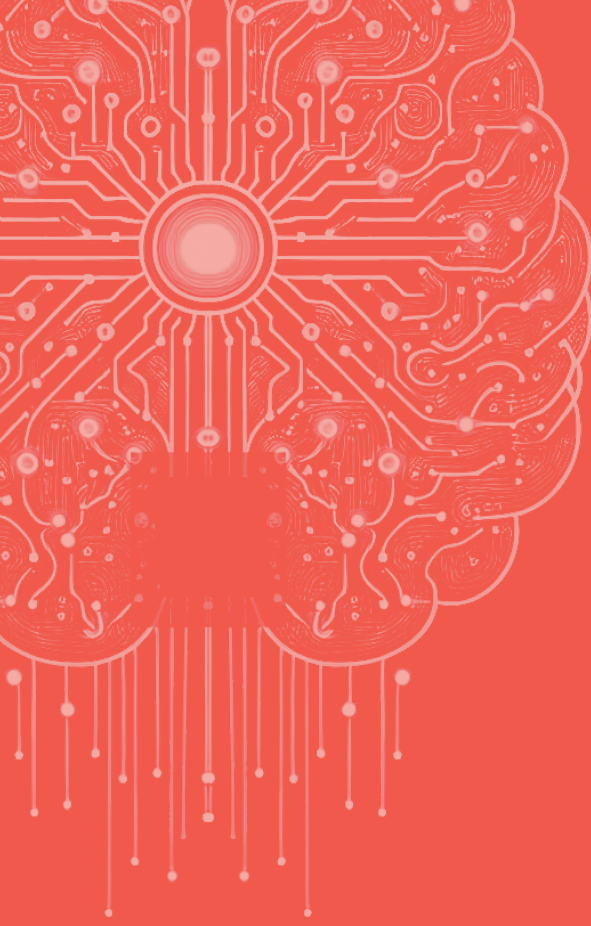
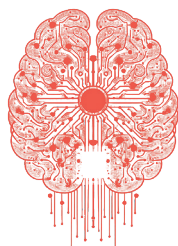




El futuro nos ha alcanzado

Javier Sánchez Galicia



La ciencia de datos

La frase atribuida a Hemingway: “primero ocurre lentamente, luego de repente”, podría aplicarse al crecimiento vertiginoso en el uso de la Inteligencia Artificial. Hoy tenemos acceso a los datos que se generan en la interacción entre las distintas comunidades y es así como se puede acceder a la información sobre las condiciones de vida de los seres humanos en casi todos los rincones del mundo (Rodríguez, 2022). Los datos y la IA existen prácticamente en todo lo que usamos y hacemos: en los teléfonos, los automóviles, las carreteras, los sistemas de agua potable, los servicios de salud, el sector agropecuario, los asistentes virtuales (como Alexa y Siri), los traductores automáticos, y en una infinidad de actividades de nuestra vida diaria.

Por otra parte, con el análisis de conjuntos de macrodatos se pueden ubicar nuevas correlaciones para detectar tendencias de negocios. Por ejemplo, se estima que el 73 % de las empresas pierde tiempo en tareas que no agregan valor y que la IA podría

automatizar, mientras los empleados que utilizan esta tecnología reportan una mejora del 80 % en su productividad. También se pueden prevenir enfermedades como la diabetes, utilizando redes neuronales recurrentes (long-short term memory, LSTM), para predecir el aumento en los niveles de glucosa de un paciente

(Mosquera, 2023). Otro uso cada vez más extendido es el combate a la delincuencia a partir del análisis predictivo: por ejemplo, mediante el machine learning, se ha estudiado la frecuencia de robos y asaltos en zonas peligrosas de ciudades como Bogotá, en Colombia (Arboleda, 2023).

El aprovechamiento del big data ha sido posible debido a la construcción de mecanismos capaces de leer la enorme cantidad de datos, su velocidad y variabilidad, a costos cada vez más accesibles. En esta data encontramos patrones e información con un valor al cual hace apenas un par de décadas era imposible acceder, por la gran cantidad de trabajo y el alto grado de computación y especialización necesarios para extraerlos. En la actualidad, el acceso a la nube de datos a través de software de código abierto —como el caso de DeepSeek—, ponen el procesamiento de los macrodatos al alcance de quienes tienen menos recursos. La era de los macrodatos a la que

hemos ingresado de manera vertiginosa, marca el momento en el que somos capaces de analizar la información que nos proporcionan todo tipo de dispositivos conectados a internet, para transformarlos en predicciones y conocimiento procesable. Así, todo ello convierte al ser humano en una “inteligencia aumentada” (Rodríguez, 2022).



73%

de las empresas
pierde tiempo
en tareas que no
agregan valor

80%

de empleados
que utilizan la IA
reportan una mejora
en su productividad

Los algoritmos gobiernan nuestra vida

Hoy en día, se utiliza con mayor frecuencia el término ciencia de datos. Sin embargo, hacia los años sesenta, se le conocía como estadística y luego, a finales de los noventa, se popularizó el concepto minería de datos. Su independencia, en cuanto a definición se refiere a tres aspectos que la caracterizan: el diseño, la recopilación y el análisis de los datos. La ciencia de datos —como se le denomina desde hace un par de décadas— de manera más frecuente y fuera del ámbito académico, se utiliza para estudiar los datos de cuatro maneras principales:

- **Análisis descriptivo.** Se caracteriza por las visualizaciones de datos: los gráficos circulares, de barras o líneas; las tablas o las narraciones generadas. Por ejemplo, en una reserva de vuelos, el análisis descriptivo mostraría los picos y caídas de las reservas, así como los meses de alto rendimiento del servicio.
- **Análisis de diagnóstico.** Es un examen profundo o detallado de datos para entender un acontecimiento y se caracteriza por la minería de datos o las correlaciones. En el mismo ejemplo de los vuelos, se podría hacer un análisis pormenorizado de un mes con un rendimiento particularmente alto para entender el mejor pico de reservas.
- **Análisis predictivo.** Utiliza los datos históricos para hacer previsiones sobre los patrones de datos que pueden producirse en el futuro. Se caracterizan por técnicas como el machine learning, la previsión, la coincidencia de patrones y el modelado predictivo. En cada una de estas técnicas, se entrena a las computadoras para aplicar ingeniería inversa a las conexiones de causalidad en los datos. De tal forma, siguiendo el mismo ejemplo, el equipo de servicios de vuelo podría predecir patrones de reserva del año siguiente al

empezar cada ciclo para, así, poder anticiparse a las futuras necesidades de viaje de los clientes.

- **Análisis prescriptivo.** No sólo predice lo que es probable que ocurra, sino que sugiere una respuesta óptima para lograr ese resultado. Utiliza el análisis de gráficos, la simulación, el procesamiento de eventos complejos, las redes neuronales y los motores de recomendación del machine learning. Regresando al ejemplo de reserva en los vuelos, un científico de datos podría proyectar los resultados de las reservas de diferentes niveles de gasto en varios canales de marketing. Esto le concedería a la aerolínea una mayor confianza en sus decisiones al maximizar la ventaja en un pico de reservas de vuelos.

Los algoritmos gobiernan nuestras vidas, aprenden de los rastros de datos que vamos dejando en el mundo digital. Son un conjunto de instrucciones o reglas definidas: no-ambiguas, ordenadas y finitas, que permite solucionar un problema.

Es un hecho que los algoritmos gobiernan nuestras vidas. Nos ayudan a encontrar no solamente un vuelo de avión, sino también a seleccionar libros, películas, trabajos y citas, gestionar inversiones y encontrar la ruta más accesible en nuestro camino a casa o a la oficina. Los algoritmos aprenden de los rastros de datos que vamos dejando en el mundo digital. Ahora bien, un algoritmo es un conjunto de instrucciones o reglas definidas: no-ambiguas, ordenadas y finitas, que permite solucionar un problema, realizar un cómputo, procesar datos y llevar a cabo diversas tareas (Brassard y Bratley, 1997). En

los laboratorios de investigación y en las universidades más importantes del mundo se libra una carrera, cada vez más acelerada, por diseñar algoritmos nuevos, mejores, capaces de descubrir cualquier tipo de conocimiento a partir de los datos, y, desde luego, hacer cualquier cosa antes de que nosotros la pidamos.

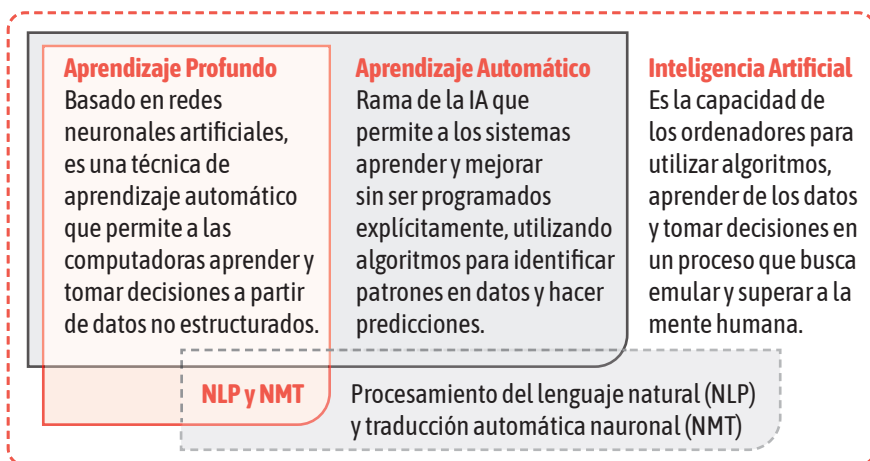
Y ¿qué es la Inteligencia Artificial?

La IA es la capacidad de los ordenadores para utilizar algoritmos, aprender de los datos y tomar decisiones en un proceso que busca emular y superar a la mente humana. La Comisión Europea (2019) define a la IA como un término genérico que se refiere a:

cualquier sistema diseñado por humanos que, dado un objetivo complejo, actúa en el ámbito físico o digital percibiendo su ambiente, a través de la adquisición de datos, estructurados o no estructurados, razonando sobre el conocimiento o procesando la información, para decidir la mejor acción a tomar para alcanzar el objetivo dado (p. 6).

El campo de acción de la IA es amplio e incluye diversas disciplinas como la informática, análisis predictivo y estadístico, creación de hardware y software específicos, análisis de lenguaje natural, redes neuronales artificiales y los procesos de comunicación. En términos operativos, el conjunto de tecnologías que utiliza la IA se basa principalmente en aprendizaje automático (*machine learning*), en un plano básico, y en el aprendizaje profundo (*deep learning*) para generar modelos de procesamiento de datos más avanzado (ver figura 1).

■ Gráfico 1



Elaboración propia con base en Criado, J. (2025)

El pilar sobre el cual se apoya la Inteligencia Artificial es la cuantiosa base de datos y la capacidad de computarla de manera eficiente y rápida. Los sistemas soportados por IA aprenden y mejoran de manera constante a través del análisis de grandes cantidades de datos a partir de identificar los patrones de interacción humana. Este proceso de aprendizaje se apoya en algoritmos que, tras un minucioso análisis lingüístico, son convertidos en estructuras binarias, etiquetados y clasificados para facilitar la categorización de datos y la elaboración de análisis predictivos.

Cada vez con mayor frecuencia escucharemos sobre la necesidad de que médicos, educadores, abogados o administradores públicos comprendan la urgencia de aprender a utilizar las herramientas que ofrece la Inteligencia Artificial. Para entender

La IA generativa puede crear contenidos originales como texto, imágenes, video, audio o código software, en respuesta a una instrucción del usuario. En cambio, la analítica o la discriminativa, salta de las capacidades cognitivas a las capacidades creativas; la máquina produce información nueva.

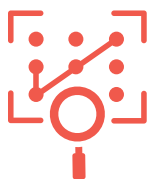
esta evolución, conviene revisar brevemente las etapas de su desarrollo. Un caso paradigmático es Deep Blue, la máquina de IBM que, en 1997, derrotó al campeón mundial de ajedrez, Garry Kasparov. Se trata de un ejemplo clásico de lo que se conoce como una máquina reactiva: sistemas que responden a estímulos siguiendo reglas preprogramadas, sin memoria y sin la capacidad de aprender a partir de datos nuevos. En contraste, hoy nos encontramos ante una generación de sistemas de IA clasificados como de memoria limitada, capaces de mejorar su desempeño mediante el entrenamiento con nuevos conjuntos de datos.

Una de las formas más extendidas de clasificar los tipos de Inteligencia Artificial se basa justamente en aquello que la máquina es capaz de hacer. La inteligencia artificial generativa puede crear contenidos originales como texto, imágenes, video, audio o

código software, en respuesta a una instrucción o solicitud del usuario. Los modelos de este tipo de inteligencia artificial aprenden los patrones y la estructura de sus datos de entrenamiento de entrada y, luego, generan nuevos datos con características similares. La diferencia con otros tipos de IA, como la analítica o la discriminativa, es que la generativa salta de las capacidades cognitivas a las capacidades creativas; la máquina produce información nueva, en lugar de limitarse a reconocer, analizar o clasificar el contenido existente.

Las computadoras aprenden

El *machine learning* (aprendizaje automático) es una rama de la Inteligencia Artificial que permite a las máquinas aprender diversas tareas sin ser programadas previamente o de manera específica. Su funcionamiento se basa en el análisis predictivo y el reconocimiento de patrones a partir del procesamiento de grandes volúmenes de datos. Así, los algoritmos pueden mejorar continuamente su desempeño para afrontar y resolver incluso tareas para las cuales no fueron diseñados. Las fases son las siguientes: primero, en el **proceso de decisión** se realizan cálculos basados en los datos e identifica patrones; luego, a través de la **función de error**, se mide la precisión de la decisión al compararla con ejemplos conocidos; y, finalmente, mediante la **actualización y optimización** se analiza el error y se ajusta la toma de decisiones.



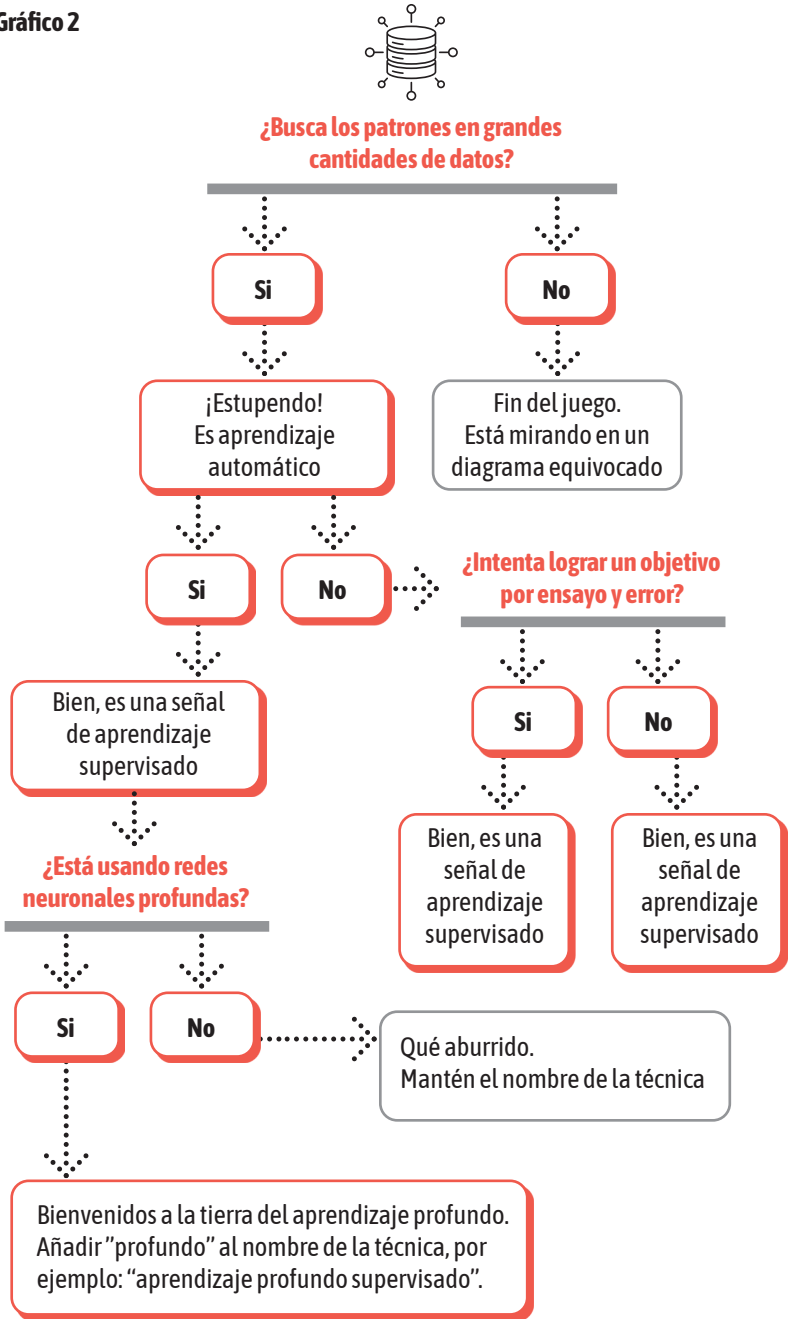
Basándose en el análisis predictivo y el reconocimiento de patrones a partir del procesamiento de grandes volúmenes de datos, los algoritmos pueden mejorar su desempeño

El aprendizaje automático es el proceso que alimenta muchos de los servicios que utilizamos en la actualidad: las recomendaciones en Netflix, YouTube y Spotify, buscadores como Google, las redes sociales de noticias en Facebook y X, los asistentes de voz como Siri y Alexa, entre otros. En todos estos casos, cada plataforma o aplicación, recopila la mayor cantidad posible de información sobre los usuarios: los géneros más gustados, los enlaces que se eligen y le dan clic, las publicaciones a las que reaccionan. El aprendizaje automático entra en acción cuando se trata de predecir aquello que podría gustar más a un usuario, y a partir de ahí, continuar afinando sus sugerencias. Aunque en esencia se trata de un proceso relativamente básico —identificar patrones y aplicarlos—, lo cierto es que esta lógica simple sostiene buena parte del funcionamiento del mundo digital contemporáneo.

De acuerdo con la *MIT Technology Review* (ver figura 2), el aprendizaje automático presenta tres variedades diferentes:

- **Aprendizaje supervisado.** Es el más frecuente en su uso y en esta modalidad, los datos están etiquetados para indicar a la máquina qué patrones buscar;
- **Aprendizaje no supervisado.** A diferencia del anterior, en este caso los datos no están etiquetados, y es la propia máquina la que, de forma autónoma, intenta descubrir estructuras ocultas o agrupamientos dentro de la información. Aunque menos visible en sus aplicaciones, esta técnica es ampliamente empleada en campos como la ciberseguridad;
- **Aprendizaje por refuerzo.** Se basa en un mecanismo de ensayo y error, donde el algoritmo explora diferentes caminos para alcanzar un objetivo específico. A lo largo del proceso, recibe recompensas o penalizaciones según los resultados obtenidos, para afinar su comportamiento progresivamente.

■ Gráfico 2



Algoritmos que se entrenan a sí mismos

El aprendizaje profundo utiliza redes neuronales artificiales para simular el complejo poder de la toma de decisiones del cerebro humano. La diferencia entre el aprendizaje profundo y el aprendizaje automático es la estructura de la arquitectura de la red neuronal subyacente; el aprendizaje profundo llega a utilizar cientos o miles de capas para entrenar los modelos. Otra diferencia es que, mientras los modelos de aprendizaje supervisado requieren datos de entrada estructurados y etiquetados para obtener resultados precisos, los modelos de aprendizaje profundo pueden emplear el aprendizaje no supervisado, de modo que pueden incluso evaluar y refinar sus resultados para aumentar la precisión.

Una de las características fundamentales del aprendizaje profundo es su capacidad para ejecutar tareas tanto analíticas como físicas sin intervención humana. Se trata de una rama avanzada de la ciencia de datos que impulsa múltiples aplicaciones y servicios orientados a la automatización inteligente. Gracias a ello, diversos productos y herramientas de uso cotidiano —como los asistentes digitales, los controles remotos con reconocimiento de voz, los sistemas de detección de fraude en tarjetas de crédito, los vehículos autónomos o la propia IA generativa— forman ya parte del paisaje tecnológico actual.

En el sector financiero, por ejemplo, las empresas han comenzado a incorporar herramientas de IA generativa con el objetivo de ofrecer un mejor servicio al cliente al tiempo que reducen costos operativos. Entre sus aplicaciones más frecuentes se encuentran



Gracias al aprendizaje profundo es posible contar con asistentes digitales, controles remotos con reconocimiento de voz, vehículos autónomos o la propia IA generativa

los *chatbots* capaces de generar recomendaciones personalizadas y responder consultas; los sistemas automatizados para la aprobación de préstamos en el ámbito *FinTech*, especialmente útiles en países en desarrollo; la detección ágil de fraudes financieros; y el acceso a asesoría financiera segura, precisa y a bajo costo.

Cabe destacar que los modelos generativos no son una invención reciente. Sus formas más primitivas se han utilizado durante décadas en el campo de la estadística para facilitar el análisis de datos numéricos.

Redes neuronales artificiales

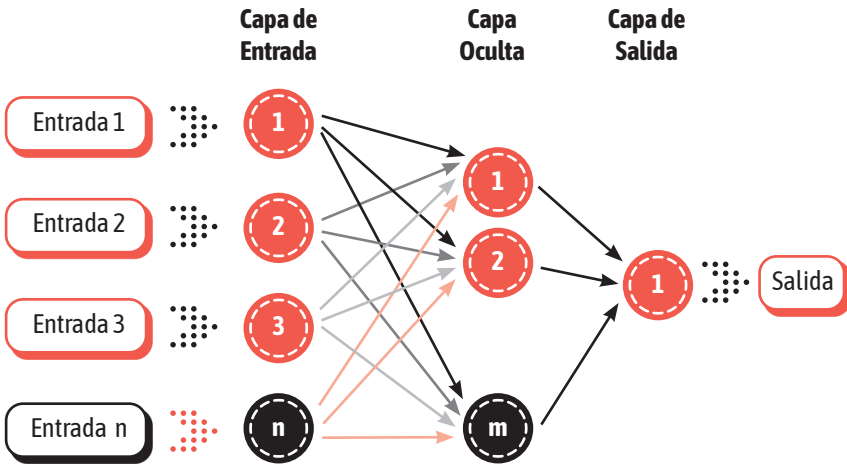
Las redes neuronales artificiales se inspiran directamente en el funcionamiento de las redes neuronales biológicas. Las neuronas, presentes en nuestro cerebro, están compuestas por tres partes fundamentales: las dendritas, el soma y el axón. Las dendritas son prolongaciones protoplásmicas cortas y ramificadas cuya función principal es la recepción de estímulos, aunque también participan, de manera secundaria, en la alimentación celular (Diccionario Médico Roche, 2003).

Una vez recibidos, estos impulsos son procesados en el soma, la parte central de la neurona que contiene el núcleo y la mayoría de los orgánulos. Allí se regula el metabolismo celular, funcionando como centro de control de toda la actividad neuronal (Young et al., 2014). Finalmente, la señal se transmite a través del axón, que emite un impulso nervioso hacia las neuronas contiguas, continuando así la cadena de comunicación (Levitan y Kaczmarek, 2001).

En el caso de las neuronas artificiales, este proceso es representado de manera matemática. La suma de las entradas, ponderadas por sus respectivos pesos, equivale al “impulso nervioso” que recibe la neurona. Este valor se procesa mediante una función de activación, que devuelve una salida destinada a alimentar la siguiente capa de la red.

Del mismo modo que nuestro cerebro está compuesto por neuronas interconectadas entre sí, una red neuronal artificial está formada por neuronas artificiales conectadas entre sí y agrupadas en diferentes niveles que denominamos capas: “una capa es un conjunto de neuronas cuyas entradas provienen de la capa anterior (o de los datos de entrada para el caso de la primera capa) y cuyas salidas son la entrada de una capa posterior” (Olivera, 2019). Entrenar una red neuronal consiste en ajustar cada uno de los pesos de las entradas de todas las neuronas que forman parte de la red neuronal, para que las respuestas de la capa de salida se ajusten lo más posible a los datos que conocemos (ver figura 3).

■ Gráfico 3



Fuente:

Los modelos de aprendizaje profundo son redes neuronales artificiales diseñadas para emular el funcionamiento del cerebro humano. Así como en nuestro sistema nervioso existen millones de neuronas interconectadas que trabajan de manera conjunta para aprender y procesar información, en las redes artificiales, las neuronas —representadas como nodos de software— utilizan operaciones matemáticas para transformar y analizar datos.



En 2013, de los autocodificadores variacionales crearon los primeros modelos generativos profundos capaces de producir imágenes y voz con apariencia realista.

Estas redes están compuestas por múltiples capas que operan de forma interconectada, lo que les permite abordar problemas complejos con un alto grado de eficacia.

Explicado de forma sencilla: una red neuronal artificial comienza con una capa de entrada que recibe los datos iniciales. Estos son procesados y transmitidos a través de distintas capas intermedias, cuya cantidad y complejidad pueden variar según el diseño del modelo de aprendizaje profundo. Finalmente, la capa de salida genera una respuesta, compuesta por nuevos datos que reflejan resultados optimizados.

Las redes neuronales y el aprendizaje profundo fueron, en su momento, los precursores inmediatos de la Inteligencia Artificial generativa contemporánea. Un punto de inflexión en esta evolución fue el desarrollo, en 2013, de los autocodificadores variacionales (VAE, por sus siglas en inglés), los primeros modelos generativos profundos capaces de producir imágenes y voz con apariencia realista. Desde entonces, los modelos de IA generativa han continuado avanzando a un ritmo vertiginoso, encontrando aplicaciones en prácticamente todos los sectores. Estas innovaciones se orientan cada vez más hacia el perfeccionamiento de modelos que puedan adaptarse a datos propios y contextos específicos. En este escenario, los investigadores inmersos en la acelerada carrera por el liderazgo geopolítico y tecnológico apuestan por desarrollar sistemas capaces de generar textos, imágenes, videos y discursos cada vez más indistinguibles de los producidos por los seres humanos.

Aplicación interdisciplinaria de la IA

De acuerdo con Ander-Egg (1994), la interdisciplinariedad consiste en una interacción y cruzamiento de cada disciplina y un nivel de conocimiento de los contenidos y métodos, resaltando la complejidad de los saberes y la necesidad de su articulación. Constituye un requerimiento contemporáneo dirigido a superar un saber fragmentado, propiciando intercambio y cooperación ordenada de disciplinas (Morin, 1998). Esa interdisciplinariedad, según Morin (2001), se orienta a la reunificación del saber acercándose a conceptualizaciones globales, a través de una investigación multilateral de la realidad, dado su carácter variado, multifacético y complejo. En este sentido, el desarrollo de habilidades que permitan conocer, evaluar y utilizar la ciencia y la tecnología para el desenvolvimiento cotidiano de las personas se ha transformado en un desafío contemporáneo, desde la educación formal hasta la ciencia de frontera. Por tanto, las habilidades de pensamiento científico (HPC) constituyen un componente central en el desarrollo formativo de los futuros investigadores de ciencias, configurando prerequisites para la construcción de aprendizajes que transformen los entornos sociales.

Algunas disciplinas que recurren con creciente frecuencia a la IA para optimizar sus procesos:

- En el procesamiento eficiente y escalable de datos clínicos en la atención médica.
- En el análisis predictivo para maximizar rendimientos en el sector financiero.
- La protección frente a amenazas de seguridad cibernética en contextos geopolíticos.
- La incorporación de la robótica en los procesos de enseñanza-aprendizaje
- La pérdida de biodiversidad y la degradación de los ecosistemas

Las tecnologías basadas en Inteligencia Artificial ya se utilizan para potenciar las capacidades humanas, generando mejoras significativas y promoviendo una mayor eficiencia en prácticamente todos los ámbitos de la vida. Hoy en día, una amplia gama de disciplinas recurre con creciente frecuencia a la IA para optimizar sus procesos. Entre ellas, podemos mencionar el procesamiento eficiente y escalable de datos clínicos en la atención médica; el análisis predictivo para maximizar rendimientos en el sector financiero; la protección frente a amenazas de seguridad cibernética en contextos geopolíticos; la incorporación de la robótica en los procesos de enseñanza-aprendizaje; o el desarrollo de modelos que buscan mitigar el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la degradación de los ecosistemas, por mencionar solo algunas de sus aplicaciones más relevantes.

A continuación, me propongo presentar el estado del arte en torno a la investigación científica que está desarrollando modelos y metodologías con IA para atender algunos de los sectores clave. Considero que estos trabajos representan los primeros trazos de un nuevo mundo que comienza a configurarse con el uso intensivo e inteligente de estas tecnologías emergentes.

En la prevención de la salud

En el campo de la inteligencia artificial existen algoritmos de aprendizaje automático, como las redes neuronales artificiales (ANN), las máquinas de soporte vectorial (SVM), Naive Bayes (NBC), aprendizaje profundo (DL) y técnica de minería de datos, que se utilizan para detectar patro-

En medicina existen algunos algoritmos de aprendizaje automático:

- Redes neuronales artificiales (ANN)
- Máquinas de soporte vectorial (SVM)
- Naive Bayes (NBC)
- Aprendizaje profundo (DL)
- Técnica de minería de datos, que se utilizan para detectar patrones y determinar el diagnóstico y tratamiento de enfermedades

nes y determinar el diagnóstico y tratamiento de enfermedades. Por ejemplo, la diabetes es un trastorno metabólico considerado como enfermedad crónica o de larga duración que se caracteriza por elevados niveles de glucosa, cuyas complicaciones asociadas, a corto plazo, son la cetoacidosis diabética y, a largo plazo, enfermedades cardiovasculares, accidentes cerebrovasculares, insuficiencia renal crónica, entre otras (Jaiswal et al., 2021). La atención de esta enfermedad está orientada a partir del desarrollo de modelos predictivos y herramientas impulsadas por IA.

La implementación del machine learning ha abierto nuevas posibilidades para que los sistemas inteligentes construyan modelos cada vez más precisos, a partir de la identificación de patrones complejos en grandes volúmenes de datos (Li et al., 2020). Este proceso permite extraer las características esenciales para el entrenamiento y la validación de modelos predictivos (Ahmed et al., 2022), ampliando con ello su aplicabilidad en distintos campos del conocimiento.

Uno de los ejemplos más relevantes se encuentra en el desarrollo de sistemas de predicción para la diabetes tipo 2, los cuales emplean metodologías como el promedio ponderado objetivo basado en la distancia. Este enfoque ha demostrado ser promotor, en buena medida gracias a la innovación que introduce en la forma de procesar los datos (Nuankaew et al., 2021).

Una revisión de literatura especializada a cargo de Benites y Coral (2022), basada en el análisis de 7329 artículos y utilizando como criterios de búsqueda términos como models, methods, algorithms, predictions, trends, diabetes, diagnosis, identificó que el Reino Unido, Australia y la India concentran el mayor número de publicaciones científicas en este ámbito. De acuerdo con este estudio, la regresión logística y las redes neuronales artificiales se posicionan como los métodos de construcción que han ofrecido mejores resultados en tareas de predicción.

En la sostenibilidad y el impacto ambiental

En lo que respecta a estudios sobre sostenibilidad, cuidado ambiental y aplicación de avances tecnológicos, los modelos basados en IA también han cobrado relevancia. En respuesta a la creciente preocupación por el cambio climático, la variabilidad climática, la pérdida de biodiversidad y la degradación de los ecosistemas, investigadores y organizaciones han comenzado a aplicar técnicas de IA para abordar estos desafíos globales (Ahmad et al., 2022; Antonopoulos et al., 2020; Zare et al., 2024). En las última dos décadas, especialmente desde 2019, se ha presentado un aumento exponencial en el número de estudios que emplean IA para modelar fenómenos ambientales y optimizar el uso de recursos naturales (Zhang et al., 2022); estos estudios también han permitido la predicción de eventos climáticos extremos, la gestión de recursos hídricos y la conservación de especies en peligro (Balogun et al., 2020; Bolon-Canedo et al., 2024).

Una revisión en el estado del arte acerca de la inteligencia artificial, sostenibilidad e impacto ambiental, a cargo de Camastra y González Vallejo (2025), expone que los estudios científicos registraron un aumento en el último año, con un total de 2221 documentos y 43 336 citaciones, lo cual muestra la importancia creciente de la exploración del impacto ambiental y los sistemas basados en IA. En cuanto a los países más productivos, los resultados de la exploración citada mostraron el predominio de países desarrollados como China, Reino Unido, Estados Unidos e India.

Algunas de las aplicaciones de IA en sostenibilidad:

- Cambio climático
- Variabilidad climática
- Pérdidas de biodiversidad
- Degradación de los ecosistemas
- Creación de modelos de fenómenos ambientales
- Optimización del uso de recursos naturales
- Predicción de eventos climáticos extremos

En cuanto a los estudios agrupados en clúster de investigación, destaca Estados Unidos, mientras España ocupa un lugar relevante al fungir como nodo con países latinoamericanos como México, Chile, Perú y Argentina.

En la educación

La comunidad científica está prestando cada vez más atención a las herramientas educativas enriquecidas con tecnología inteligente,



Existen startups de aprendizaje lúdico adaptativo y personalizado construidas con IA:

- RoboRave
- Wumbox
- Zoombers
- Afinidata
- Sima Robot, entre otras.

Destacan también las investigaciones de *machine learning* aplicado a la educación.

debido a su potencial de revolucionar los procesos de enseñanza-aprendizaje. Existen startups de aprendizaje lúdico adaptativo y personalizado construidas con IA, como RoboRave, Wumbox, Zoombers, Afinidata y Sima Robot, entre otras. Éstas incluyen una serie de recursos educativos e interactivos que los profesores pueden aprovechar para la enseñanza de los niños. Destacan también las investigaciones de *machine learning* aplicado a la educación en temas como percepción docente (Salas Rueda et al., 2022), percepción estudiantil (Demir y Güraskin, 2022), rendimiento académico (Ahajjam et al., 2022), deserción escolar (Alvarado Uribe et al., 2022), pensamiento computacional (Almeida et al., 2021), entre otras, que muestran en sus resultados la implicación del uso de técnicas inteligentes en la solución de problemas complejos del sector educativo.

La incorporación de la Inteligencia Artificial en el ámbito escolar abre un abanico de posibilidades para directivos, docentes y estudiantes. Un ejemplo interesante es cómo la integración de la última versión de ChatGPT en plataformas como Microsoft

Office, Edge y Bing ha permitido optimizar diversas tareas educativas y administrativas.

En este contexto, las investigaciones más recientes buscan reducir brechas significativas, como la que existe entre la robótica educativa y la profesional. Una de las estrategias más prometedoras es la incorporación del machine learning en entornos escolares, con el objetivo de mejorar los resultados en el acceso, la trayectoria y el progreso académico de los estudiantes.

El desarrollo curricular de los programas de estudio deberá actualizarse de manera permanente e incorporar, de forma transversal, los conceptos de nuevas tecnologías inteligentes para dar respuesta a la demanda que impone la sociedad del conocimiento, permitiendo dinamizar los procesos de enseñanza-aprendizaje.

En la seguridad pública

Definida como “la aplicación de algoritmos a enormes cantidades de datos para asistir a la labor policial” (John, 2018), las aplicaciones de IA para la seguridad pública han recibido una atención importante en los Estados Unidos y otras democracias industrializadas. Entre los usos más destacados se encuentran los programas de reconocimiento facial, los sistemas de lectura de matrículas, la predicción de futuros delitos y hasta la prevención de fraudes en línea y pruebas forenses de ADN. Las controversias que han enfrentado este tipo de aplicaciones están relacionadas con la ética, la privacidad en el uso de los datos personales y la protección de libertades civiles.



Implementación de reconocimiento facial por parte del gobierno de la ciudad de São Paulo, Brasil

Línea 3

del metro

14mil

cámaras

18

estaciones

América Latina presenta un panorama prometedor para combatir la delincuencia mediante el uso de la Inteligencia Artificial, si se considera que la región concentra el 30 % de los homicidios a escala global, pese a representar apenas el 8 % de la población mundial. Otra variable es la disparidad en las tasas de delitos violentos entre países. Chile, por ejemplo, registra una tasa de 4.5 homicidios por cada 100 000 habitantes, mientras que en Ecuador esta cifra alcanza los 44 por cada 100 000, sin contar con las tasas ocultas al interior de cada nación (Manjarrés y Newton, 2024).

En distintos niveles, los gobiernos han comenzado a incorporar la IA como herramienta para garantizar la seguridad pública. En Colombia, por ejemplo, la Policía Nacional publicó una estrategia nacional que contempla la asignación de recursos a gobiernos locales para la adquisición de drones no tripulados y cámaras de vigilancia destinadas a prevenir y detectar delitos. Según la Asociación de Aseguradores de Chile, este país ha desarrollado un software de IA capaz de identificar y denunciar vehículos robados, convirtiendo los teléfonos móviles en lectores de matrículas que los departamentos de policía pueden utilizar para facilitar su detección.

En México, la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito, en coordinación con el Inegi, implementó un programa en el Estado de México que emplea redes neuronales profundas para identificar palabras y frases clave en llamadas realizadas al 911 con indicios de violencia o delitos contra la mujer (UNODC México, 2023).

En Brasil, el gobierno de la ciudad de São Paulo inauguró, en 2022, un sistema de reconocimiento facial para monitorear la línea 3 del metro, mediante 14 000 cámaras distribuidas en 18 estaciones (Mascellino, 2022). Por su parte, Uruguay utiliza desde 2016 una herramienta de análisis predictivo (*PredPol*), basada en datos históricos sobre la criminalidad, que permite generar mapas de predicción de posibles delitos y anticiparse o responder con mayor rapidez ante cualquier emergencia.

La cuarta revolución industrial alcanzó a la AP

El mundo ha ingresado de lleno en la tan anunciada transformación digital impulsada por la cuarta revolución industrial, una etapa marcada por el desarrollo acelerado de tecnologías como la Inteligencia Artificial. Esta área, que combina investigación avanzada con aplicaciones prácticas de alto impacto, promete transformar de manera profunda las políticas públicas y los servicios gubernamentales. Si bien los beneficios más visibles apuntan hacia una mayor eficiencia y eficacia en la gestión estatal, esta revolución también plantea retos complejos para las administraciones públicas de los países en desarrollo, donde persisten limitaciones significativas en materia de infraestructura, talento humano y recursos para implementar —y sostener— tales avances tecnológicos.

De acuerdo con la Carta Iberoamericana de Inteligencia Artificial (2023), en la Administración Pública, la IA es:

Un tipo especial y disruptivo de tecnología de la información y comunicación (TIC), basada en la utilización de datos y algoritmos, capaz de generar aprendizaje y comportamiento considerado autónomo y/o inteligente, así como desarrollar tareas habitualmente entendidas como humanas, centradas en la consecución de determinados objetivos, incluyendo diferentes ámbitos de aplicación, entre otros, la percepción, el razonamiento o la acción (p. 6).

Explicado de manera sintetizada, la IA se refiere a la capacidad de las máquinas para exhibir una inteligencia similar a la humana, por ejemplo, resolver un problema con independencia de algún software manufacturado (Chui, 2017). La IA ofrece un

enorme potencial transformador para el aumento y la sustitución potencial de tareas y actividades humanas dentro de una amplia gama de aplicaciones industriales, intelectuales, sociales y en el sector público (Helbing et al., 2019). Estamos en la fase inicial de la cuarta revolución industrial (Schwab, 2017), provocada por la analítica de datos (que ya habíamos referido al inicio de este capítulo), el internet de las cosas, la robótica y los programas basados en inteligencia artificial; de acuerdo con la Comisión Europea, “*a new industrial revolution, driven by new generations of digital technologies such as big data*”.

En consecuencia, las nuevas tecnologías digitales están cambiando rápidamente el panorama de la prestación de servicios públicos, pues los dispositivos móviles, combinados con aplicaciones, llevan los servicios públicos en línea a cualquier lugar donde se encuentre el ciudadano (Henman, 2020). El razonamiento de Shava y Hofisi (2017), sustentado en los avances tecnológicos, plantea el hecho de que la IA ya está generando un efecto importante en el valor del trabajo, y para los principales segmentos de la población el valor humano ahora se determina por el costo de la inteligencia artificial equivalente, por lo tanto, la administración pública tendrá que responder a esta realidad.

Debido a que el nivel de satisfacción de los ciudadanos ante las ofertas del gobierno digital deja mucho que desear, la IA puede ser una forma de cerrar la brecha, al tiempo que mejora la participación ciudadana y la prestación de servicios (Mehr et al., 2017). Las IA tales como el *machine learning*, los sistemas basados en reglas, el procesamiento del lenguaje natural y el reconocimiento de voz, cuando son adoptados en el sector público, tienen implicaciones potenciales para diversos aspectos del accionar gubernamental, incluyendo el funcionamiento interno de las agencias gubernamentales, la relación entre los gobiernos y ciudadanos, y el papel de los gobiernos como reguladores (Dwivedi et al., 2019). Según Dwivedi et al. (2019), los impactos de la IA en la gestión pública contemplan tres aspectos:



Los nuevos dispositivos sustentados en IA tienden, a largo plazo, a reemplazar parte del trabajo humano, que plantea una amenaza latente para el futuro de la administración pública

- **Primero**, sobre la fuerza laboral del sector público, al delegar la toma de decisiones a la IA; lo cual resultaría una clara amenaza clásica de la sustitución laboral.
- **Segundo**, direccionar el incremento de la dinámica en la toma de decisiones públicas respaldada por IA, debido a que sus aplicaciones tienden a introducir aspectos no transparentes, pues se reduce la capacidad de los no expertos para auditar los mecanismos que conducen a los resultados de las decisiones.
- **Tercero**, la disminución de cuestiones de opacidad en relación con el desempeño de la IA y su asequibilidad con la población; pues los algoritmos de IA tienden a sugerir que el nivel de transparencia, trazabilidad y explicabilidad son inversamente proporcionales a su complejidad.

Actualmente, se consolida la tendencia de que muchas tareas tradicionalmente desempeñadas por seres humanos pueden ser realizadas, de forma más eficiente y precisa, por sistemas basados en Inteligencia Artificial. Esta afirmación respaldada por estudios recientes sugiere que, en diversos ámbitos, las funciones ejercidas por burócratas humanos podrían ser complementadas —e incluso sustituidas— por algoritmos inteligentes (Bullock, 2019).

Es un hecho que los nuevos dispositivos tecnológicos sustentados en IA tienden, a largo plazo, a reemplazar parte del trabajo humano, lo cual plantea una amenaza latente para el futuro de

la administración pública. Frente a este escenario, los gobiernos se ven en la necesidad de impulsar iniciativas de formación y capacitación que permitan a sus trabajadores adaptarse al uso de estas tecnologías emergentes (Shava y Hofisi, 2017).

Inteligencia Artificial en el sector público de México

Diversos esfuerzos han mostrado el creciente interés por desarrollar la inteligencia artificial en México. Entre ellos podemos mencionar el informe *Hacia una estrategia de la IA en México: aprovechando la revolución de la ia*, a cargo de la Embajada Británica en México, en colaboración con la organización Oxford Insights, la compañía C-Minds y el apoyo del gobierno mexicano y diversos expertos en el tema (Martinho-Truswell et al., 2018; Mejía y Torres, 2020; García-Benítez y Ruvalcaba-Gómez, 2021). Ésta es una guía valiosa para aprovechar las oportunidades que ofrece la IA en México, con una urgente necesidad de crear una estrategia nacional integral para aprovechar el potencial que ofrece esta revolución.

En tres momentos clave se ha buscado impulsar una estrategia nacional de Inteligencia Artificial en México el arranque de una política de Estado ante la creciente digitalización del país, el desarrollo de un marco regulatorio y otro tipo de acciones más específicas que han impulsado los sectores público y privado en materia de inteligencia artificial. Un primer momento está relacionado con las reformas constitucionales que dieron forma a la Estrategia Digital Nacional en el mandato del presidente Enrique Peña Nieto; el segundo, es el informe *Hacia una estrategia de la IA en México: aprovechando la revolución de la ia*, considerado como el punto de partida para la creación de una estrategia nacional de IA; y el tercero se basa en las acciones desarrolladas en medio de la transición entre los gobiernos de EPN y AMLO.



La adopción de la IA en los gobiernos a nivel subnacional presenta oportunidades para mejorar la eficiencia de los servicios públicos, siempre y cuando se superen retos

Lo cierto es que durante la transición política entre ambos gobiernos no hubo liderazgos claros que promovieran la adopción de una estrategia nacional de IA, por el contrario, se presentaron diversos esfuerzos dispersos en los diferentes sectores. Incluso, la transición política diluyó también la mezcla de esfuerzos entre el gobierno de Peña Nieto con Oxford Insights, C-Minds y la Embajada Británica en México. En mayo de 2024, la Alianza Nacional de Inteligencia Artificial (ANIA) publicó la Propuesta de agenda nacional de la inteligencia para México 2024-2030, cuyo objetivo es establecer un marco de referencia que promueva la integración de la Inteligencia Artificial como un motor de la inclusión y el desarrollo social, económico y educativo del país, la investigación científica, el desarrollo tecnológico, la innovación y emprendimiento ético, responsable y equitativo.

Entre las distintas iniciativas destaca la integrada por la Agenda Nacional Mexicana de Inteligencia Artificial, realizada por la organización IA2030Mx, que busca impulsar la exploración, investigación, desarrollo y uso de la IA en el país (Del Pozo et al., 2020; García-Benítez y Ruvalcaba-Gómez, 2022). También cabe mencionar iniciativas como el Programa para el Desarrollo de la Industria del Software y la Innovación (Prosoft), que promueve el desarrollo y la adopción de las tecnologías de la información y comunicación en México; y no es menor la mención de los *Principios y guía de análisis de impacto para el desarrollo y uso de sistemas basados en inteligencia artificial en la administración pública federal*, que busca establecer principios éticos y guías

para el análisis de impacto de la IA en la administración pública (Ruvalcaba-Gómez y García-Benítez, 2023).

De la misma manera, la adopción de la IA en los gobiernos a nivel subnacional presenta oportunidades para mejorar la eficiencia y la eficacia de los servicios públicos, siempre y cuando se superen retos como la protección de datos personales y la privacidad de los ciudadanos, y el aumento de formación y capacitación de los servidores públicos en su uso y gestión. Por todo lo anterior, es evidente que la colaboración entre los diferentes actores es clave para maximizar los beneficios que representa el uso de la Inteligencia Artificial en el sector público de México. A manera de conclusión:

La IA, un debate entre apocalípticos e integrados

Umberto Eco (1965), hace 60 años, planteó un debate entre dos posturas sobre la cultura de masas y los medios de comunicación. Mientras los apocalípticos se señalaban como perjudiciales para la sociedad, porque promovían emociones simples y rápidas, los integrados referían a los medios como facilitadores del acceso a la cultura de grandes sectores de población. Hoy, el debate sobre el crecimiento en el uso de la Inteligencia Artificial presenta también una paradoja entre las posturas de los integrados, que ven a la IA como una puerta hacia el progreso, y la de los apocalípticos, que la presentan como máquinas dominando el mundo, una idea instalada en el imaginario colectivo por el cine de ciencia ficción.

Lo cierto es que aún existe desconfianza ante la irrupción de la IA en nuestra vida diaria, y esta parece crecer ante preguntas tales como: ¿tomarías el servicio de un taxi sin conductor? ¿Permitirías que tus hijos viajaran en un automóvil sin volante? La idea de que los ordenadores se hagan cargo de diversas activi-

dades de nuestras vidas ha puesto nerviosa a mucha gente. Tal vez pocos recuerden la resistencia inicial frente a mecanismos automáticos como las puertas o las escaleras eléctricas; incluso cuando se inventaron los ascensores eléctricos, fue necesario habilitar a una persona para operarlos y evitar accidentes, hasta que en 1900 se creó el ascensor sin ascensorista. Si en 2020 el 50 % de los trabajadores en activo eran *millennials*, para 2025 alcanzarán el 75 %, y serán ellos quienes experimenten el crecimiento de la computación inteligente en prácticamente todo lo que hacemos de forma cotidiana.

A diario nos levantamos por la mañana y leemos Twitter, Facebook, blogs, periódicos en línea, el correo electrónico, agregadores de noticias RSS, vía SMS o WhatsApp; recibimos diferentes tipos de publicidad y recomendaciones (habitualmente porque lo mencionamos y el micrófono activo del móvil lo escucha) y, de repente, tenemos la sensación de que hay un peso en las expectativas, una predestinación, un direccionamiento, sobre lo que debemos hacer a continuación en nuestro día. Desde luego, hay un sesgo sobre el tipo de información que consumimos y la forma en que deberíamos pensar. Independientemente de las teorías sobre la posverdad, construidas a partir de la multiplicación de bulos, deepfakes o verdades alternativas; o bien, de la cámara de eco en la que participamos —voluntaria o involuntariamente— compartiendo información que se hace viral, lo cierto es que una gran parte de internet se ha convertido en una enorme máquina de rastreo de datos personales.

Más allá de la ciencia ficción que nos ha acompañado desde Stanley Kubrick con *2001: Odisea del espacio*, hasta *Finch* (2021) —donde Tom Hanks interpreta a un sobreviviente del apocalipsis climático que construye un robot para cuidar a su perro—, la ciencia, con el apoyo de herramientas de Inteligencia Artificial, está construyendo sistemas que pueden percibir, aprender y razonar, y, sobre esta base, son capaces de hacer predicciones y recomendaciones.

Es un hecho que casi todos los campos de la actividad humana podrían beneficiarse de los sistemas de IA diseñados para complementar la inteligencia humana: desde la prevención de enfermedades que alguna vez fueron mortales, como la diabetes o el cáncer, hasta lograr que personas con alguna discapacidad participen plenamente en las actividades sociales, o alcanzar formas más sostenibles de aprovechar los recursos del planeta. Sólo así, la Inteligencia Artificial promete un futuro mejor para la humanidad.

Referencias

- Ahajjam, T., Moutaib, M., Aissa, H., Azrou, M., Farhaoui, Y. y Fattah, M. (2022). **Predicting students' final performance using artificial neural networks.** *Big Data Mining and Analytics*, 5(4).
- Ahmed, U., Issa, G. F., Khan, M. A., Aftab, S., Khan, M. F. y Said, R. A. T. (2022). **Prediction of diabetes empowered with fused machine learning.** *IEEE Access*, 10.
- Ahmad, T., Mandoski, R., Zhang, D., Huang, C. y Mujeeb, A. (2022). **Data-driven probabilistic machine learning in sustainable smart energy/smart energy systems: Key developments, challenges, and future research opportunities in the context of smart grid paradigm.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 160.
- Almeida, C. A., Dos Santos, J. M. y de Almeida, M. V. (2021). **Computational thinking in elementary school in the age of artificial intelligence: Where is the teacher?** *Revista de Ensino de Ciências e Matemáticas*, 23(6).
- Alvarado Uribe, J., Mejía, P., Masetto, A. L., Molontay, R., Hilliger, I., Hegde, V., Montemayor, J. E., Ramírez, R. A. y Ceballos, H. G. (2022). **Student dataset from Tecnológico de Monterrey in Mexico to predict dropout in higher education.** *Data*, 7(9).
- Arboleda, J. S. (2023). **Hurto a personas en la ciudad de Medellín: Análisis predictivo de la cantidad de casos en diferentes zonas de la ciudad, a partir de modelos de machine learning, implementando técnicas de MLOPS** [Proyecto de grado, Universidad EAFIT].
- Ander-Egg, E. (1994). **Interdisciplinariedad en educación.** Ediciones Magisterio del Río de la Plata.
- Antonopoulos, I., Robu, V., Couraud, B. y Wattam, S. (2020). **Artificial intelligence and machine learning approaches to**

energy demand-side response: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 130.

Balogun, A., Marks, D., Sharma, R. y Salehi, P. (2020). **Assessing the potentials of digitalization as a tool for climate change adaptation and sustainable development in urban centres.** *Sustainable Cities and Society*, 53.

Bolon-Canedo, V., Morán Fernández, L., Cancela, B. y Alonso-Betanzos, A. (2024). **A review of green artificial intelligence: Towards a more sustainable future.** *Neurocomputing*, 599.

Bullock, J. B. (2019). **Artificial intelligence, discretion, and bureaucracy.** *The American Review of Public Administration*, 49(7), 751–761.

Brassard, G. y Bratley, P. (1997). **Fundamentos de algoritmia.** *Prentice Hall*.

Benites, R. y Coral, M. A. (2022). **Una revisión de las implementaciones de sistemas para la identificación de la diabetes.** *Interfaces*, (16).

Camastra, F. D. y Gonzalez Vallejo, R. (2025). **Inteligencia artificial, sostenibilidad e impacto ambiental: Un estudio narrativo y bibliométrico.** *Región Científica*, 4(1).

Chui, M. (2017). **Artificial intelligence: The next digital frontier?** *McKinsey Global Institute*.

Demir, K. y Güraskin, G. E. (2022). **Determining middle school students' perceptions of the concept of artificial intelligence: A metaphor analysis.** *Participatory Educational Research*, 9(2).

Del Pozo, C., Gómez, C. y Martínez, C. (2020). **Agenda nacional mexicana de inteligencia artificial.**

Dwivedi, Y. K., Hughes, L., Ismagilova, E., Aarts, G., Coombs, C., Crick, T., ... y Galanos, V. (2019). **Artificial intelligence (AI): Multidisciplinary perspectives on emerging challenges,**

- opportunities, and agenda for research, practice and policy.** *International Journal of Information Management*, 101994.
- Eco, U. (1965). **Apocalípticos e integrados.** Lumen.
- García-Benítez, V. H. y Ruvalcaba-Gómez, E. A. (2021). **Análisis de las estrategias nacionales de inteligencia artificial en América Latina: Estudio de los enfoques de ética y de derechos humanos.** *Revista de Gestión Pública*, 10(1).
- García-Benítez, V. H. y Ruvalcaba-Gómez, E. A. (2022). **Análisis de las estrategias nacionales de inteligencia artificial en América Latina: Estudio de los enfoques de ética y de derechos humanos.** *Revista de Gestión Pública*, 10(1).
- Helbing, D., Frey, B. S., Gigerenzer, G., Hafen, E., Hagner, M., Hofstetter, Y., ... y Zwitter, A. (2019). **Will democracy survive big data and artificial intelligence?** *En Towards digital enlightenment* (pp. 73–98). Springer.
- Henman, P. (2020). **Improving public services using artificial intelligence: Possibilities, pitfalls, governance.** *Asia Pacific Journal of Public Administration*, 42(1), 1–13.
- Jaiwal, N., Negi, A. y Pal, T. (2021). **A review on current advances in machine learning based diabetes prediction.** *Primary Care Diabetes*, 15(3), 435–443.
- John, E. (2018). **Artificial intelligence and policing: First questions.** *Seattle University Law Review*, 41.
- Levitán, I. y Kaczmarek, L. K. (2001). **The neuron: Cell and molecular biology** (3ª ed.). Oxford University Press.
- Li, K., Daniels, J., Liu, C., Herrero, P. y Georgiou, P. (2020). **Convolutional recurrent neural networks for glucose prediction.** *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 24(2).
- Martinho-Truswell, E., Miller, H., Nti, I., Petherman, A., Stirling, R., Gómez, C. y Martínez, C. (2018). **Hacia una estrategia de IA en**

México: Aprovechando la revolución de la IA.

- Manjarrés, J. y Newton, C. H. (2024). **InSight Crime's 2023 homicide round-up.** *Insight Crime*.
- Mascellino, A. (2022). **Brazil deploys ISS facial recognition to secure São Paulo metro.** *BiometricUpdate.com*.
- Mehr, H., Ash, H. y Fellow, D. (2017). **Artificial intelligence for citizen services and government.** *Ash Center for Democratic Governance and Innovation, Harvard Kennedy School*.
- Mejía, M. I. y Torres Páez, J. (2020). **Uso responsable de la inteligencia artificial en el sector público.** *CAF*.
- Morin, E. (1998). **Sobre la interdisciplinaridad.** *Boletín 2 del Centre International de Recherches et Études Transdisciplinaires (CIRET)*.
- Morin, E. (2001). **La cabeza bien puesta.** *Ediciones Nueva Visión*.
- Mosquera, A. (2023). **Experimentos con redes neuronales recurrentes LSTM para la predicción del nivel de glucosa de pacientes con diabetes.** *Revista Ontare, 11(1)*.
- Nuankaew, P., Chaising, S. y Temdee, P. (2021). **Average weighted objective distance-based method for type 2 diabetes prediction.** *IEEE Access, 9*.
- Roche. (2003). **Gran Diccionario Médico Alemán-Español Roche (5ª ed.)**
- Rodríguez, P. (2022). **Inteligencia artificial: Cómo cambiará el mundo (y tu vida).** *Ediciones Culturales Paidós*.
- Ruvalcaba-Gómez, E. A. y García-Benítez, V. H. (2023). **Analysis of artificial intelligence strategies: Comparative study in national governments.** *En D. Valle-Cruz, N. Plata-Cesar y J. González Ruiz (Eds.), Handbook of Research on Applied Artificial Intelligence and Robotics for Government Processes. IGI Global*.
- Salas Rueda, R. A., De la Cruz, G., Eslava Cervantes, A. L., Castañeda, R. y Ramírez, J. (2022). **Teachers' opinion about collaborative**

- virtual walls and massive open online course during the COVID-19 pandemic.** *Online Journal of Communication and Media Technologies*, 12(1).
- Schwab, K. (2017). **The fourth industrial revolution.** Penguin.
- Shava, E. y Hofisi, C. (2017). **Challenges and opportunities for public administration in the fourth industrial revolution.** *American Journal of Public Affairs*, 9(9), 203–215. <https://bit.ly/3ISuyCn>
- Young, B., Woodford, P. P. y O'Dowd, G. (2014). **Wheater: Histología funcional. Textos y atlas en color** (6ª ed.). Elsevier.
- Zare, A., Ablakimova, N., Kaliyev, A. y Tamadon, A. (2024). **An update for various applications of artificial intelligence (AI) for detection and identification of marine environment pollutions: A bibliometric analysis and systematic review.** *Marine Pollution Bulletin*, 206.