor que ha imposibilitado la masificación de las aplicaciones de IA en la agricultura es la **escasez de competencias digitales** en la mayoría de los agricultores en Chile.

Finalmente, podemos mencionar como factor el “conocimiento ancestral”, es decir el conocimiento que se transfiere de generación en generación en el campo. **El pequeño y mediano agricultor cree más en su conocimiento ancestral que en los sistemas sofisticados de la IA**.

[39] LoRa o Long Range es un tipo de red inalámbrica que permite la comunicación a grandes distancias.

No podemos dejar de mencionar las consideraciones éticas del uso de la IA en agricultura. Temas como la privacidad de los datos no deja de ser preocupante ya que esto puede influenciar fuertemente en los precios de los productos alimenticios en el mercado. Otra consideración a tener en cuenta es **la seguridad de los datos y la seguridad de las aplicaciones**, por ejemplo, se podría modificar un algoritmo que aplique pesticidas en exceso destruyendo la producción de un agricultor.

El cambio climático está produciendo grandes disrupciones en la agricultura y en los sistemas de generación de alimentos. El cambio climático está afectando ente otros los siguientes temas:

- Aumento de las temperaturas y cambio de las pautas meteorológicas.
- Impacto en el rendimiento de los cultivos.
- Impacto en el ganado y su alimentación debido a las altas temperaturas.
- Escasez de agua.
- Eventos climatológicos extremos.
- Seguridad alimenticia de acuerdo con la definición de Naciones Unidas.
- Migración de especies marinas a aguas más frías.
- Acidificación del océano, debilitando las conchas de los moluscos.
- Modificación de los ecosistemas marinos debido a la acidificación.

No podemos dejar de mencionar que la agricultura es uno de los sectores más impactado por el cambio climático. Al mismo tiempo, la agricultura es el segundo sector emisor después de la generación de energía, contribuyendo con el 20% del total de éstas.

El uso de tecnología y de aplicaciones de IA requiere de energía, es decir **la agricultura no solo emite, sino que requerirá de más energía**, produciendo aún más emisiones.

Escenario I

El uso de **análisis de imágenes es una de las aplicaciones comunes de la IA en agricultura**, a pesar de las limitaciones de transferencia de datos (imágenes). Dentro de este campo de aplicaciones encontramos la detección de cultivos a través de la captura aérea de imágenes, las que son tratadas posteriormente por algoritmos de IA de reconocimiento. Otras aplicaciones permiten detectar el tipo de cultivo o detectar plagas y hongos en plantas utilizando imágenes captadas por drones/satélites, que son luego tratadas con algoritmos de *deep learning*. De igual forma, hay aplicaciones que analizan imágenes de hojas y deducen el estado de la planta y los nutrientes faltantes a partir del color de las hojas. Estas aplicaciones utilizan algoritmos de *machine learning* para poder generar la información requerida por el usuario. Hay muchas otras aplicaciones basadas en imágenes aéreas e IA que se pueden utilizar en agricultura y es la opción más utilizada hoy en día. **El gran problema que tiene es el alto costo, que no es abordable por el pequeño agricultor**.

Otro tipo de aplicación tiene que ver con la **captura de datos a través de sensores y posterior análisis utilizando algoritmos de IA**. Estas aplicaciones si bien pueden ser más baratas, son más complejas de implementar por la cantidad de sensores que se requieren para cubrir grandes superficies de terreno. Dentro de las aplicaciones ya existentes en esta categoría podemos mencionar la detección de contaminantes en productos industriales, las que utilizan *deep learning*, de igual forma se utiliza *machine learning* para detectar contaminantes en el agua, lo que es muy importante sobre todo en aguas que se utilizan en riego.

Otro tipo de aplicación utiliza una mezcla entre análisis de imágenes y sensores. Las imágenes son utilizadas para correlacionar la indicación de sensores con lo que está realmente sucediendo. A través de esto se pueden crear modelos predictivos utilizando *machine learning* de manera tal que las cámaras pueden ser eliminadas una vez que hay suficientes datos y el sistema es capaz de predecir a partir de la información proveniente de los sensores. Esta metodología ha sido utilizada en ganadería para detectar el celo de la vaca. Esta metodología se usa igualmente en detección de incendios forestales, ya que se alimenta el sistema con datos proveniente de imágenes y de sensores, para luego eliminar las cámaras y dejar solamente los sensores.

Otros usos de la IA asociada a la agricultura están relacionados con la logística de producción y transporte, las que no serán vistas en este documento.

Dentro de la lista de aplicaciones ya existentes podemos mencionar:

- Agricultura de precisión basada en datos.
- Monitoreo y gestión de cultivos.
- Optimización de recursos (agua, fertilizantes y pesticidas).
- Maquinaria autónoma.
- Decisiones basadas en datos.

Escenario II

Una de las aplicaciones por imagen requerida por los agricultores es la **predicción de producción de frutales a partir de la floración de los árboles**. Esto permitiría a los productores preparar mejor la logística de producción y envío de las frutas obtenidas.

Otra aplicación que requiere de IA es la **detección de heladas basada en datos meteorológicos actuales y pasados**, de modo de poder predecir las heladas y proteger los árboles frutales, sobre todo en la época de la floración.

Optimizar el uso del agua a través de la modificación genética de cultivos es otra aplicación que está siendo estudiada.

Es necesario el desarrollo de sistemas de bajo consumo de modo de no requerir grandes fuentes de energía. Por otro lado, es necesario el uso de sensores biodegradables para no seguir contaminando la tierra.

CAPÍTULO XI

IA EN SALUD

La convergencia de la tecnología y la atención médica ha abierto nuevas posibilidades, trayendo consigo un **cambio en la forma en que abordamos los desafíos de la salud**. En este escenario, la inteligencia artificial (IA) ha emergido como una fuerza capaz de **redefinir los límites de lo posible en el diagnóstico, tratamiento y gestión de enfermedades, convirtiéndose en un aliado estratégico** que, aprovechando la gran capacidad de procesamiento de datos, el aprendizaje automático y la toma de decisiones basada en algoritmos avanzados, **transformará la manera en que los profesionales de la salud ofrecen su atención y las personas administran su bienestar**.

La relevancia de la inteligencia artificial en el campo de la salud no se limita solamente a la realización de **diagnósticos más precisos**, sino que se extiende al **desarrollo de tratamientos personalizados, la optimización de la gestión de los recursos e identificación temprana de patrones epidemiológicos**, mejorando con ello la eficiencia, promoviendo una medicina más proactiva y preventiva, abriendo el camino hacia un futuro en el que la **salud es gestionada de manera más inteligente, personalizada y es accesible para todos**.

Tendencias en investigación y aplicaciones de IA en salud

La inteligencia artificial está transformando la forma en la que abordamos la salud, desde la realización de diagnósticos más precisos hasta el desarrollo de tratamientos personalizados. El futuro de la inteligencia artificial en el ámbito de la salud promete, a medida que la investigación continúa, cambios aún mayores. Algunas de las tendencias que se visualizan son:

Realización de mejores diagnósticos médicos

La inteligencia artificial en salud tiene la capacidad de **mejorar el diagnóstico médico** al aplicar algoritmos de aprendizaje profundo a imágenes médicas, como resonancias magnéticas y tomografías computarizadas. El nivel que ha alcanzado esta capacidad es comparable y en algunos casos incluso superior a la de los profesionales médicos.

Predicción y prevención de enfermedades

La Inteligencia Artificial ha demostrado ser muy efectiva en la **predicción y prevención de enfermedades**. Los modelos predictivos basados en IA, al analizar grandes conjuntos de datos clínicos, identifican patrones y factores de riesgo, permitiendo a diferentes organizaciones de salud realizar una intervención temprana, previniendo con ello la propagación de enfermedades infecciosas, mediante estrategias personalizadas.

Medicina personalizada y tratamientos innovadores

La inteligencia artificial ha permitido, al utilizar algoritmos de aprendizaje automático, analizar perfiles genéticos, datos clínicos y resultados de pruebas de laboratorio, **diseñar tratamientos personalizados**, especialmente para el tratamiento del cáncer, enfermedad para la que se requieren enfoques individualizados.

Gestión de datos y sistemas de salud eficientes

La Inteligencia Artificial ha aportado **soluciones efectivas para la gestión eficiente de grandes cantidades de datos clínicos**, mejorando la organización y accesibilidad de la información.

Desafíos y consideraciones éticas

A pesar de los avances indicados, la implementación de la inteligencia artificial en el ámbito de la salud tiene **grandes desafíos y preocupaciones éticas**, como la privacidad de los datos y la **equidad en el acceso a la atención médica**, junto con la necesidad de validar y explicar los resultados de los resultados obtenidos por los modelos de IA, tal como se plantea en el Capítulo II: Explicabilidad y transparencia del aprendizaje profundo.

Escenario I

En un escenario en el que la inteligencia artificial (IA) en el sector de la salud se desarrolla un mejoramiento y aumento significativo de las tecnologías existentes, se anticipa una revolución en la forma en que se entrega y se accede a la atención médica.

El diagnóstico de enfermedades será cada vez más preciso

El perfeccionamiento de los algoritmos de aprendizaje profundo para interpretar con mayor precisión las imágenes médicas permitirá **realizar diagnósticos más rápidos y precisos**. Estos algoritmos se integrarán con dispositivos de imágenes avanzadas como escáneres 3D, entregando diagnósticos más detallados y personalizados.

La medicina y los tratamientos serán cada vez más personalizados

La rápida interpretación y análisis de los perfiles genómicos mediante la IA y la optimización de modelos de aprendizaje automático permitirán el **desarrollo de tratamientos personalizados**, según la genética de cada individuo, junto con prever las respuestas que podría tener cada persona frente a un tratamiento específico.

La telemedicina y la monitorización remota permitirán un mejor y más democrático acceso a la salud

La implementación y optimización de plataformas de telemedicina permitirá **garantizar la accesibilidad a la salud de toda la población**, lo que unido a la integración de dispositivos de monitoreo conectados a los pacientes mejorarán la gestión de enfermedades crónicas y entregarán de manera continua datos a los profesionales de la salud.

La IA permitirá una administración más eficiente de los recursos

La implementación de sistemas de IA para optimizar los registros médicos electrónicos unida a la optimización de procesos administrativos utilizando IA para automatizar tareas rutinarias como programación de citas y facturación, permitirá **hacer un uso más eficiente de los recursos**, reduciendo con ello los costos de operación.

La prevención y vigilancia de enfermedades hará posible anticiparse a situaciones de crisis

El uso de algoritmos predictivos para prever posibles brotes de enfermedades hará posible **prevenir amenazas para la salud pública**. Esto unido al monitoreo con IA de los factores de riesgo de las personas permitirá **detectar y prevenir de manera temprana enfermedades** y gestionar de manera más efectiva las futuras crisis sanitarias.

El uso de asistentes virtuales para la toma de decisiones clínicas será cada vez más frecuente

El avance en la comprensión del lenguaje natural, junto con el desarrollo de asistentes virtuales que se adapten a atenciones médicas cada vez más complejas, junto con el análisis e interpretación de grandes conjuntos de datos clínicos, facilitará la **realización de diagnósticos y tratamientos más efectivos**, entregando información cada vez más precisa y personalizada.

La seguridad y privacidad de los datos de los pacientes continuará siendo un gran desafío

Es preciso garantizar que la implementación de la IA en salud cumpla con los más altos estándares éticos y legales. Esto implica superar grandes desafíos en la **protección de la información del paciente y en la prevención de brechas de seguridad**.

Escenario II

En este escenario, basado principalmente en el surgimiento de nuevos tipos de actores que son habilitados por la IA, esta tecnología redefinirá la forma en la que se concibe y se entrega la atención médica. Las políticas públicas jugarán un papel crucial al fomentar la innovación, garantizar la equidad y permitir la rápida adopción de esta tecnología en el sector de la salud.

La atención médica será cada vez más descentralizada

La telemedicina integrada será la norma, permitiendo consultas virtuales y monitoreo remoto. Existe el desafío de **garantizar la accesibilidad global**, la calidad de las interacciones virtuales y la seguridad de la información médica que sea transmitida a través de las plataformas digitales.

Se utilizarán modelos de negocio basados en resultados

El uso de **modelos de negocio basados en resultados** en lugar de servicios prestados implica redefinir modelos de negocios y un gran desafío para establecer métricas de resultado efectivas, equitativas y alineadas con la mejora real de la salud del paciente.

Se requerirá formar nuevos profesionales para la salud

Se actualizan los programas educativos para **formar profesionales de la salud con competencias digitales** y habilidades para trabajar con tecnologías avanzadas. Además, surgirán nuevos roles en el campo de la salud como ingenieros biomédicos especializados en IA u otros.

Se formarán nuevas empresas de base científica tecnológica para el ámbito de salud

Se desarrollarán startups centradas en salud e IA y habrá incentivos para la investigación y desarrollo en salud, lo que implica evaluar el impacto que tendrán éstas en la sociedad y alinear los objetivos de investigación con las necesidades de la sociedad.

CAPITULO XII

IA EN ECONOMÍA DIGITAL

Escenario I

Alcance de la Economía Digital

En el documento publicado anteriormente[40], se presentó un modelo de economía digital [Bukht and Heeks 2017]. A este modelo que incluye Industria Digital (TIC[41]), Economía Digital[42] y Economía digitalizada[43], le hemos incorporado un cuarto anillo denominado "Economía habilitada por IA"[44].

Figura 9. Mapa de la economía digital

Adaptado de: Bukht and Heeks, 2017.

El alcance de nuestro análisis incluye todos los anillos, entendiendo que el anillo "Economía digitalizada" es analizado en los otros capítulos de este documento.

---

40 Prospectiva de la Ingeniería Chilena. Transformación Digital e Industria 4.0. Instituto de Ingenieros de Chile en agosto 2023 con colaboración de USM.

41 Conjunto de actividades económicas y empresariales que se centran en la creación, gestión y distribución de productos y servicios digitales.

42 Economía basada en tecnologías digitales. Incorpora aquellas actividades económicas que resultan de miles de millones de conexiones diarias en línea entre personas, empresas, dispositivos, datos y procesos.

43 Sistema económico que se apoya masivamente en las tecnologías digitales para su funcionamiento y desarrollo. Es una evolución de la economía digital y abarca tanto transformación de sectores tradicionales mediante la digitalización hasta la aparición de nuevos modelos de negocio basados en lo digital.

44 Sistema económico en el que la inteligencia artificial se utiliza de manera extensiva para optimizar procesos, mejorar la toma de decisiones y crear nuevos modelos de negocio.

Impacto en la industria digital TIC) y en la economía digital[45]

Se prevé que la IA creará un valor económico y un bienestar social significativos en los próximos años dada su ubicuidad y potencial de uso en un gran número de industrias. Las empresas han comenzado a adoptar la IA para crear nuevas oportunidades de negocios y las empresas emergentes de IA están compitiendo por capital de riesgo. Los casos de uso y aplicaciones populares hasta la fecha incluyen el preprocesamiento de datos, la compresión y clasificación de imágenes, incluyendo las médicas, la personalización y las interfaces intuitivas de experiencia de usuario (UX) (Polaris, 2023).

Gartner enumera los diferentes impulsores de crecimiento de esta economía, desde la aplicación de la IA generativa al diseño de chips, pasando por el diseño generativo de piezas utilizadas por industrias como la automotriz, aeroespacial y defensa, hasta las ciencias de los materiales.

El sector de los medios y el entretenimiento, incluida la publicidad, representa hasta el momento, la mayor participación en los ingresos de la IA generativa (Polaris, 2023).

Las empresas con una ventaja competitiva en IA generativa incluyen grandes empresas de tecnología reconocidas, proveedores de software empresarial, empresas de IA en sectores especializados como: automatización de contratos legales, creación de videos, generación de datos sintéticos y artes, entre otras y empresas que entregan servicios de computación para IA, como semiconductores e infraestructura de supercomputación, cruciales para aprovechar los entornos ricos en datos de la IA generativa.

A continuación, mencionamos algunas temáticas de IA generativa que están generando impactos en el sector digital TIC y en servicios digitales[46].

Desarrollo de código. Copilot, un asistente de codificación desarrollado conjuntamente por OpenAI y GitHub, genera y completa automáticamente el código según las indicaciones de los desarrolladores (Dohmke, 2022). Otro modelo para generar código es CodeGen (Nijkamp et al., 2023). La refactorización de código (mejorar la estructura u organización de código preexistente sin alterar su funcionalidad) es otra área en la que la IA generativa está ayudando a los desarrolladores (Ingle, 2023). En marzo 2024, se anunció el primer desarrollador de código virtual (Devin de la empresa Cognition).

Podemos decir que, así como la Internet llevó los datos y la información a todo el mundo, la IA lleva el desarrollo de los algoritmos a todo el público.

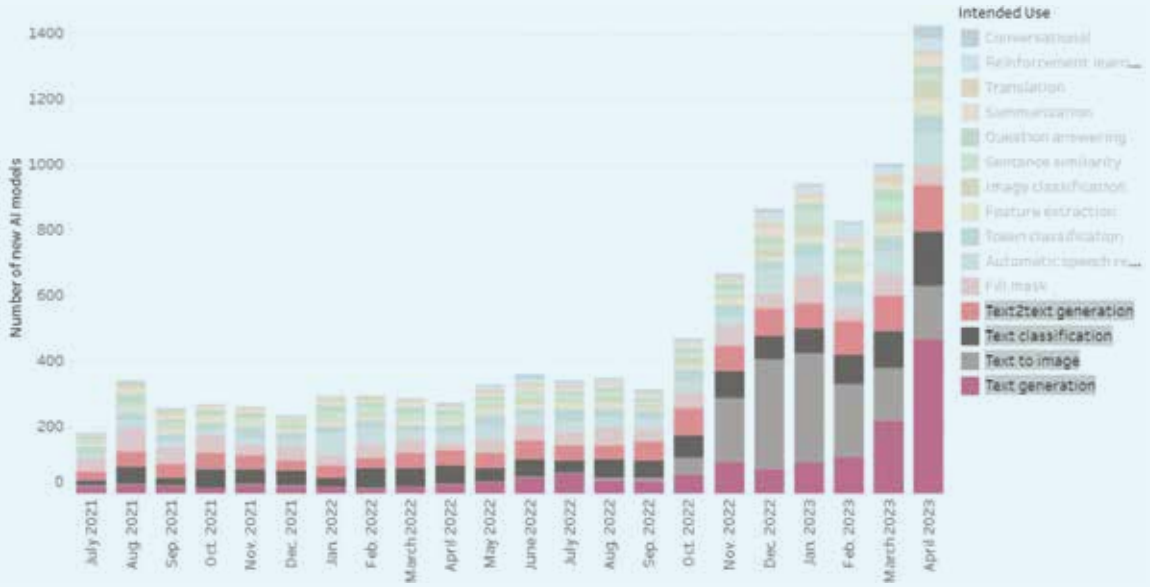
Código open source. La comunidad de código abierto ha sido tradicionalmente una fuerza impulsora detrás de los avances de la IA. Esta tendencia parece continuar en el contexto de la IA generativa. Desde octubre de 2022, ha habido un **aumento significativo en la disponibilidad y el desarrollo de modelos de IA de código abierto** dedicados a sistemas de IA generativa, como lo muestra el creciente número de modelos de generación de texto cargados en el repositorio de Hugging Face en los últimos meses.

---

45 Initial policy considerations for generative artificial intelligence, OECD Artificial Intelligence Papers. Septiembre 2023.

46 Primer y segundo anillo del mapa.

Figura 10. Número de nuevos modelos de IA generativa en Hugging Face



Industrias y artes creativas. En la música, los generadores de melodías de IA han estado disponibles durante un tiempo, ayudando a los artistas a crear nueva música desde cero o basados en compases anteriores, mejorando la composición (Yang, Chou and Yang, 2017) y procesando el canto. (Gómez et al., 2018). Por otra parte, en la generación de imágenes, aplicaciones como Stable Diffusion y Dall-E 2 brindan **nuevas oportunidades para generar formas de arte** para la publicidad, los medios, el cine y otras industrias. Un ejemplo, es la generación por Dall-E de la imagen de una mina con estilo Vincent Van Gogh.

Figura 11. Uso de Dall-E para crear imagen de una mina al estilo Vincent Van Gogh (creación propia)

Fake news. Noticias e **información errónea que persiguen engañar a sus lectores en búsqueda de objetivos definidos por grupos de interés**, que son generados mediante IA generativa cada vez más potentes y realistas. Uno de los primeros casos fue la generación de contenidos políticos en UK por parte de Cambridge Analítica, para influir en la votación del Brexit. En ese contexto, es probable que aparezcan sistemas de validación de información *(trusted parties)* que pueden ser utilizados masivamente.

Búsqueda. Los motores de búsqueda, como Microsoft Bing o Google Search, están respaldando sus capacidades de búsqueda con modelos de IA generativa conversacional. Uno de los temas más discutidos en IA es si los motores de búsqueda se verán reemplazados por estos agentes conversacionales que brindan mejores experiencias de búsqueda (Sriram and Mehta, 2023).

Sistemas de recomendación mejorados. Las técnicas avanzadas de IA están impulsando sistemas de recomendación más personalizados y precisos en plataformas de comercio electrónico y medios de comunicación.

Manipulación robótica. Se han logrado avances que permiten que los robots puedan **realizar tareas más complejas y variadas con destrezas similares a la humana**. *deep learning* y la IA generativa van a permitir que estos robots aprendan mejor sus tareas, que puedan ir mejorando su ejecución mediante un proceso de aprendizaje continuo (retro aprendizaje), e incrementando su autonomía.

Vehículos autónomos. La integración de sensores avanzados y algoritmos de IA en vehículos ha mejorado las capacidades de conducción autónoma. En el caso de los automóviles TESLA, aunque aún no se ha llegado a la autonomía total, es probable que en los próximos años sí se logre.

Hardware especializado para IA. Es el caso de los microprocesadores GPU de NVIDIA, AZURE MAIA de Microsoft, M3 Apple, así como la TPU de Google entre muchos otros, que crean chips, CPUs, GPUs y hardware que mejoran la eficiencia y las capacidades de los sistemas de IA así como la eficiencia de ejecución de LLM, en factores muy significativos. NVIDIA anunció en marzo 2024 su GPU Blackwell que soportará LLM seguros con más de 1 trillón de parámetros.

Ciberseguridad. **El número, velocidad y escala de los ataques de ciberseguridad se han incrementado** en forma significativa, en un factor de casi 10 en el último año. El cibercrimen fue una economía de 9 trillones de dólares en 2023 (tercera economía en el mundo), creciendo un 15% al año. Las organizaciones llegan a gestionar cerca de 80 aplicaciones para protegerse de los ataques. Las empresas de ciberseguridad utilizan la IA para entrenar modelos de ciber defensa analizando cada una de las señales de ataque recibidas (por ejemplo, Microsoft Security Copilot).

Integración de IA en dispositivos en la punta (*Edge*) e IA federada. Con la preocupación creciente por la privacidad y seguridad de los datos, la IA federada[47] y la IA en el borde *(Edge AI)* están ganando popularidad. Estas tecnologías procesan datos en el dispositivo del usuario, en el dispositivo de internet de las cosas (IoT)[48], o de manera distribuida, minimizando la necesidad de enviar información sensible a la nube.

---

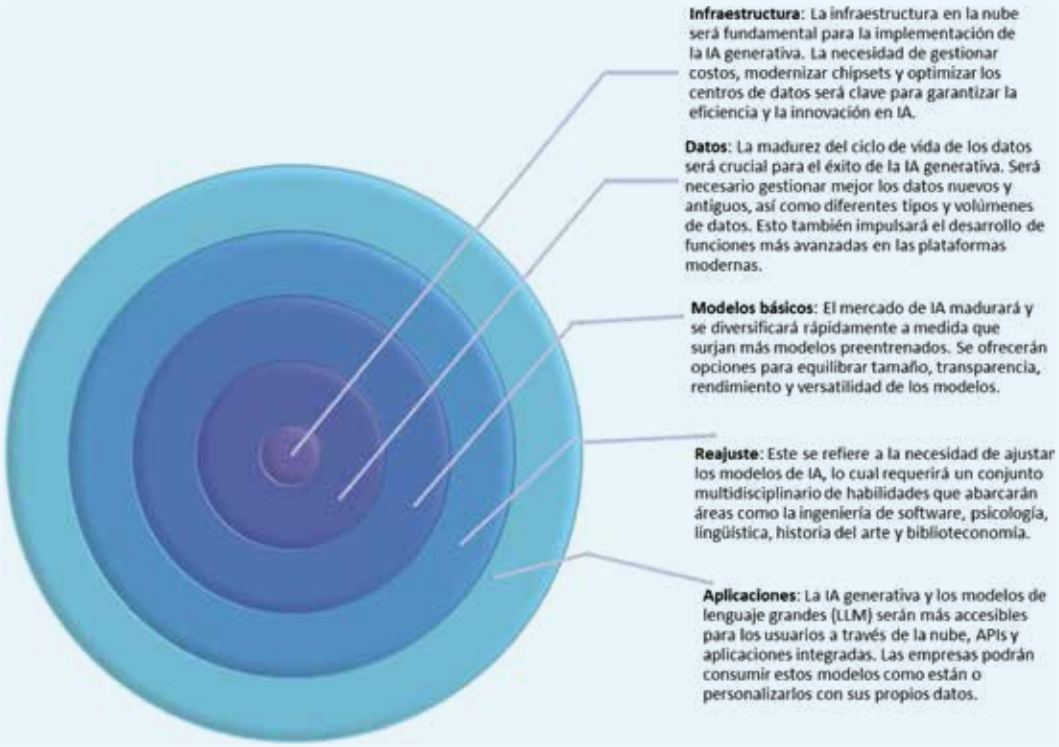
47 Técnica de aprendizaje que permite entrenar modelos de inteligencia artificial (IA) en varios dispositivos o servidores manteniendo los datos en su ubicación original.

48 Internet of things.

Realidad Aumentada (RA) y Realidad Virtual (RV) impulsadas por IA. La integración de IA con realidad aumentada y con realidad virtual mejora las experiencias inmersivas con interacciones más ricas y personalizadas en juegos, entrenamientos y otras aplicaciones de RA Y RV.

Resumiendo, a continuación, indicamos las siguientes capas que se verán afectadas por la IA generativa:

Figura 12. Pila tecnológica de la IA generativa



Democratización del acceso a la programación. Más personas, más allá de los programadores, tienen acceso a generar sistemas y algoritmos de IA para su uso directo en temas que les son relevantes. Es probable que la capacidad de programación se masifique, pues sólo será necesario especificar en forma adecuada el algoritmo, el producto o la función deseada, en un lenguaje habitual, por ejemplo, para nosotros, en español, parafraseando el dicho: **"El inglés es el nuevo lenguaje de programación (Andrej Karpathy, 2023)"**.

El impacto de tener cientos de millones de programadores está por verse. Por lo que si hacemos un paralelo con la masificación de la conectividad a internet de la población y el auge en el desarrollo de nuevos negocios y servicios digitales (economía digital) con una gran cantidad de aplicaciones web y aplicaciones para dispositivos móviles, **la masificación de la programación en IA generativa puede significar un desarrollo enorme de la economía basada en IA**, con decenas de aplicaciones al estilo de lo que hoy ya está proponiendo OpenAI con su plataforma de asistentes virtuales, que permite que programadores "no expertos" desarrollen Asistentes Simples.

Desintermediación y expansión de las profesiones. Probablemente **una de las profesiones que se va a ver más afectada por la IA generativa es la de Programador**. Los copilotos van a modificar sustancialmente la forma de programar; ya no va a ser necesario programar en lenguajes de programación complejos. Bastará escribir la funcionalidad requerida en un lenguaje como español o inglés y el copiloto va a generar el código correspondiente en lenguaje de programación. Será responsabilidad de los programadores la especificación del sistema, el diseño de la solución y la validación de la calidad del programa.

Otra forma de programar será por aprendizaje (*machine learning*) vía un conjunto de ejemplos *entrada*/*respuesta*. Será responsabilidad del ingeniero hacer una buena curatoría[49] de los datos de aprendizaje: verificar la calidad de los datos y que representan adecuadamente la realidad, decidir respecto de *outliers*[50], seleccionar una muestra estadísticamente representativa de la realidad y validar, cuando corresponda, que los datos no tienen sesgos significativos.

Se estima que con todos estos nuevos métodos de programación la productividad va a aumentar significativamente.

Los ingenieros se van a concentrar en las etapas de diseño de la solución, en buscar datos de calidad, en plantear soluciones innovadoras y en la arquitectura de la solución.

Impacto en la economía digitalizada[51]

Respecto de la economía digitalizada, el desarrollo del impacto de la IA se aborda en otros capítulos de este documento.

Economía habilitada por la IA

La introducción de nuevas tecnologías disruptivas, en las llamadas revoluciones industriales, **abre nuevos mercados**. Un ejemplo de ello es lo que pasó con el descubrimiento de la electricidad, creando el mercado de la generación y transmisión eléctrica para llevar la electricidad desde los centros de producción a los centros de consumo, el mercado de los equipos electrodomésticos (ampolleta, refrigerador), así como el mercado de las telecomunicaciones (teléfono, radio). También podemos hacer una analogía con lo que pasó con la invención del motor a vapor, que permitió la automatización de industria textil y la creación de barcos a vapor, y finalmente con la invención del motor a explosión, que generó la industria automotriz y la industria de la aviación.

Es probable que esto pase también con el desarrollo y masificación de la IA, siendo la IA generativa un primer eslabón de esta tecnología. Es difícil hoy en día estimar el alcance y la profundidad de los impactos de la transformación que conlleva la masificación de la IA. Podemos pensar en sistemas educacionales o de salud con nuevas entidades, tal como fue el caso de AirBnb o Uber, que generaron modelos disruptivos para hotelería o transporte de pasajeros.

---

49 Organización e integración de datos recopilados de diversas fuentes. Esto implica la anotación, publicación y presentación de los datos de manera que su valor se mantenga a lo largo del tiempo y los datos permanezcan disponibles para su reutilización y conservación.

50 Observación anormal y extrema en una muestra estadística o serie temporal de datos que puede afectar potencialmente a la estimación de los parámetros del mismo.

51 La economía digitalizada es una evolución de la economía digital y abarca tanto la transformación de sectores tradicionales mediante la digitalización como la aparición de nuevos modelos de negocio completamente basados en lo digital.

Las IA generativas hoy pueden producir una amplia gama de contenidos, tales como arte gráfica, música, y texto de alta calidad, a un costo menor que el actual. En consecuencia, las industrias como el cine, la música, el diseño gráfico y la publicidad están experimentando transformaciones significativas. Esto abre **nuevas vías para la creatividad y la innovación, pero también plantea preguntas sobre la originalidad y los derechos de autor**.

Escenario II

En este escenario disruptivo consideramos que se alcanza la Inteligencia General Artificial (IGA), es decir el sistema/máquina es capaz de entender, aprender y aplicar conocimientos e inteligencia de manera amplia y versátil, comparable a la capacidad humana. Pudiendo tener grados de consciencia o autoconsciencia, tendría percepción de sí mismo y su entorno[52].

Expertos en la materia tienen opiniones divididas sobre cuándo podríamos alcanzar la IGA, si es que alguna vez lo hacemos. Algunos optimistas sugieren que podríamos ver avances significativos en las próximas décadas, por ejemplo, la empresa OpenAI considera que está a 10 años de llegar a la IGA (OpenAI, 2023), mientras que otros creen que puede tomar mucho más tiempo o incluso cuestionan si es posible lograrla plenamente (Grace, K., Salvatier, J., Dafoe, A., Zhang, B., & Evans, O. (2018)). El desarrollo de la IGA depende de múltiples factores, incluyendo avances tecnológicos, comprensión profunda de la cognición humana y consideraciones éticas y sociales. Las investigaciones en este campo son multidisciplinarias, involucrando aspectos de la robótica, neurociencia, psicología, informática y filosofía.

Un sistema IGA puede aprender, editar su código, actuar autónomamente para abordar problemas nuevos y complejos, generar estrategias nuevas y complejas similares o mejores que las propuestas por un ser humano y planificar un conjunto de acciones para resolver el problema.

Una forma de controlar la IGA es mediante el alineamiento de un Sistema IGA mediante el cual se fuerza a que la IGA opere de acuerdo con las instrucciones de los seres humanos.

La Super Inteligencia Artificial es una IGA que se ha vuelto independiente de los humanos, desarrollando sus propios propósitos, objetivos y estrategias sin que los humanos puedan entender, comprender o controlar.

La Singularidad tecnológica es aquel instante en que la IGA sobrepasa el control humano. Se hace difícil predecir qué vendría más allá.

[52] ¿Podrán estos sistemas distinguir entre el bien y el mal?

CAPÍTULO XIII

IA Y ESTADO DIGITAL

El alcance de las tecnologías IA es el más integral de todas las que se han generado en las revoluciones industriales anteriores, ya que **impacta en forma importante los procesos de los más diversos ámbitos**: político, social, económico, científico y seguridad, entre otros.

En el Estado Digital según vimos anteriormente, partiendo de un Estado Promotor y un Estado Regulador, **la IA será fundamental para sustentar decididamente el desarrollo de Chile** y que el Estado cumpla con su papel de Estado Promotor junto con el sector privado.

La IA debe concebirse entonces, como una **tecnología de alcance global, transversal a todos los aspectos de la vida de los individuos y las sociedades**; los países que no la incorporen de esta manera, quedarán limitados al subdesarrollo, condición que será muy difícil revertir. Este hecho es relevante para entender la importancia de la IA en los temas que se revisarán a continuación.

Incorporar la IA en el Estado implica considerar el concepto de un Estado Algorítmico, más allá del concepto de Estado digital. Esto supone que toda la actividad del Estado en sus diferentes poderes se iniciará a partir del uso de los datos en todos sus procesos desde el origen de la creación del dato y por todo el tiempo y etapas que los datos circulen a través de los procesos del Estado, aplicando algoritmos para la gestión de los datos y para la toma de decisiones.

Si comparamos la digitalización tradicional con la aplicación de la IA en sus diferentes disciplinas, podemos observar que la digitalización es limitada y obedece a trasformaciones de operacionales manuales a operaciones digitales, pero no incorpora necesariamente procesos de análisis inteligente de datos. Un modelo de digitalización puede ser muy eficaz pero no optimizará el proceso subyacente, en cambio la IA genera implícitamente modelos matemáticos para ajustarse a los resultados esperados y si se aplica esto en forma continua puede optimizar permanentemente, generando cada vez más eficacia.

Posibles aplicaciones en el Estado Digital/algorítmico:

A continuación, se presentan algunos ejemplos de posibles aplicaciones en el Estado Digital/algorítmico:

Ciberseguridad

Un elemento crítico en el mundo de hoy es el nivel de ataques y amenazas a las que están sometidas todas las organizaciones, en particular las organizaciones vinculadas con el Estado. Para garantizar un servicio eficaz y seguro a los ciudadanos, proteger los recursos financieros del Estado y detectar fraudes o intentos de fraudes y estafas, y también intentos de corrupción internos, se puede utilizar la IA incorporando mecanismos de seguridad y protección de datos en forma continua.

Los algoritmos de IA permiten hacer un seguimiento paso a paso de los datos en cada etapa del proceso y así detectar los intentos de manipulación de estos por personas no autorizadas o robots que intentan tener acceso a datos privilegiados que el Estado debe

proteger. Los sistemas de IA permiten realizar análisis predictivos para prever que se pueda estar incubando una violación de seguridad y de esta forma generar alertas y/o bloqueos automáticos.

Hoy ya no son hackers específicos los que atacan los sistemas, las redes y los datos, sino que robots creados y programados para atacar en forma sistemática, cualquier dirección IP y puerto. Ningún Estado ni organización podrá dejar de utilizar la IA para apoyar su protección. En efecto el cibercrimen también utiliza las tecnologías de IA más avanzadas para sus fines.

Eficiencia operacional y reducción de costos

Los Estados suelen acumular burocracia e ineficiencia operacional debido a su gran tamaño y a la complejidad de sus operaciones en las distintas áreas que deben servir. Hay un gran espacio de mejoras aplicando IA en los distintos procesos administrativos, operativos, legales, presupuestarios, sociales, y de recursos humanos del Estado.

En los procesos digitalizados, parcialmente digitalizados o manuales, se generan ineficiencias entre sus distintas etapas. En efecto, la intervención humana tiende a hacer menos eficiente la ejecución de muchos de estos procesos. En cambio, en los procesos basados en datos, **se puede mejorar la eficiencia operacional y reducir los costos** disminuyendo la intervención humana y mejorando continuamente la eficiencia del proceso, vía algoritmos de aprendizaje de máquina que optimizan la operación del proceso.

El nivel de ahorro, aplicando estas tecnologías a todos los procesos del Estado, debiera ser importante, generando además mayor disponibilidad de recursos para que estos puedan ser usados en las políticas sociales del Estado y así mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

Generación y aplicación de políticas públicas

La IA generativa como Chat GPT sugiere que modelos poblados con datos que aborden temas específicos, por ejemplo, la generación de una política pública de concesiones, pueden verse favorecidas en tiempo y forma si las bases de datos contienen la información relevante. En efecto si el sistema cuenta con información global respecto de concesiones de todas partes del mundo, los algoritmos pueden concebir, en función de las de los resultados que se requieren, generar un modelo de concesiones optimizado para el caso específico que se está evaluando.

Esto se puede extrapolar para cualquier política pública o proyecto de ley que se desee elaborar, ahorrando tiempo de análisis a los legisladores y al ejecutivo en la creación de las propuestas de ley o de proyecto público.

No se trata de reemplazar la labor de los parlamentarios o de los funcionarios del ejecutivo, sino que de **proveer herramientas para hacer más eficiente su labor** y hacer más eficaz la ejecución de los proyectos de necesidad publica, apoyados por estos modelos algorítmicos.

Por otra parte, la democratización de cualquier política pública, es decir su velocidad de difusión y aplicación a lo largo del país, será más eficaz y transparente por la vía de proveer al ciudadano modelos e información automática en línea.

Administración y gestión del presupuesto de la nación

Las situaciones de corrupción, uso indebido, malversación o uso ineficiente de los recursos financieros del Estado, pueden ser disminuidas, aplicando modelos algorítmicos en la gestión de la distribución de estos recursos, detectando cuando se entregan a destinatarios no autorizados, o no se cumplen los requisitos que habiliten su asignación, o que los montos

no correspondan a lo autorizado. La gestión financiera es una de las aplicaciones más utilizadas en el mundo hoy en día, con modelos de datos gestionados por inteligencia artificial, que facilitan la predicción y uso indebido de fondos, las intenciones de fraude, o la intervención no autorizada de personas en los procesos de pago. Adicionalmente, el uso de cadenas de bloques (*blockchain*) en conjunto con IA permiten prevenir, trazar, bloquear y descubrir los manejos ilícitos de recursos.

Finalmente, un modelo inteligente de gestión del presupuesto ayudaría a que éste se asigne y utilice en un alto porcentaje en las materias y periodos para el que fue diseñado, minimizando los espacios de no uso o mal uso de los recursos por mala gestión.

Alfabetización algorítmica de la ciudadanía

El Estado impulsa y promueve la alfabetización algorítmica de la ciudadanía, tanto en funciones operacionales (por ejemplo: saber usar) como funciones evaluativas (por ejemplo: saber evaluar la calidad de la información que se entrega). De la misma forma como, en el pasado, se generaron iniciativas de alfabetización digital, el Estado introduce en el sistema educacional conocimientos básicos de IA y programación en Python, ayudando a los estudiantes a contar con más herramientas para enfrentar el mercado laboral futuro, en el cual la participación de la IA será cada vez más significativa.

También, es clave contar con modelos de algoritmos de datos para la gestión eficiente del sistema de educación.

Seguridad y defensa

Se vigilarán y detectarán las amenazas en instalaciones críticas por medio de la IA aplicada con modelos de video analítica, usando algoritmos para la detección de violación de perímetros de seguridad, movimientos sospechosos de personas e identificación de objetos sospechosos.

El análisis de inteligencia se realizará por medio del proceso de grandes cantidades de datos y uso de gran cantidad de algoritmos en la búsqueda de patrones y amenazas por medio de video analítica y aprendizaje de máquina.

La defensa del país utilizará escudos de defensa aérea y de fronteras (por ejemplo el escudo de hierro de Israel) con centros de control inteligentes y activos, con generación de alarmas en tiempo real 24/7, con identificación de patrones y registro histórico de los comportamientos sospechosos de violaciones del espectro radioeléctrico en las telecomunicaciones, así como también de personas y equipos.

Así mismo, se identificarán y mitigarán las amenazas cibernéticas, fortaleciendo la seguridad en línea de los sistemas de las fuerzas armadas, incrementado las barreras de seguridad de las bases de datos y de los procesos de inteligencia y defensa nacional.

Creación de nuevas industrias

Para efectos de cumplir los objetivos de crecimiento económico y desarrollo del país, el Estado tiene la oportunidad de desarrollar una industria de IA en Chile, que sea un exportador de algoritmos para aplicaciones especializadas. Sin embargo, para ello se requiere la **formación de mayor cantidad de especialistas en IA y ciencia de datos**.

El gobierno, a través del decreto 20 del 2021 que aprobó la Política Nacional de Inteligencia Artificial, establece el objetivo de un ecosistema robusto de investigación, desarrollo e innovación en IA en Chile, para generar capacidades nuevas en sectores productivos,

académicos y gubernamentales. Estas iniciativas, en línea con principios transversales de oportunidad y responsabilidad, pueden **contribuir al desarrollo sostenible y a mejorar la calidad de vida de la población chilena**.

Esto permitiría que en Chile se constituya una industria de algoritmos de IA, además de otros productos y servicios de exportación basados en IA. Con esta lógica, nuestro país podría insertarse entre los proveedores de la industria del software internacional tales como algunos países latinoamericanos: Argentina, Brasil, Colombia, México y Uruguay.

La creación de una industria de IA en Chile también proveerá al país de una cierta **independencia de las herramientas y plataformas globales que hoy se utilizan para estructurar soluciones de IA** en distintos procesos, para resolver necesidades específicas a la realidad de Chile, así como para su seguridad y defensa.

La IA es una tecnología transversal, integral, que puede abordar todos los ámbitos de la sociedad, a lo largo de toda la cadena de los procesos. En consecuencia, el país debe generar un conocimiento profundo, así como capacidades propias en IA para que pueda tener un grado de independencia y autonomía en su uso. Esto es similar a las diferentes áreas de conocimiento que han generado las Universidades en el tiempo.

CONCLUSIONES

Las elaboraciones de prospectiva —en el período hacia 2035— presentadas en los capítulos anteriores ofrecen planteamientos valiosos para el país, las personas y diversos actores (organismos públicos, empresas, instituciones de educación superior, comunidad de ingenieros, gobierno, asociaciones y otros). Estos capítulos abordan la prospectiva de IA en sectores seleccionados como salud, transporte, educación superior, energía, industria digital, manufactura, entre otros. Se observan elementos comunes entre ellos, así como otros únicos de estos sectores, facilitando la prospectiva a otros sectores no incluidos en este informe y al conjunto del país.

Las conclusiones se presentan como oportunidades, opciones y trayectorias para el desarrollo y transformación de la sociedad y de los actores, sin incluir recomendaciones específicas ni planes de acción. El objetivo es separar la prospectiva de los usos que los actores quieran darle a sus resultados.

A. SÍNTESIS DE ASPECTOS RELEVANTES

Tecnologías clave

- Predominio de *data science*, *machine learning*, *deep learning*, IA generativa, Ingeniería de prompt, representación digital de objetos físicos, avances en IA general.
- Necesidad de disponer de suficientes datos de calidad para desarrollar sistemas confiables de IA, minimizando los sesgos y las alucinaciones en la aplicación de algoritmos.

Potencial y oportunidades

- La tecnología tiene el potencial de cambiar radicalmente diversos ámbitos y sectores de la sociedad y la economía del país, superando las proyecciones y oportunidades expuestas en el libro sobre Prospectiva de Ingeniería (TD+I4.0), publicado por el Instituto de Ingenieros en 2023.
- Democratización del acceso: más personas en sus roles (ciudadanos, familias, consumidores, profesionales, actividades laborales diversas, otros) tienen acceso a sistemas y algoritmos de IA para su uso directo en temas que les son relevantes.
- Empoderamiento: las personas aumentan sus capacidades para actuar en la sociedad al usar adecuadamente las herramientas y sistemas basados en IA.
- Se distinguen rangos de cambio en la sociedad dependiendo de la proactividad de las políticas públicas, las iniciativas empresariales y de otros actores, la motivación y educación de las personas, los modelos de negocios en torno al uso efectivo de IA.

Solución de problemas complejos[53]

- Aumento significativo de las capacidades de profesionales, instituciones, organismos y empresas para resolver problemas complejos al usar adecuadamente las herramientas de IA.
- Los principales problemas complejos que enfrenta la sociedad actual se refieren a: los desafíos del Desarrollo Sostenible, la respuesta al Cambio Climático, el Desarrollo de Nuevas Industrias (en particular, tecnológicas), el desarrollo de Medicamentos de Nueva Generación, los Alimentos basados en Síntesis Biológica, renovación de la Educación desde la perspectiva de los aprendizajes efectivos, otras dimensiones relevantes.

Desintermediación y expansión de las profesiones

- Aumento de las funciones profesionales (CDIO[54]+G+I en Ingeniería) que son apoyadas, potenciadas o reemplazadas por herramientas de IA (asistentes virtuales, copilotos, gemelos digitales, otras), así como otras funciones que son creadas a partir de IA.
- Efectos en el empleo[55]: transiciones laborales en el ejercicio de las profesiones y ocupaciones diversas, dinámicas de cambio en empresas, organismos públicos, instituciones, emprendimientos y otros actores, con asimetrías entre países y entre sus sectores.
- Cambios en las profesiones como consecuencia del mayor tiempo disponible de las personas por la automatización y la desintermediación catalizada con IA. Nuevos espacios profesionales se habilitan progresivamente.
- Nuevos efectos en los usuarios de las funciones profesionales (pacientes, estudiantes, clientes, otros) y mayor autonomía de ellos en determinadas actividades.

Riesgos relevantes

- Aumento significativo de los potenciales efectos negativos de la IA. En particular, aumento de: asimetrías e inequidad; sesgos, noticias falsas; manipulación; segmentación y autorreferencia de segmentos de la sociedad; uso malicioso por actores al margen de las éticas, leyes y normas (crimen organizado, actores sociales o políticos).
- Posible autonomía de la IA respecto de las actuaciones humanas, con efectos no controlables en la sociedad, considerando tanto la autonomía de IA alineada con la sociedad y humanidad (por ejemplo, en vehículos autónomos) como la posibilidad de autonomía IA fuera del control humano (situación grave).
- Requerimiento de generar prevenciones y soluciones posibles para los riesgos relevantes, en particular, la regulación necesaria.
- Aumento de necesidades de seguridad —física y digital— para: la vida ciudadana; los activos de las personas, empresas, instituciones, organismos públicos y para la infraestructura.

---

53 Problemas complejos que integran varios objetivos relevantes en forma simultánea (en particular, económicos, sociales, ambientales). Considerando contextos con necesidades e intereses de una diversidad de actores participantes en los territorios (con sus respectivas características).

54 CDIO+G+I en Ingeniería: funciones de Concepción, Diseño, Implementación, Operación + Gestión + Innovación.

55 WEF. Future of Jobs Report, 2023. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2023.pdf

Desafíos

- Organismos públicos, empresa y otros actores deben actuar oportuna y diligentemente en contextos y tiempos caracterizados por la complejidad e incertidumbre internacional, articulando sentido de urgencia con la importancia de los ámbitos de impacto.
- Aumento del requerimiento de liderazgo transformacional colaborativo, capital humano bien formado y recursos adecuados en organismos públicos, empresas, instituciones y otros actores.
- Necesidad de cambio cultural en las diversas actuaciones humanas para aprovechar equitativamente los beneficios de la IA y para neutralizar sus riesgos y efectos negativos.
- Colaboración efectiva entre organismos, empresas e instituciones y las personas.
- Consideraciones críticas en gestión y uso la IA: transparencia, tratamiento justo a las personas, privacidad, rendición de cuentas *(accountability)*, responsabilidad profesional y de las entidades, control humano de la tecnología, propiedad intelectual. Gobernanza necesaria.
- Los ingenieros/as tienen una responsabilidad significativa para viabilizar esta transformación, con evolución de sus propósitos, criterios y prácticas profesionales. La Ingeniería está desafiada a evolucionar significativamente.

B. OPORTUNIDADES GLOBALES BASADAS EN IA PARA EL DESARROLLO DE CHILE

Oportunidades para el país (global)

Aceleración del desarrollo sostenible

- Uso de IA para acelerar la renovación e innovación de las industrias con foco en el desarrollo sostenible.
- Aumento de eficiencia en la gestión de agua, la utilización de la radiación solar y la producción de biomasa.
- Mayor continuidad y trazabilidad de las cadenas de suministro.
- Educación superior de alta calidad en función de las características e intereses de las personas.
- Diseño e implementación de modelos económico-sociales efectivamente sostenibles.

Modernización del Estado

- Diseños con desempeños superiores de la arquitectura estatal y de los servicios públicos usando plataformas digitales potenciadas con IA.
- Mejores modalidades de interacción entre el Estado y los ciudadanos, apalancando el uso de IA.
- Desarrollo avanzado de la democracia digital habilitando mejores espacios de participación a través de IA.

Oportunidades para las empresas y otros actores económico-sociales

Mejoramiento y renovación de las industrias existentes

- Contribución significativa de IA a la sostenibilidad y eficiencia económica de los procesos productivos y a la transición laboral mutuamente beneficiosa para las personas y las industrias.
- Nuevos modelos de negocio articulados con políticas públicas que usan la IA para abordar concurrentemente la creación de valor económico, social y ambiental.

Desarrollo de nuevas industrias y de modalidades de creación de riqueza y bienestar.

- Incorporación de nuevos actores a las industrias existentes mediante IA y plataformas digitales.
- Creación de nuevas industrias a partir de IA y su articulación con industrias existentes con alto potencial de desarrollo (biotecnológica, materiales avanzados, otras).
- Colaboración internacional potenciada con IA para abordar mercados globales.
- Desarrollo de una industria tecnológica nacional vinculada a ecosistemas de innovación global en torno a IA.

Oportunidades para los organismos públicos

Mejor cumplimiento de propósitos públicos

- Mejores diseños e implementaciones de entidades públicas mediante IA y otras herramientas digitales incluyendo servicios públicos, procesos de otorgamiento de permisos, cumplimiento de normativas.
- Uso ético y adecuado de la IA —junto a otras herramientas digitales— para lograr altos niveles de calidad y efectividad en la relación de los organismos públicos con los ciudadanos.

Mayor efectividad de la inversión pública

- Mejor diseño, evaluación, implementación y operación de inversiones usando IA y otras tecnologías I4.0.
- Transparencia significativa habilitada por plataformas digitales e IA, en particular para formulación, realización y seguimiento de inversiones públicas.

Oportunidades para las Instituciones de Educación Superior (IES)

Mejoramiento del aprendizaje y experiencias formativas

- Aprendizaje activo, personalizado y adaptativo potenciado con IA.
- Mejores experiencias formativas con IA articulada con simuladores, realidad virtual y aumentada, otras herramientas.
- Evolución de contenidos curriculares y extracurriculares como consecuencia del impacto de la IA en el ejercicio de las profesiones (transiciones laborales).

Mayor efectividad en formación, investigación e innovación, vinculación con el medio

- Mejor asignación y control del uso de recursos físicos mediante IA (infraestructura, laboratorios, sistemas).
- Desempeños académicos y directivos potenciados con IA.
- Aumento de la contribución en investigación, desarrollo e innovación a través del uso adecuado de IA y otras tecnologías I4.0
- Aumento de la calidad, resultados e impactos de la vinculación con el medio relevante mediante el uso de IA y otras tecnologías I4.0.

Oportunidades para las personas

Liberación de algunas labores y transición a nuevas labores

- Automatización de actividades rutinarias operacionales y cognitivas usando IA y otras herramientas tecnológicas.

- Nuevas labores humanas habilitadas por IA, requiriendo capacitación adecuada. Aumento de tiempo de libre disposición.
- Transición desde labores existentes a nuevas con la IA como herramienta que habilita la evolución.

Mayor aprendizaje y acceso a servicios

- Acceso facilitado con IA a funciones y servicios de empresas, instituciones, organismos públicos y otros actores.
- Oportunidades de autogestión y emprendimiento potenciado con IA y mejores competencias de liderazgo y colaboración.

C. ESPACIOS HABILITADOS CON LOS RESULTADOS DE LA PROSPECTIVA

La prospectiva y sus resultados permiten a organismos públicos, empresas, instituciones y otros actores actuar en diversos espacios, considerando los Escenarios I y II.

Evolución del Gobierno y del Estado: transición proactiva

- Desde una actitud reactiva y principalmente regulatoria a modalidades proactivas (incrementales y disruptivas). En particular, en las articulaciones público-privada y Estado-ciudadanos (participación interactiva).
- Desarrollo de sistemas estatales realmente efectivos en contextos complejos y dinámicos.
- Mayores competencias sociales y efectividad de los servidores públicos.
- Colaboraciones entre universidades, empresas y otros actores con organismos públicos.
- Mayor necesidad de profesionales en los organismos estatales con competencias en IA y sus aplicaciones.

Desarrollo de políticas públicas: generación y captura de valor

- Desarrollo altamente eficiente de políticas públicas para el bienestar y prosperidad de las personas, y el desarrollo sostenible del país.
- Sinergia de empresas, universidades y otros actores con organismos públicos utilizando IA como herramienta para el diseño e implementación de políticas que beneficien a la sociedad en su conjunto.
- Gestores y profesionales con competencias IA en el diseño, implementación y actualización continua de políticas públicas.
- Retroalimentación de los ciudadanos sobre la aplicación y resultados de políticas las políticas públicas.
- Necesidad de profesionales con competencias en IA aplicada a políticas públicas.

Oportunidades para empresas y actores económicos: innovación, colaboración, creación de valor con IA

- Mejor detección y aprovechamiento de oportunidades habilitadas por IA para empresas y otros actores en los mercados globales.
- Aumento significativo de la creación de valor usando IA en las empresas y otros actores. En particular, en las cadenas o redes de valor.

- Liderazgo empresarial potenciado con IA en la transformación productiva sostenible.
- Nuevas empresas y emprendedores que crean nuevos productos, procesos y servicios y mejoran significativamente los existentes, habilitados y potenciados por IA.
- Participación acelerada de empresas en los procesos de creación de valor habilitado por IA en los mercados nacional e internacional.
- Nuevos espacios de inversión y atracción de inversionistas que catalizan oportunidades en torno a IA.
- Aumento significativo de la participación y proyección internacional de empresas e innovadores en torno a IA.
- Participación de instituciones académicas (como el Instituto de Ingenieros), colegios profesionales, academias y ONG desde sus propias perspectivas en la creación de valor habilitado por IA.
- Demanda significativa de profesionales con competencias IA y sus aplicaciones.
- Transición laboral: algunas funciones profesionales surgen o aumentan, otras disminuyen o desaparecen.

Instituciones de Educación Superior (IES[56]): funciones de formación, I+D, innovación, creación y vinculación

- Ampliación y profundización de contribuciones habilitadas por IA en las funciones de las IES: formación, I+D, vinculación con el medio relevante, creación, innovación, transferencia tecnológica.
- Identificación y aprovechamiento de oportunidades nacionales e internacionales para las IES habilitadas por IA en sus diversas funciones.
- Aumento de vinculación e innovación en las IES y su colaboración con el entorno, potenciadas con IA.
- Participación internacional de IES en sus funciones y en las áreas de dominio potenciado con IA.
- Transformación de las instituciones —facilitado por IA— para abordar las necesidades del desarrollo sostenible.
- Incorporación de nuevos actores al mundo de la educación, especialmente en educación continua, facilitada por IA y plataformas digitales.
- Aumento de la diversidad de estudiantes de diversos orígenes nacionales e internacionales, principalmente a través de plataformas digitales y apoyo de IA en los procesos de aprendizaje efectivo.
- Proyección significativa en la educación en línea, en sistemas de educación crecientemente globales y personalizados.
- Colaboración de emprendedores y empresas tecnológicas en la educación a diferentes niveles, facilitada por plataformas digitales, IA y otras tecnologías.
- Necesidad de académicos con las competencias en IA y su aplicación efectiva a las funciones institucionales (formación, I+D, innovación, vinculación y otras).

Protagonismo de las personas en el desarrollo de la sociedad: capacidad de actuación y autogestión potenciados con IA

- Fortalecimiento de capacidades de actuación de las personas asistidas por IA y plataformas digitales.

[56] IES incluye Universidades, Institutos Profesionales, Centros de Formación Técnica.

- Despliegue progresivo de la autogestión potenciada por IA para atender sus necesidades e intereses al mismo tiempo de potenciar la colaboración.
- Desarrollo de aplicaciones de IA y herramientas digitales para habilitar la interacción justa de las personas con empresas y organismos públicos.
- Participación de las personas como clientes y usuarios empoderados con IA en la mejora de servicios y diseño de productos.
- Proyección significativa de personas como prosumidores (productores y consumidores) potenciados con IA. Por ejemplo, en energía.
- Los resultados de la prospectiva habilitan una amplia gama de espacios de actuación para diversos actores, promoviendo la colaboración, la innovación y la participación interactiva de la sociedad en el desarrollo sostenible y tecnológico del país.

D. TRAYECTORIAS DE EVOLUCIÓN POSIBLES

En forma similar a lo expresado en el libro de Prospectiva de la Ingeniería, son posibles tres trayectorias de evolución del país hacia 2035, basadas en IA, y caracterizadas por el nivel de proactividad de los actores públicos y privados:

Evolución "Principalmente Reactiva"

- Políticas públicas que abordan problemas sociales previamente identificados, a menudo con retraso.
- Empresas que satisfacen demandas evidentes del mercado y aspiraciones de clientes.
- Instituciones de educación superior que responden a necesidades evidentes y aspiraciones de los estudiantes.
- Limitado uso de componentes transformacionales de los Escenarios I y II basados en IA.

Evolución "Principalmente Proactiva"

- Políticas públicas que anticipan problemas sociales, ambientales y económicos actuando en tiempos críticos.
- Empresas que innovan de manera incremental, mejorando productos y servicios existentes o creando nuevos.
- Instituciones de educación superior que abordan nuevas necesidades y oportunidades, logrando una mayor participación de los estudiantes.
- Uso intensivo de componentes de transformación basados en IA.

Evolución "Principalmente Disruptiva"

- Políticas públicas basadas en la innovación social, tecnológica, política y organizacional, con elementos disruptivos potenciados por IA.
- Empresas que innovan de manera incremental y disruptiva, desarrollando nuevas industrias que mejoran significativamente la creación de valor, las nuevas oportunidades laborales y los espacios de participación ciudadana.
- Instituciones de educación superior que incrementan radicalmente su generación de conocimiento y su calidad, contribuyendo con nuevos paradigmas al desarrollo social, ambiental y económico.

- Uso intensivo de componentes de transformación potenciada por IA, algunos siendo disruptivos.

La IA facilita y potencia las trayectorias proactiva y disruptiva. Por ello, la comprensión de estas trayectorias es crítica para:

- Organismos y tomadores de decisiones públicas.
- Empresas, IES y otros actores económicos y sociales.
- Personas tanto individualmente como actores clave en el desarrollo de la sociedad.

Estas trayectorias ayudan a configurar un futuro potenciado por la IA, permitiendo un enfoque más estratégico y coordinado para el desarrollo del país hacia 2035.

Así, la Ingeniería está desafiada a evolucionar y aumentar su contribución a la sociedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbott, R. and E. Rothman (2022), "Disrupting Creativity: Copyright Law in the Age of Generative Artificial Intelligence", https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4185327

Aceituno O., P., Solar O., P & Bitar, S. (2017). Estrategia Chile 2030—Aporte de ideas para una reflexión nacional. Consejo Chileno de Prospectiva y Estrategia.

Afolabi et al. (2018). Evolution of wireless networks technologies, history and emerging technology of 5G wireless network: A review. Journal of Telecommunications System & Management, 7(3): 1-5.

Agenda 2030 in Finland: Key questions and indicators of sustainable development http://tietokayttoon.fi/

Asociación Chilena de Empresas de Tecnologías de Información A.G. (ACTI, 2020). Memoria ACTI 2020.

Australia (2017). Industry 4.0: An Australian Perspective. Recommendations Report to Australian Government, Department of Industry, Innovation and Science, Standars Australia, March 2017.

Australian Government (2017). Innovation and Science. Australia 2030: prosperity through innovation. A plan for Australia to thrive in the global innovation race. Canberra. Australia.

Autio, E., Nambisan, S., Thomas, L.D.W., & Wright, M. (2018). Digital affordances, spatial affordances, and the genesis of entrepreneurial ecosystems. Strategic Entrepreneurship Journal, 12(1): 72-95.

Baldwin, C., & Woodard, C.J. (2019). The architecture of platforms: A unified view. In: Gawer A, ed. Platforms, Markets and Innovation. Edward Elgar Publishing Limited, Cheltenham: 19-44.

Barcevičius, E., Cibaitė, G., Codagnone, C., Gineikytė, V., Klimavičiūtė, L., Liva, G., Matulevič, L., Misuraca, G. & Vanini, I., Exploring Digital Government transformation in the EU, EUR 29987 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-13299-8 (online), doi:10.2760/17207 (online), JRC118857.

Berryhill, J., T. Bourgery & A. Hanson (2018), "Blockchains Unchained: Blockchain Technology and its Use in the Public Sector", OECD Working Papers on Public Governance, No. 28, OECD Publishing, Paris.

Bertot, J., Jaeger, P., & Grimes, J. (2010). Using ICTs to create a culture of transparency: E-government and social media as openness and anti-corruption tools for societies. Government Information Quarterly 27 3 July 2010, pp. 264-271.

Bishop, C. M. (2006). Pattern Recognition and Machine Learning. Springer

Blackburn, S., Freeland, M. & Gärtner, D. (2017). Digital Australia: seizing opportunities from the Fourth Industrial Revolution, McKinsey&Company.

Blomberg (2021). https://www.bloomberg.com/graphics/2015-innovative-countries/

Bommasani, R., et al. (2021). On the Opportunities and Risks of Foundation Models. *arXiv preprint arXiv:2108.07258*. Disponible en https://arxiv.org/abs/2108.07258

Bostrom, N. (2014). Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies. Oxford University Press.

Brown, T. B., et al. (2020). Language Models are Few-Shot Learners. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33, 1877-1901

Bruneau M, Reinhorn AM (2007) "Exploring the concept of seismic resilience for acute care facilities". Earthquake Spectra 23 (1): 41-62.

Brussevich, M., Dabla-Norris, E. & Khalid, S. (2019). Is technology widening the gender gap? Automation and the future of female employment. IMF Working Paper No. 19/91. IMF, Washington, DC.

CDIO (2021). - Proceedings of the 17th International CDIO Conference, hosted online, Chulalongkorn University & Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Bangkok, Thailand, June 21-23, 2021

Chawla, S. et al. (2023), Ten Years after ImageNet: A 360° Perspective on Artificial Intelligence, Royal Society Open Science 10 (3), https://arxiv.org/abs/2210.01797

Cimerallo, G P (2016) "Urban Resilience for Emergency Response and Recovery", Springer.

Collela, P. (2017). Ushering in a better connected future. Ericsson. Available at: https://www.businessworld.in/article/ushering-in-a-better-connected-future-111504

Compte D, A. Eisenberg, E. Lorca, M. Pardo, L. Ponce, R. Saragoni, S. K. Singh, G. d'Avila Garcez, A. S., Lamb, L. C., & Gabbay, D. M. (2009). *Neural-Symbolic Cognitive Reasoning*. Springer.

Consejo de Políticas de Infraestructura (2018). Propuesta de Estrategia para la Transformación Digital de Chile—Una mirada 2030.

Consejo Minero, Fundación Chile & Corporación Alta Ley (2021). Roadmap: Digitalización para una Minería 4.0.

Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación para el Desarrollo (2021). Base para la Estrategia Nacional CTCI 2021.

Consejo Nacional de Implementación Agenda 2030 (2020). Agenda 2030 en Chile—Sesión Red Nacional Agenda 2030.

Deloitte (2019). 5G: The new network arrives. Technology, Media and Telecommunications Predictions. [Deloitte Insights] Available at: Deloitte (2022). Industry 4.0 technologies in companies. IoT: 5 trends to follow in 2022 – Which 4.0 strategies to adopt for more targeted investments?

DG Reform (2020). Towards an anticipatory innovation governance model in Finland. Directorate General for Structural Reform Support (DG REFORM) of the European Commission under the grant REFORM/IM2020/04.

Digital Transformation Agency. Autralian Government. (2022). The IoT, AR and VR: A Fruitful Synergy in Industry 4.0 https://www.electronicsforu.com/technology-trends/tech-focus/iot-ar-vr-fruitful-synergy-industry-4

Dohmke, T. (2022), "GitHub Copilot Is Generally Available to All Developers", https://github.blog/2022-06-21-github-copilot-is-generally-available-to-all-developers/

Durrant-Whyte, H., Gearghty, R., Pujol, F., Sellschop, R. (2015). How digital innovation can improve mining productivity. McKinsey & Company, 2015.

D'Ávila Garcez, A. S., Lamb, L. C., & Gabbay, D. M. (2009). Neural-Symbolic Cognitive Reasoning. January 2009. Cognitive Technologies

Eggers, W. & Hurst, S. (2017). Delivering the digital state – What if state government services worked like Amazon? Deloitte Insights (online): https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4226_Digital-state-govt-enterprise/DI_Delivering-the-digital-state.pdf

Eggers, W. & Viechnicki, P. (2017). How much time and money can AI save government? Deloitte Insights (online): https://www.nextgov.com/ideas/2017/06/what-future-artificial-intelligencegovernment-could-look/138352/

European Commission (2020). On Artificial Intelligence – A European approach to excellence and trust. [White paper] Brussels.

European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions. Eurofound, (2018). Automation, digitization and platforms: Implications for work and employment. Research report. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Eurostat (2014), Community Innovation Survey, https://ec.europa.eu/eurostat/web/microdata/community-innovation-survey

Fast, E., & Horvitz, E. (2017). Long-Term Trends in the Public Perception of Artificial Intelligence. AAAI.

Foresight (2019). Science & technology foresight, Inclusive Korea, Science and technology future vision, Challenges & Choices for Europe, Paradox of Progress. Global Issue, State of the futur. Korea.

Foster, D. (2019). *Generative Deep Learning: Teaching Machines to Paint, Write, Compose, and Play*. O'Reilly Media

Fundación Chile, Consejo Minero, Altaley. (2020). Roadmap-digitalización para una Minería 4.0 - 2020.

G7 Proceso de Hiroshima en IA Generativa hacia una interpretación común de IA generativa por parte del G7 (Sept 2023).

García Z., A., Iglesias, E., & Adamowicz, A. (2019). El impacto de la infraestructura digital en los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Un estudio para países de América Latina y el Caribe. Copyright © 2019 Banco Interamericano de Desarrollo. GSMA. Frontiers Economic. New York, USA. www.iadb.org

Gartner (2020). Gartner Identifies Five Emerging Trends That Will Drive Technology Innovation for the Next Decade. [Press release]. https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2020-08-18-gartner-identifies-five-emerging-trends-that-will-drive-technology-innovation-for-the-next-decade

Gartner (2021). 2021 Gartner® Market Guide for Technologies Supporting a Digital Twin of an Organization. https://www.gartner.com/en/documents/4003512

Gillen, A.L., Grohs, J.R., Matusovich, H.M., & Kirk, G.R. (2021). A multiple case study of an interorganizational collaboration: Exploring the first year of an industry partnership focused on middle school engineering education. The Research Journal for Engineering Education (online): https://doi.org/10.1002/jee.20403

Gobierno de Chile (2015). Agenda Digital 2020—Chile Digital para Tod@s. (Hoy, "Desde una Agenda Digital a la Transformación Digital"). agendadigital.gob.cl/#/

Gobierno de Chile. (2021). Política Nacional Minera – PNM 2050, Disponible en https://www.politicanacionalminera.cl

Goertzel, B. (2014). Artificial General Intelligence: Concept, State of the Art, and Future Prospects. *Journal of Artificial General Intelligence*, 5(1), 1-48.

Gómez, E. et al. (2018), Deep Learning for Singing Processing: Achievements, Challenges and Impact on Singers and Listeners, https://arxiv.org/abs/1807.03046.

Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep Learning. MIT Press. https://www.deeplearningbook.org.

Grace, K., Salvatier, J., Dafoe, A., Zhang, B., & Evans, O. (2018). "When Will AI Exceed Human Performance? Evidence from AI Experts". Journal of Artificial Intelligence Research, 62, 729-754.

Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The Elements of Statistical Learning* (2nd ed.). Springer

Hu, K. (2023), ChatGPT sets record for fastest-growing user base - analyst note | Reuters

Ingle, P. (2023), Top Artificial Intelligence (AI) Tools That Can Generate Code To Help Programmers, https://www.marktechpost.com/2023/07/11/top-artificial-intelligence-ai-tools that-can-generate-code-to-help-programmers

Inter-American Development Bank (IDB), 2019. "The Future of Transport Services," Discussion Paper IDB-DP-680, Tom Voege.

International Federation of Robotics (2018). World Robotics Report 2018. Available at: IFR releases World Robotics Report for 2018

ITU (2018). Assessing the economic impact of artificial intelligence. Issue Paper No.1, September. Available at: itu.int/dms_pub/itu-s/opb/gen/S-GEN-ISSUEPAPER-2018-1-PDF-E.pdf

Jang, E. (Nov. 10, 2021). Viewpoint: Can AI tutors help students learn? eSchool News. https://www.eschoolnews.com/featured/2021/11/10/viewpoint-can-ai-tutors-help-students-learn/

Ji, Z., et al. (2023). Survey of Hallucination in Natural Language Generation. *ACM Computing Surveys*, 55(12), 1-38

Jung, C., & Padman, R. (2015). Disruptive Digital Innovation in Healthcare Delivery: The Case for Patient Portals and Online Clinical Consultations.

Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2021). *Speech and Language Processing* (3rd ed.). Draft available at https://web.stanford.edu/~jurafsky/slp3/

KEIDANREN Japan Business Federation (2021). Society 5.0. Co-creating the future.

Keidanren Annual Report 2021. Japan. https://www.keidanren.or.jp/

Kennedy, Paul (2003). HACIA EL SIGLO XXI, Editorial Plaza y Janés, 2003, España, pp. 255-257.

Kurzweil, R. (2005). La Singularidad está Cerca: Cuando los Humanos Transcendamos la Biología. Penguin Books.

LeCun, Y., et al. (2021). Self-supervised Learning: The Dark Matter of Intelligence. *Facebook AI Research*. Disponible en https://ai.facebook.com/blog/self-supervised-learning-the-dark-matter-of-intelligence/

Love-Koh J, Peel A, Rejon-Parrilla JC, Ennis K, Lovett R, Manca A, Chalkidou A, Wood H, & Taylor M. The Future of Precision Medicine: Potential Impacts for Health Technology Assessment (2018). Pharmacoeconomics. 2018 Dec;36(12):1439-1451. doi: 10.1007/s40273-018-0686-6. Erratum in: Pharmacoeconomics. 2018 Oct 26; PMID: 30003435; PMCID: PMC6244622.

McCarthy, J., Minsky, ML., N Rochester, N., CE Shannon, CE. (2006). A proposal for the dartmouth summer research project on artificial intelligence, august 31, 1955. AI magazine, ojs.aaai.org

McKinsey Global Institute. (2015). Digital America: A tale of the haves and have mores.

Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, del Gobierno de Chile (2020). Política Nacional de Inteligencia artificial.

Ministerio de Energía, (2021), Estrategia Nacional de Electromovilidad. https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/estrategia_nacional_de_electromovilidad_2021_0.pdf

Ministerio de Energía, (2021), Transición Energética de Chile Política Energética Nacional. https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/actualizacion_anteproyecto_pen_2021_lr.pdf

Ministerio de Salud, (2018). Indicadores Básicos de Salud Chile.

Misuraca, G., Pasi, G. & Urzi Brancati, M.C. (2017). EconPapers: The potential and impact of ICT-enabled Social Innovation to promote social investment in the EU No JRC108517, JRC Research Reports, Joint Research Centre (Seville site):

Mitchell, T. M. (1997). *Machine Learning*. McGraw-Hill.

Moguillansky, G. (2006). Australia y Nueva Zelandia: la innovación como eje de la competitividad. División de Comercio Internacional e Integración. Naciones Unidas.CEPAL. Chile.

Naciones Unidas (2020). Sustainable Development Goals Report. https://www.un.org/sustainabledevelopment/progress-report/

Nightingale, S. and H. Farid. (2022), "AI-Synthesized Faces Are Indistinguishable from Real Faces and More Trustworthy", Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Vol. 119/8, https://doi.org/10.1073/pnas.2120481119

Nijkamp, E. et al. (2023), CodeGen: An Open Large Language Model for Code with Multi-Turn Program Synthesis, https://arxiv.org/abs/2203.13474

OECD (2017). OECD Digital Economy Outlook 2017. OECD Publishing, Paris.

OECD (2019a). Data in the digital age. Paris. Available at: https://www.oecd.org/going-digital/data-in-the-digital-age.pdf

OECD (2019b). Productivity growth in the digital age. Paris. Available at: http://www.oecd.org/going-digital/productivitygrowth-in-the-digital-age.pdf.

OECD (2019c). Measuring the Digital Transformation. A Roadmap for the Future. OECD Publishing, Paris.

OECD (2020a). White Paper: On Artificial Intelligence – A European Approach to excelence and trust. European Commission. Brussels 2020.

OECD (2020b). European Commission. CORDIS Lab. http://data.europa.eu/euodp/es/data/dataset/cordisH2020projects.

OECD (2020c). OECD Economic Surveys: Finland 2020, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/673aeb7f-en

OECD (2020d). Smart Cities and Inclusive Growth. OECD – Ministry of Land, Infastructura and Transport, Korea.

OpenAI (2023). "GPT-4 Technical Report". OpenAI

Polaris (2023), "Generative AI Market Share, Size, Trends, Industry Analysis Report, By Component (Software and Services); By Technology; By End-Use; By Region; Segment Forecast, 2023 - 2032", https://www.polarismarketresearch.com/industry-analysis/generativeai-market

Raworth, Kate. Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist. Oxford. 2017.

Royal Academy of Engineering RAE. (2016). Engineering and economic growth: a global view.

Ruiz-del-Solar, J. (2015). "Big data en Minería", Serie de Estudios Sobre Minería, Tecnología y Sociedad, Beauchef Minería, Universidad de Chile, 2020.

Schroeder, R (Jan. 5, 2022). Artificial Intelligence to Assist, Tutor, Teach and Assess in Higher Ed. Inside Higher Ed. https://www.insidehighered.com/digital-learning/blogs/online-trending-now/artificial-intelligence-assist-tutor-teach-and-assess

Shen, C. & Pena-Mora, F. (2018). Blockchain for Cities—A Systematic Literature Review. IEEE Access (online): https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8531608

SINGH, Ajit (1998): "Growth: Its Sources and Consequences", Cap. 3 de ECONOMIC DYNAMISM IN THE ASIA-PACIFIC, Grahame Thompson Ed., Routledge, 1998, p. 57.

Sriram, A. and C. Mehta (2023), OpenAI tech gives Microsoft's Bing a boost in search battle with Google | Reuters

Suarez (1986) "The 1985 Central Chile Earthquake: A repeat of Previous Earthquake in the Region? Science, 25 July 1986, Vol. 233. Pp. 449-453.

Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). *Reinforcement Learning: An Introduction* (2nd ed.). MIT Press

Tõnurist, P. and A. Hanson (2020), "Anticipatory innovation governance: Shaping the future through proactive policy making", OECD Working Papers on Public Governance, No. 44, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/cce14d80-en

U. Arizona (2022). Innovating Medical Education through Clinical Simulation. Center for Simulation and Innovation. Phoenix. USA. phoenixmed.arizona.edu › simcenter.

UNCTAD. Digital Economy Report (2019). Value Creation and Capture: Implications for Developing Countries.

UNESCO, International Centre for Engineering Education ICEE (2021a). Engineering for sustainable development: delivering on the Sustainable Development Goals. United Nations (2021b). The Sustainable Development Goals (SDGS) in action.

Valto (2022). Strategy for Public Governance Renewal. Publikationsarkivet Valto. Finland. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi

Vaswani, A. et al. (2023), OpenAI tech gives Microsoft's Bing a boost in search battle with Google | Reuters, Proceedings of the 31st Conference on Neural Information Processing Systems.

World Economic Forum, (2016). Digital Transformation Initiative: In collaboration with Accenture. Building the healthcare system of the future. June 2016.

World Economic Forum. (2017). Digital Transformation Initiative: Mining and Metals Industry.

World Economic Forum – Accenture (2018), Digital Transformation Initiative. http://reports.weforum.org/digital-transformation

Yang, L., S. Chou and Y. Yang (2017), "MidiNet: A Convolutional Generative Adversarial Network for Symbolic-Domain Music Generation", http://arxiv.org/abs/1703.10847.

GLOSARIO

El presente glosario ha sido preparado con el objeto de explicar algunos términos de uso común relacionados con la Inteligencia Artificial (IA), para facilitar la comprensión del lector. Este glosario pretende ser una guía explicativa de algunos términos que se mencionan en el documento.

En el desarrollo de este documento se han utilizado referencias de diferentes fuentes, entre ellas: SPRI – Agencia Vasca de Desarrollo Empresarial, World Economic Forum, Manufacturing USA, IBM y AWS.

Blockchain

Corresponden a sistemas criptográficos que gestionan y verifican los datos de transacciones de registro público. Esta tecnología es la base de nuevas formas de dinero virtual como Bitcoin y está siendo reconocida a nivel internacional como una de las innovaciones más disruptivas del siglo XXI; representa una transformación en la manera en la que realizamos transacciones en la actualidad. Esta tecnología permite registrar virtualmente todo lo que pueda ser expresado digitalmente como: certificados de nacimiento, títulos de propiedad, votos, cuentas financieras, datos de productos, fórmulas, contratos, de forma más rápida, segura y transparente que con las alternativas tradicionales.

Ciberseguridad

En un entorno digitalizado la protección de cualquier información relevante para la empresa o ciberseguridad cobra cada vez más relevancia. La ciberseguridad es el conjunto de tecnologías y servicios que protegen a la empresa de los ataques o pérdidas de datos.

Computación de alto rendimiento *(HPC – High Performance Computing)*

La computación de alto rendimiento (HPC) es la capacidad de procesar datos y realizar cálculos complejos a velocidades muy altas. Un computador portátil o de escritorio con un procesador de 3 GHz puede realizar unos 3,000 millones de cálculos por segundo; en comparación, las soluciones HPC pueden realizar cuatrillones[57] de cálculos por segundo.

Computación de borde *(Edge computing)*

El "*edge*" o "borde" es donde el mundo físico se encuentra con el mundo digital. En términos del Internet de las Cosas, el "*edge*" es donde los niveles de voltaje o corriente de un sensor o de una máquina se convierten en unos y ceros que una computadora usa para procesarlos.

Computación de niebla *(Fog computing)*

Esta tecnología toma la analogía de la nube y la acerca al mundo físico: la niebla. En ella, los datos que generan los dispositivos no se cargan directamente en la nube, sino que se preparan primero en centros de datos descentralizados más pequeños luego de lo cual se filtran o procesan para enviar solo los datos requeridos a la nube.

[57] Esto equivale a un millón de trillones, que se puede expresar como una unidad seguida de 24 ceros.

Computación en la nube *(Cloud computing)*

La nube es una plataforma compartida de recursos computacionales tales como servidores, almacenamiento y aplicaciones, que pueden ser utilizados a medida que se van necesitando y cuyo acceso es posible desde cualquier dispositivo móvil o fijo conectado a Internet y cuyo soporte está en servidores sobre los cuales el usuario no tiene control.

Economía digital

Servicios digitales y economía de las plataformas, que generan productos o servicios claves que se basan en tecnologías digitales centrales (SaaS: Software as a Service), incluyendo plataformas digitales, aplicaciones móviles y servicios de pago. La economía digital se ve afectada en gran medida por servicios innovadores en estos sectores, que están haciendo una contribución creciente a la economía y la sociedad, así como permitiendo posibles efectos secundarios en otros sectores.

Economía digitalizada

Un conjunto más amplio de sectores en digitalización, que incluye aquellos en los que los productos digitales y los servicios se utilizan cada vez más, por ejemplo, para comercio electrónico y servicios financieros. Esto incluye sectores habilitados digitalmente en los que han surgido nuevas tecnologías digitales.

Industria digital (TIC)

Elementos centrales de la economía digital, que comprenden innovaciones fundamentales (semiconductores, procesadores), tecnologías centrales (computadoras, dispositivos de comunicaciones, Ciberseguridad) y habilitación de infraestructuras (Redes de Internet y comunicaciones, Datacenters, Clouds, plataformas SaaS).

Industria 4.0

Es una de las denominaciones con las que se conoce la manufactura avanzada, y que se proyecta a diversas industrias. El nombre evoca la idea de que las tecnologías digitales en que se fundamenta (internet, redes avanzadas, inteligencia artificial y analítica, realidad virtual y realidad aumentada, otras) conforman una cuarta revolución industrial basada en la integración de sistemas ciber-físicos y sociales. Esta revolución ha ido precedida de una primera basada en el agua y en la energía de vapor, una segunda propiciada por la energía eléctrica que facilitó la división del trabajo y la producción en masa, y una tercera ligada a las tecnologías de la información y la consiguiente automatización de los procesos industriales.

Internet de las Cosas *(IoT – Internet of things)*

El Internet de las Cosas consiste en objetos físicos que pueden comunicarse entre sí a través de Internet. La conexión se realiza a través de microchips integrados que permiten un identificador único del dispositivo en la red.

MOOC *(Massive Online Open Courses)*

Es el acrónimo en inglés de Massive Online Open Courses (o Cursos online masivos y abiertos). Es decir, se trata de cursos a distancia, accesibles por internet al que se puede registrar cualquier persona y no tiene límite de participantes.

Realidad aumentada (RA)

Es una tecnología de inmersión parcial con la cual podemos ver a través de dispositivos electrónicos agregando una capa de información o simulación sobre el mundo real. Tiene usos muy variados como demostraciones de objetos, interacción con tiendas, juegos, operaciones industriales y prácticas en el área médica.

Realidad virtual (RV)

La realidad virtual permite al usuario introducirse por completo en un entorno de apariencia real pero generado por ordenador.

Smart City

Una ciudad inteligente o Smart City es un municipio o ciudad que utiliza tecnologías de información y comunicación para aumentar la eficiencia operativa, compartir información con el público y mejorar tanto la calidad de los servicios del gobierno y de los diversos actores como el bienestar de los ciudadanos.

Transformación digital

Es la integración de la tecnología digital en todas las áreas de una empresa o institución, cambiando fundamentalmente la forma en que opera y brinda valor a las personas.

INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Empresas Socias

AGUAS ANDINAS S.A.

ALSTOM CHILE S.A.

ANGLO AMERICAN CHILE LTDA.

ANTOFAGASTA MINERALS S.A.

ASOCIACIÓN DE CANALISTAS SOCIEDAD DEL CANAL DE MAIPO

BESALCO S.A.

CÍA. DE PETRÓLEOS DE CHILE COPEC S.A.

COLBÚN S.A.

CyD INGENIERÍA LTDA.

EMPRESA CONSTRUCTORA BELFI S.A.

GUZMÁN Y LARRAÍN VIVIENDAS ECONÓMICAS SpA

EMPRESA CONSTRUCTORA PRECON S.A.

EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES S.A.

EMPRESAS CMPC S.A.

ENAEX S.A.

INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN SIGDO KOPPERS S.A.

SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA DE CHILE S.A.

EMPRESAS DE INGENIERÍA COLABORADORAS

ACTIC CONSULTORES LTDA.

ARCADIS CHILE S.A.

IEC INGENIERÍA S.A.

JRI INGENIERÍA S.A.

LEN Y ASOCIADOS INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

SYNEX CONSULTORES LTDA.

ZAÑARTU INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

INSTITUTO DE INGENIEROS
CHILE

Nuestros canales digitales:

Sitio web: www.iing.cl
Linkedin: https://www.linkedin.com/company/64274333/admin/
E-mail: iing@iing.cl · secretaria@institutodeingenierosdechile.cl

Nuestros teléfonos:

(+56) 22696 8647 · (+56) 93736 0656