

2. DOSSIER: INTELIGENCIA ARTIFICIAL



2.1. DESARROLLO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL: DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN IBEROAMÉRICA.

RODOLFO BARRERE, LAUTARO MATAS, JUAN SOKIL Y LAURA TRAMA *

PRINCIPALES AFIRMACIONES

- El campo de la inteligencia artificial (IA) ha experimentado un crecimiento notable en la producción científica en la última década, especialmente a partir de 2018. El número de artículos publicados a nivel mundial se ha multiplicado significativamente, alcanzando un total de 230.306 documentos en 2022, lo que representa un aumento de casi seis veces en comparación con una década atrás.
- China se ha destacado como líder en producción científica en IA, con un total de 306.439 documentos en diez años, lo que representa el 30% de las publicaciones mundiales sobre el tema. Este crecimiento se ha caracterizado por su aceleración, especialmente a partir de 2018, cuando China publicó un total anual de 80.811 artículos, nueve veces más que en 2013. Estados Unidos también ha experimentado un crecimiento significativo, multiplicando su producción por más de cinco veces en el mismo período.
- En Iberoamérica, si bien el ritmo de publicación se aceleró a partir de 2018, el crecimiento de la producción científica en IA en la región fue del 209% en los últimos diez años, lo cual está por debajo del crecimiento a nivel mundial (+485%). Además, la participación de Iberoamérica en la producción científica mundial en IA ha disminuido, pasando del 9% en 2013 al 5% en 2022.
- España lidera la producción en la región, seguida por Brasil, Portugal, México y Colombia. Ecuador es un caso destacado, experimentando un crecimiento significativo en su producción y especialización en IA, superando a Argentina en el número de publicaciones.
- La colaboración internacional es fundamental en un entorno de producción científica relativamente baja en la región. Si bien la colaboración internacional ha aumentado, el porcentaje de colaboración entre países iberoamericanos ha permanecido relativamente bajo. España y Chile son los países con mayor colaboración internacional en IA, mientras que Cuba y Ecuador se destacan por su colaboración regional.
- La producción científica en IA abarca una amplia gama de disciplinas, desde ciencias de la computación e ingeniería hasta ciencias de la salud y ciencias sociales. La IA se ha convertido en una herramienta poderosa para acelerar la producción de conocimiento en diversas áreas de la ciencia y la tecnología.
- Los resultados de este informe dan cuenta de la necesidad de fomentar la colaboración regional en la investigación en IA y promover un mayor nivel de especialización en la región. A medida que la IA continúa transformando la sociedad y la industria, es esencial que Iberoamérica participe activamente en este campo de rápido crecimiento y desarrollo.

INTRODUCCIÓN

La inteligencia artificial (IA) ha irrumpido en nuestra vida cotidiana, transformando la forma en que vivimos, trabajamos y nos relacionamos. La IA incluye una variedad de tecnologías y técnicas diseñadas para permitir a las máquinas aprender y actuar de manera similar a la inteligencia humana. Estas tecnologías se utilizan para crear sistemas que pueden automatizar tareas, resolver problemas complejos, tomar decisiones. Se trata de un campo de larga data -la expresión "inteligencia artificial" puede ser rastreada hasta los años 50-, pero que, gracias a algunas ideas innovadoras, combinadas con la mayor capacidad de cómputo disponible y los grandes volúmenes de información accesibles, se ha desarrollado de manera muy acelerada en el último lustro.

No se trata tampoco de un campo perfectamente delimitado y la inclusión o no de ciertas tecnologías puede dar lugar a extensas discusiones. Dentro de la IA, entre muchas otras tecnologías, podemos encontrar:

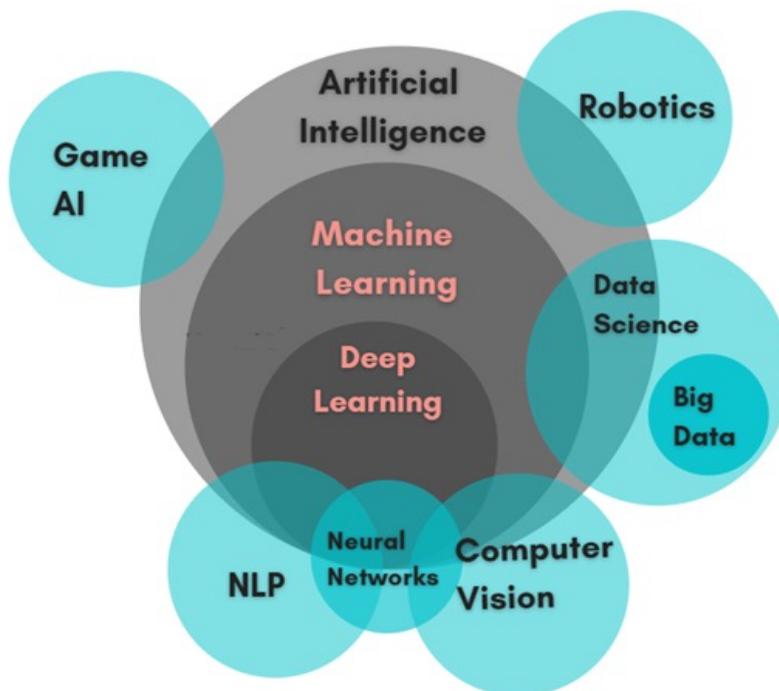
- **Aprendizaje automático (*machine learning*):** es una rama fundamental de la IA que permite a las máquinas aprender patrones y hacer predicciones a partir de datos. Los algoritmos de aprendizaje automático se entrenan utilizando conjuntos de datos y se perfeccionan a medida que obtienen más datos.
- **Redes neuronales artificiales:** están inspiradas en la estructura y función del cerebro humano. Consisten en nodos interconectados que imitan a las neuronas y

se utilizan en tareas como reconocimiento de patrones o el procesamiento de lenguaje natural. En particular, son el sustrato de los modelos de lenguaje de gran escala (*large language models* o LLM) que motorizan aplicaciones como ChatGPT.

- **Aprendizaje profundo (*deep learning*):** es un enfoque de aprendizaje automático que utiliza redes neuronales con múltiples capas para aprender representaciones de datos de forma jerárquica. Es muy efectivo para tareas complejas como reconocimiento de imágenes y voz.
- **Procesamiento de lenguaje natural:** se enfoca en la interacción entre las computadoras y el lenguaje humano. Incluye tareas como traducción automática, análisis de sentimientos, resumen de texto y *chatbots*.
- **Visión por computadora:** se refiere a la capacidad de las máquinas para interpretar y comprender visualmente el mundo, como reconocer objetos en imágenes, detección de caras y seguimiento de objetos en vídeos.

Estas tecnologías, junto con otras, se entrelazan y superponen de manera compleja según sus distintos campos de aplicación (**Figura 1**). Las técnicas de *deep learning* (DL) son un subconjunto de las de *machine learning* (ML), en las que se aplican redes neuronales para el aprendizaje automático. En la intersección del DL, de las redes neuronales y del procesamiento de lenguaje natural (NLP) surgen los modelos de lenguaje que han revolucionado la IA en los últimos años.

Figura 1. Esquema de intersección de las tecnologías que componen la IA



Estas tecnologías pueden ser aplicadas, transversalmente, a un gran número de campos, como la robótica, sistemas expertos, procesamiento de señales o sistemas de recomendación. La combinación de estas tecnologías y el creciente desarrollo de sus campos de aplicación podrán converger en el futuro al desarrollo de la inteligencia artificial general (IAG), con la capacidad de comprender, aprender y aplicar conocimientos en múltiples dominios, similar a la inteligencia humana.

Ese desarrollo fue posible, además, por un fuerte interés de empresas, gobiernos y organizaciones, que impulsaron un incremento significativo de la inversión en I+D. Grandes empresas de tecnología como Google, Facebook, Amazon, Microsoft y Apple han invertido significativamente en IA, estableciendo laboratorios especializados y adquiriendo *startups* de IA. También ha habido una extensa colaboración entre la academia y la industria, lo que ha acelerado la transferencia de conocimientos y tecnologías.

Pero la explosión de la IA en la agenda pública de los últimos meses ha estado dada por un campo en particular: el desarrollo significativo de modelos de lenguaje de gran escala (LLM), que superan los 1000 millones de parámetros (variables cuyo valor se ha ajustado durante el proceso de entrenamiento) y son capaces de interactuar con humanos y desarrollar diversas tareas -incluso algunas que pueden ser vistas como creativas- de forma muy rápida. Muchos de estos modelos son, además, accesibles sin costo para los usuarios.

ChatGPT irrumpió en la escena pública y puso a la IA en el centro de la atención mundial. Hoy todo parece estar condicionado por la IA; todos los sectores de la sociedad parecen aplicarlo -aunque no se defina del todo bien de qué hablamos cuando decimos IA- y existen voces que plantean a la IA como una amenaza para la sociedad en el corto plazo,

Redes neuronales

El cerebro humano es extremadamente complejo y está compuesto por miles de millones de neuronas interconectadas. Las redes neuronales artificiales inicialmente se inspiraron en cómo las neuronas biológicas procesan información, se adaptan y generan patrones de aprendizaje. La evolución de estos modelos y la aplicación de métodos de entrenamiento permiten que las máquinas aprendan a partir de la información que se les proporciona, usando la retroalimentación de sus errores como mecanismo de ajuste del modelo aprendido.

Estas redes se componen de unidades (neuronas) que implementan funciones matemáticas y parámetros de ajuste que permiten su entrenamiento. Las neuronas se estructuran en capas interconectadas por donde los datos se propagan secuencialmente, permitiendo computar resultados basados en los casos de entrada. Estas redes

se entrenan utilizando grandes cantidades de datos, que permiten el ajuste progresivo de los parámetros de acuerdo a la retroalimentación de los errores identificados. Al igual que en el cerebro humano, donde las conexiones entre las neuronas se fortalecen o debilitan en función de la actividad y la experiencia, en las redes neuronales artificiales las conexiones se ajustan durante el entrenamiento en función de los datos que se les suministran.

Los modelos de lenguaje de gran escala, los LLM, son la aplicación más novedosa e impactante a nivel social de las redes neuronales, ya que han desarrollado la capacidad de las máquinas para interactuar conversacionalmente con humanos de manera inédita. En muchos casos, resulta imposible para los usuarios no especializados detectar si están interactuando con otra persona o con una IA.

El impulso a esta tecnología se ha apoyado en el desarrollo de arquitecturas de redes neuronales especializadas para el procesamiento del lenguaje natural, como los *transformers*,¹ que han revolucionado la forma en que los modelos de lenguaje procesan y generalizan los patrones de texto. Los *transformers* han permitido capturar relaciones de largo alcance en el texto y aprender dependencias a largo plazo, mejorando así la comprensión y la generación de lenguaje.

Este desarrollo en el ámbito del software se combinó con el incremento en la capacidad de cómputo gracias al uso de unidades de procesamiento gráfico (GPU según sus siglas en inglés), originalmente diseñadas para el procesamiento de gráficos, pero que por su poder de cómputo en paralelo resultan ideales para el entrenamiento de grandes redes neuronales. Al mismo tiempo, la cantidad de información textual acumulada en Internet a lo largo de los años se ha convertido en el conjunto de datos de entrenamiento perfecto para estos modelos.

La combinación de estos tres factores -*software*, *hardware* y datos- dio como resultado un crecimiento radical en el tamaño y complejidad de los LLM. Por poner un ejemplo, BERT (una de las primeras aplicaciones de estas tecnologías, desarrollada en 2018) contaba con 340 millones de parámetros, mientras que el novedoso GPT4 se estima que cuenta con 1.000.000 de millones.

Sin embargo, poner en marcha uno de estos sistemas no resulta ni rápido ni sencillo, y solo está al alcance de grandes compañías con capacidad de afrontar los grandes costos computacionales necesarios. Según diversas fuentes disponibles, el costo de poner en funcionamiento un LLM de estas características -contando con el volumen de datos necesario para darle un entrenamiento específico- puede ascender al medio millón de dólares. Se trata de una tecnología relevante, pero cuyo costo puede resultar en una barrera importante para empresas e instituciones de la región y es susceptible de generar nuevas brechas relacionadas con la disponibilidad de recursos.

1. Vaswani, A., Shazeer, N.M., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L.Gomez, A.N.Kaiser, L.; Polosukhin, I. (2017). Attention is All You Need. Neural Information Processing Systems.

Ganadores y perdedores en la era de la IA

La adopción de la IA crea una dinámica de ganadores y perdedores, como ha ocurrido con la irrupción de muchas tecnologías nuevas a lo largo de la historia. Al igual que con la llegada de otras innovaciones, la IA afecta de manera diferenciada a las personas, empresas y sectores. Algunos prosperan al adaptarse y aprovechar sus capacidades, mientras que otros enfrentan desafíos al no integrar completamente la IA en sus operaciones. Es un nuevo caso de la “destrucción creadora” popularizada por Schumpeter desde los años 40.

Los “ganadores” son aquellos que pueden adaptarse y aprovechar la IA para mejorar la eficiencia, innovar y aumentar su competitividad en el mercado. Los “perdedores” son los que no logran adaptarse, enfrentando pérdida de empleos o incluso la obsolescencia de habilidades laborales.

La IA tiene el potencial de transformar industrias enteras al automatizar tareas y trabajos actualmente realizados por humanos. No es algo sin precedentes en el desarrollo tecnológico. Esta automatización incrementará desigualdades si las ganancias se concentran en pocos países, empresas e individuos. Es fundamental abordar este desafío para garantizar que los beneficios de la IA se distribuyan de manera equitativa y contribuyan a una sociedad más justa, en vez de generar nuevos excluidos en un nuevo mercado de trabajo.

30

La IA es una realidad que está transformando nuestra sociedad y economía de manera profunda y rápida. El conocimiento y la preparación para la era de la IA son esenciales para aprovechar sus beneficios y mitigar sus riesgos. Es crucial comprender cómo funciona la IA y cómo puede integrarse efectivamente en diferentes sectores y aplicaciones. En esto las políticas públicas tienen un rol central, para fomentar la innovación y la competitividad a través de la educación y la adquisición de las habilidades necesarias por parte de las personas. La divulgación y popularización del conocimiento sobre estas tecnologías es vital para facilitar la toma de decisiones informadas y para una adopción ética y responsable de la IA.

El involucramiento de organizaciones sociales, junto con el personal de investigación es crucial, sobre todo en países en desarrollo como la mayoría de los iberoamericanos. La evolución de la IA está ocurriendo a una velocidad muy acelerada y se trata de un proceso complejo y dinámico. Resulta muy difícil predecir su futuro dada la rápida evolución y la falta de precedentes en ciertos aspectos. Además, la IA es un campo multidisciplinario en su desarrollo y transversal en sus aplicaciones, lo que complica aún más las predicciones precisas sobre su desarrollo y su impacto en la sociedad.

Es necesario, por tanto, contar con una línea de base para conocer las fortalezas y debilidades de los sistemas de ciencia y tecnología iberoamericanos en relación con la I+D en este campo y la aplicación de sus desarrollos. Solo con una implicación fuerte de las capacidades científicas

de la región, será posible tener un rol activo en el desarrollo de la IA y aplicar de forma innovadora sus posibilidades en los países iberoamericanos.

1. LAS HUELLAS DE LA I+D

Aunque el conocimiento es de carácter intangible, el proceso mediante el cual se produce deja huellas que pueden ser medidas y analizadas para obtener un panorama detallado. La capacidad de dar cuenta del estado del arte y de las tendencias en la investigación científica y el desarrollo tecnológico se enriquece cuando combina información cuantitativa y cualitativa. Con la asistencia de expertos en el tema estudiado es posible conformar un mapa de tendencias y relaciones, configurando un insumo de utilidad para la toma de decisiones y la prospectiva.

Las publicaciones científicas son huellas privilegiadas de la producción de conocimiento. Las revistas científicas, junto con las pautas y reglas que regulan su funcionamiento, son el canal por el cual los investigadores hacen público de manera “oficial” el resultado de su trabajo. El conjunto de las publicaciones científicas encarnan, entonces, el acervo de conocimiento disponible y, a la vez, demarcan el campo y dan escenario a los debates científicos. La fuente de información más difundida para los estudios de producción científica y para los indicadores bibliométricos consiste en la extracción de información estadística de bases bibliográficas. Estas fuentes de información cuentan con datos acumulados, durante muchos años, de los documentos publicados en revistas científicas seleccionadas. Contienen referencias bibliográficas que incluyen el título del artículo, sus autores, la pertenencia institucional de los mismos, la revista de publicación y el resumen del documento, entre otros datos.

La selección de las revistas que son indexadas en esas bases de datos se realiza con fuertes criterios de calidad editorial (reconocimiento del comité editor, calidad académica de los encargados del referato, etc.), opiniones de expertos y análisis de las citas recibidas por las revistas como una muestra de su visibilidad. Esa selección también debe garantizar una correcta cobertura de los temas que la base de datos pretende cubrir. En el caso de las bases internacionales, se busca cubrir la corriente principal (*mainstream*) de la ciencia internacional.

Para este estudio se ha utilizado la base de datos SCOPUS, que cuenta con una colección que supera las 25.000 revistas científicas de primer nivel, recopiladas con criterios de calidad y cobertura, que dan cuenta de la investigación en la corriente principal de la ciencia internacional.

El recorte del conjunto de artículos científicos utilizados en este informe se basó en una serie de palabras clave, resultantes de revisiones bibliográficas y discusiones con expertos. Ese conjunto de palabras clave fue aplicado a los campos de título, resumen y palabras clave de los artículos, y refinada en un proceso iterativo basado en la revisión de muestras de los documentos recopilados.

Los términos utilizados para la búsqueda fueron:

- *Neural network*
- *Artificial intelligence*
- *Supervised learning*
- *Unsupervised learning*
- *Reinforcement learning*
- *Deep learning*
- *Ensemble learning*
- *Large language model*
- *Natural language processing*
- *Word embeddings*

A continuación se presenta, de forma comparada, la evolución de la producción científica en IA en el mundo, haciendo foco en el desarrollo del área en los países iberoamericanos.

Gráfico 1. Evolución de la cantidad de publicaciones científicas sobre inteligencia artificial en SCOPUS. Años 2013-2022

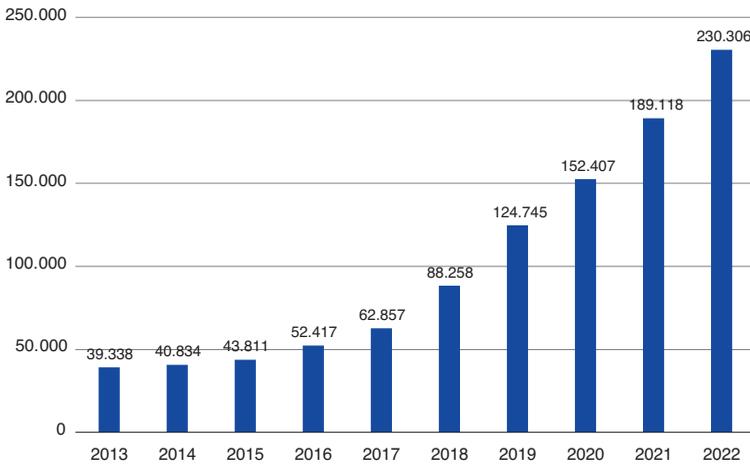
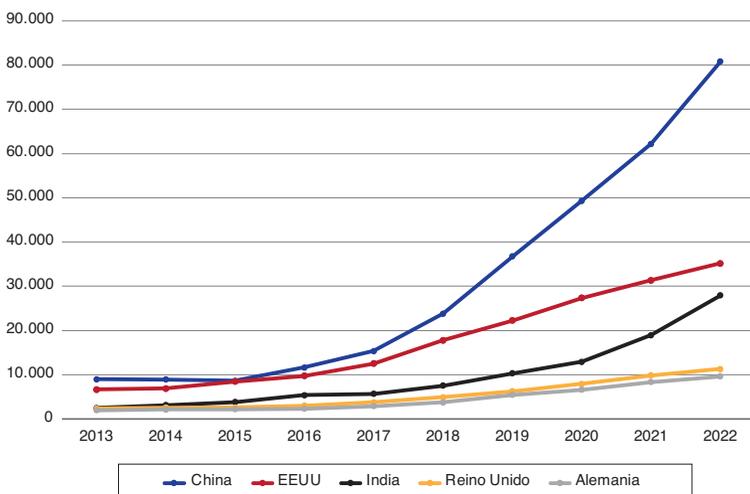


Gráfico 2. Evolución de la cantidad de publicaciones científicas sobre inteligencia artificial en SCOPUS en primeros 5 países. Años 2013-2022



2. IA EN LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO IBEROAMERICANO

Como se mencionó anteriormente, la IA es un campo científico de larga data, pero cuya producción tuvo un crecimiento lento en las últimas décadas hasta una revitalización importante a partir de 2018.

Si tomamos en cuenta la evolución de la producción científica registrada en SCOPUS sobre IA a nivel mundial, se observa un crecimiento muy acelerado, sobre todo a partir de 2018 (**Gráfico 1**). Como consecuencia, en 2022 el total de artículos publicados a nivel mundial alcanzó un total de 230.306 documentos, una cifra casi seis veces mayor a la cantidad publicada diez años antes.

Durante el mismo período, el país con mayor producción acumulada fue China, con un total de 306.439 documentos en esos diez años. En segundo lugar -ya con un volumen mucho menor- aparece Estados Unidos con 178.270 publicaciones. Los principales cinco países en términos de su producción se completan con India (98.141), Reino Unido (54.588) y Alemania (45.262).

Estamos ante un fuerte fenómeno de concentración en el que los autores chinos participan del 30% de las publicaciones mundiales sobre el tema. Son los autores de ese país los que además destacan por lo acelerado del crecimiento de su producción desde 2018. En 2022 alcanzan un total anual de 80.811 artículos, nueve veces más que en 2013 (**Gráfico 2**).

Estados Unidos también registró un crecimiento más acelerado desde 2018, aunque con un ritmo de crecimiento menor. Entre 2013 y 2022 multiplicó por más de cinco veces su volumen y estuvo en línea con el crecimiento del total de la producción mundial en este tema. La India también se destaca por un crecimiento marcado, aunque tardío con respecto a China. Si bien su volumen total en el periodo es menor al de los otros países mencionados, su crecimiento es incluso mayor, alcanzando en 2022 una cantidad de publicaciones once veces mayor que en 2013. El Reino Unido y Alemania muestran crecimientos más moderados, multiplicando por cinco su producción entre 2013 y 2022, y más en línea con la evolución de la trayectoria de Estados Unidos.

Por su parte, el conjunto de países de Iberoamérica pasó de 3460 artículos en 2013 a un total de 10.707 publicaciones en

2022 (**Gráfico 3**). Si bien la región sigue la tendencia mundial con un ritmo de publicación que se acelera a partir de 2018, su crecimiento fue del 209% en los últimos diez años, lo cual representa una expansión menor al de la producción científica mundial (+485%) y al de los países antes detallados.

Además, los artículos iberoamericanos en IA pasaron de representar el 9% del total de publicaciones en este campo a nivel mundial (un valor similar al peso de la producción científica regional en la base de datos) a representar el 5% en 2022. Es decir, se observa un bajo nivel de especialización en la temática y una caída del nivel de participación de Iberoamérica en la producción científica sobre IA a nivel mundial en los últimos diez años. La investigación regional sobre este tema no ha crecido al mismo ritmo que en los países más desarrollados.

Si analizamos dentro de Iberoamérica cuáles fueron los países con mayor producción, vemos que lideran el ranking España, Brasil, Portugal, México y Colombia. España pasó de 1535 artículos en 2013 a 4.213 en 2022, Brasil de 809 en 2013 a 2644 en 2022 y Portugal de 471 publicaciones en 2013 a 1571 en 2022 (**Gráfico 4**). Ese orden es consistente con el ranking general de los países iberoamericanos según su producción en SCOPUS, con la excepción de Colombia, que sube un puesto en IA, adelantando a Chile.

Llama la atención el crecimiento experimentado por Ecuador, que, con una muy baja cantidad de publicaciones en 2013, llegó a posicionarse en el sexto lugar de la producción científica regional en 2022 con 310 publicaciones, superando el total de Argentina en la temática durante el mismo año. Es un fenómeno que acompaña el llamativo crecimiento de las publicaciones sobre ciencias de la computación en Ecuador, que en la actualidad alcanzan al 30% de la producción científica de ese país en SCOPUS. En ese sentido, Ecuador encabeza a los países iberoamericanos en cuanto al nivel de especialización en IA en su producción científica. El 4% de sus artículos en SCOPUS está relacionado con este campo, mientras que en la mayoría de los países ese valor alcanza al 2%. Son los casos de España, Brasil, México, Colombia y Perú.

En el caso de Portugal, los artículos relacionados con IA alcanzan al 3% del total. Por el contrario, en Argentina y Chile la especialización en este tema es menor y sólo el 1% de los documentos abordan este tema de investigación.

Gráfico 3. Evolución de la cantidad de publicaciones científicas sobre inteligencia artificial en Iberoamérica. Años 2013-2022

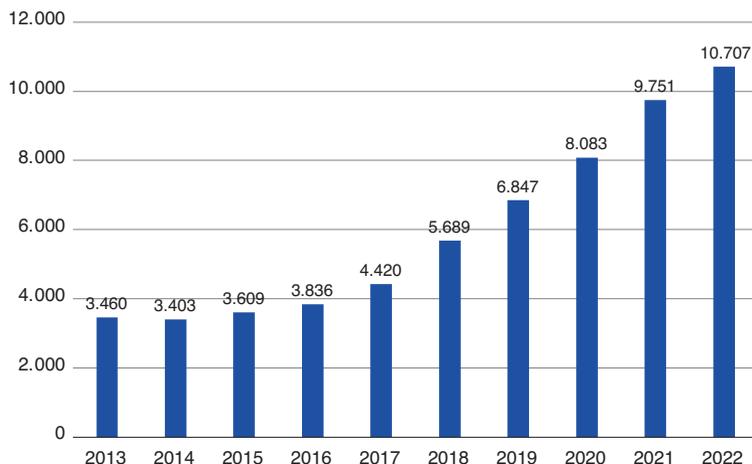
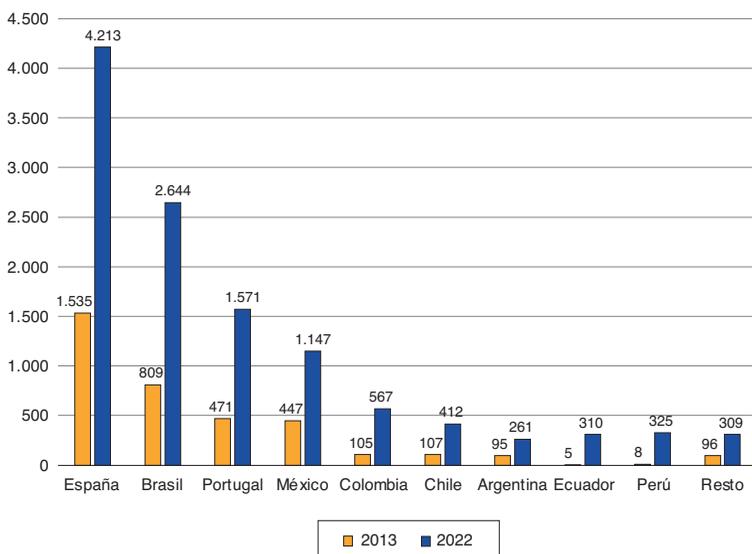


Gráfico 4. Cantidad de publicaciones científicas sobre inteligencia artificial en países iberoamericanos seleccionados. Años 2013-2022

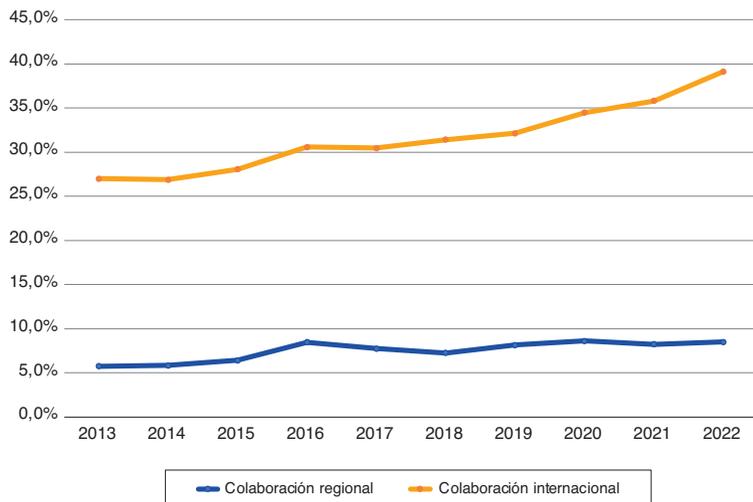


2.1. Colaboración internacional

En una región con una producción científica relativamente baja en el contexto mundial -reflejo de sus niveles de inversión y de recursos humanos de investigación-, la colaboración internacional es una herramienta necesaria para participar de los desarrollos en la frontera de la ciencia internacional y alcanzar una masa crítica de recursos a nivel iberoamericano. Sin embargo, la producción iberoamericana en IA se lleva adelante con un creciente nivel de colaboración internacional, pero con un porcentaje de colaboración entre países iberoamericanos que permanece estancado en un valor relativamente bajo.

En 2013, el 27% de los artículos relacionados con IA firmados por autores iberoamericanos contaba también con la firma de un coautor de fuera de la región. En 2022, ese indicador había trepado hasta el 39%; un valor algo mayor que el de los niveles de colaboración internacional de la producción total de la región en SCOPUS.

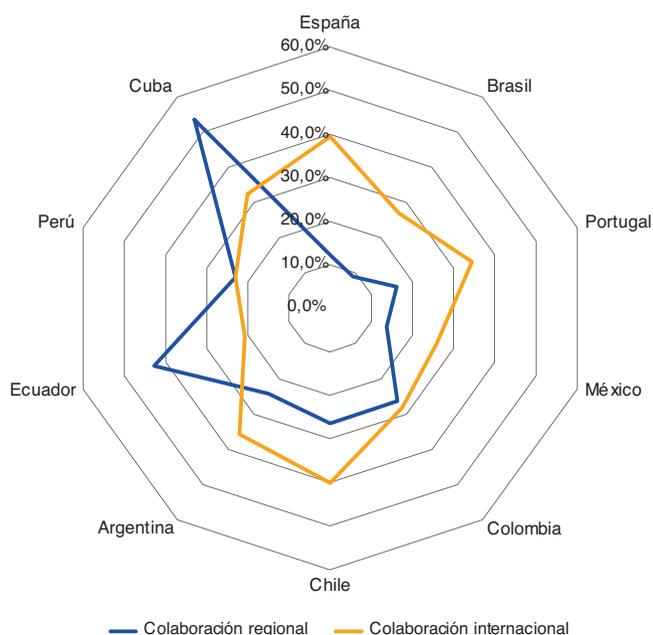
Gráfico 5. Evolución de la cooperación iberoamericana en producción científica en IA. Años 2013-2022



La cooperación exclusiva entre autores iberoamericanos tuvo una trayectoria diferente. En 2013, solo el 6% de los artículos de autores de la región incluía a autores de otro país iberoamericano. En 2016 ascendió a 8,5% y se mantuvo en ese valor, de forma bastante estable, hasta 2022. El crecimiento acelerado de la investigación mundial sobre IA no afectó la cohesión de los países de la región en la investigación sobre el tema (**Gráfico 5**).

Estas tendencias regionales están compuestas por patrones particulares en los distintos países de la región. En el **Gráfico 6** se observa de qué manera se da la cooperación por país a nivel internacional y regional en los países que tuvieron una mayor producción científica

Gráfico 5. Cooperación internacional y regional en producción científica en IA por país. Período acumulado 2013-2022



en la temática. España y Chile son los países con mayor cooperación internacional en IA, en torno al 40% de sus artículos en SCOPUS. Si bien para España la cooperación regional es de las más bajas de la región, en el caso de Chile asciende al 25% y es un valor alto en el promedio regional.

Por otra parte, Cuba y Ecuador se destacan por los altos niveles de cooperación regional, el primero firmando el 53% de sus artículos con autores de otros países iberoamericanos, y el segundo en un 42%. Es de destacar el bajo nivel de cooperación internacional de Ecuador -cuyo crecimiento en este tema ha sido sorprendente-, que alcanza a tan solo el 20% de sus documentos acumulados entre 2013 y 2022.

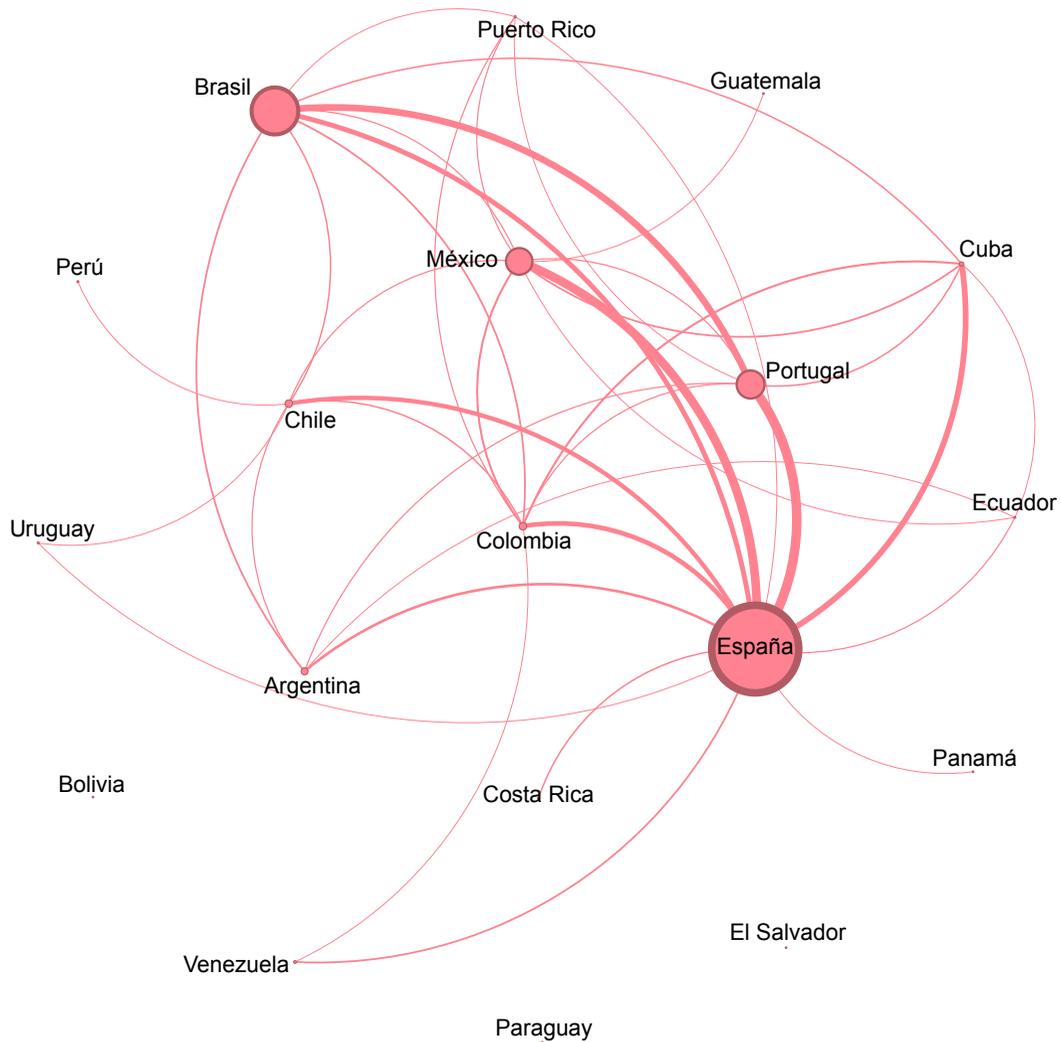
Sin embargo, los porcentajes de colaboración regional iberoamericana no permiten dar cuenta por sí solos de las redes de cooperación científica que se dan en la región. A lo largo de los años cubiertos en el periodo bajo análisis, se ha ido consolidando un entramado cada vez mayor de relaciones entre los investigadores de la región en el campo de la IA.

Para dar cuenta de ello, se han construido redes a partir de la firma conjunta de artículos por parte de autores de los distintos países de la región. Los lazos dan cuenta de esos vínculos de coautoría, que se incrementan en grosor en relación con la cantidad de artículos firmados conjuntamente. El tamaño de los nodos está dado por la cantidad de artículos acumulados por cada país. El **Gráfico 7** da cuenta de las relaciones establecidas en 2013 y el **Gráfico 8** representa la situación en 2022.

En 2013, 19 países de la región contaban con producción científica en el campo de la IA. De ellos, solo tres -El Salvador, Paraguay y Bolivia- no contaban con lazos de cooperación científica con otros países iberoamericanos. España era el centro de las conexiones de esta red, estableciendo lazos con otros 13 países. A continuación, en cantidad de conexiones, aparece México con nueve, a pesar de que su volumen total de publicaciones es menor.

Diez años después, en 2022, el panorama era de una conexión mucho más extensa. Mientras que en 2013 la densidad de la red -que representa la cantidad de lazos presentes en relación con el total de lazos posibles en una red- era de 0,23, en 2022 ese valor ascendió a 0,41. Asimismo, el número de países activos en esta temática había ascendido a 21 y ya no se registraban países desconectados de la red de cooperación iberoamericana.

Gráfico 7. Red iberoamericana de colaboración científica en IA (2013)



34

En el último año analizado, y de manera consistente con su volumen de producción, España sigue siendo el mayor articulador de la red manteniendo lazos con 18 países iberoamericanos en 2022. En segundo lugar aparece Brasil, vinculado con 17 países de la región. Ecuador ha tomado un papel más importante, apareciendo en el tercer lugar en cuanto a la cantidad de países iberoamericanos con que se vincula, ascendiendo a 14.

2.2. Principales temas de investigación en IA

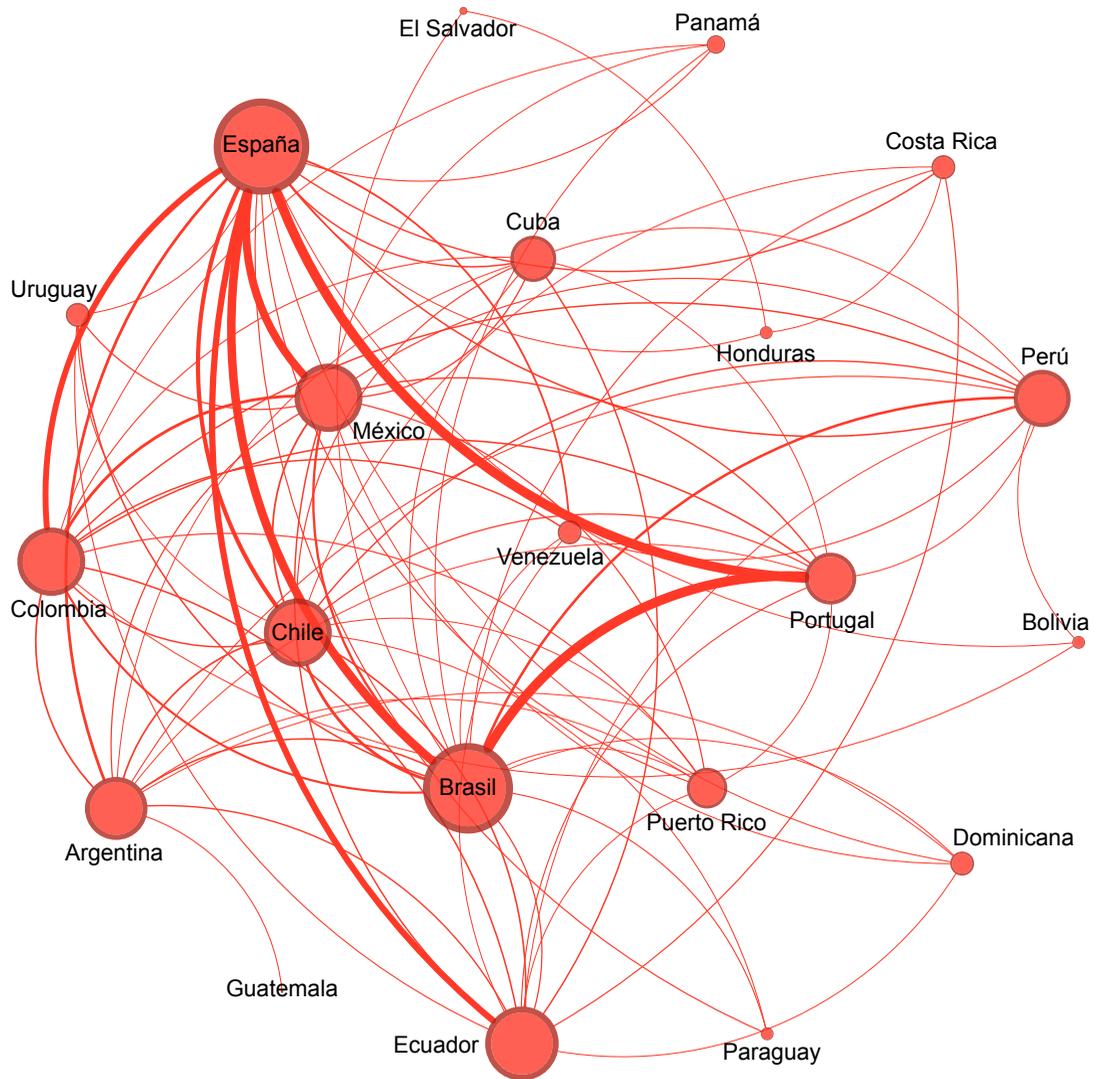
La investigación en el campo de la IA es extensa y compleja; incluye desde el desarrollo de herramientas informáticas específicas hasta la producción de conocimiento en diferentes disciplinas haciendo uso de estas técnicas. De la misma manera en que está revolucionando la sociedad o la industria, está también transformando la actividad científica. Esa es una de las características particulares de la IA en el terreno de la I+D; no solo es un espacio de desarrollo tecnológico, sino que se constituye en sí misma una poderosa herramienta para facilitar y acelerar la producción de conocimiento en todas las áreas de la ciencia y la tecnología.

Una muestra de esta transversalidad queda visible al ver la distribución por disciplina de los artículos científicos. SCOPUS clasifica a cada revista en una o varias disciplinas, que luego se heredan a cada uno de los artículos allí publicados. Cuando las revistas están clasificadas en más de una disciplina, los artículos son asignados a cada una de ellas. Por ese motivo, la suma de las disciplinas puede arrojar un valor mayor al número total de documentos. Si bien esa clasificación puede resultar general, es suficiente para dar cuenta de la transversalidad de la IA y de cómo ha afectado a los diferentes campos.

De los más de un millón de artículos publicados sobre este tema entre 2013 y 2022 a nivel mundial, el 65% se presentaron en revistas de ciencias de la computación, el 38% en ingeniería y el 21% en matemáticas. Sin embargo, por citar algunos ejemplos, el 8% está también relacionado con las ciencias médicas, el 6% con las ciencias de los materiales, un volumen similar en las ciencias sociales, y un 4% en bioquímica y genética.

El panorama disciplinario a nivel iberoamericano no presenta diferencias significativas con respecto a la

Gráfico 8. Red iberoamericana de colaboración científica en IA (2022)



producción mundial. El 67% de los artículos fueron publicados en revistas de ciencias de la computación, mientras que las ingenierías tienen una participación algo menor, cinco puntos porcentuales por debajo. La producción en matemáticas, por el contrario, presenta una participación tres puntos porcentuales por encima del registro mundial.

Para comprender mejor el contenido de la investigación iberoamericana en IA, hemos agrupado las disciplinas de SCOPUS en cuatro grandes áreas: ciencias de la salud, ciencias de la vida, ciencias físicas y ciencias sociales. Tomando como base las palabras clave consignadas por los autores de cada artículo, se han desarrollado para cada una de estas áreas mapas conceptuales basados en la frecuencia de aparición de las palabras clave y su concurrencia en un mismo artículo. Además, se generaron clústeres de las palabras con mayor proximidad.

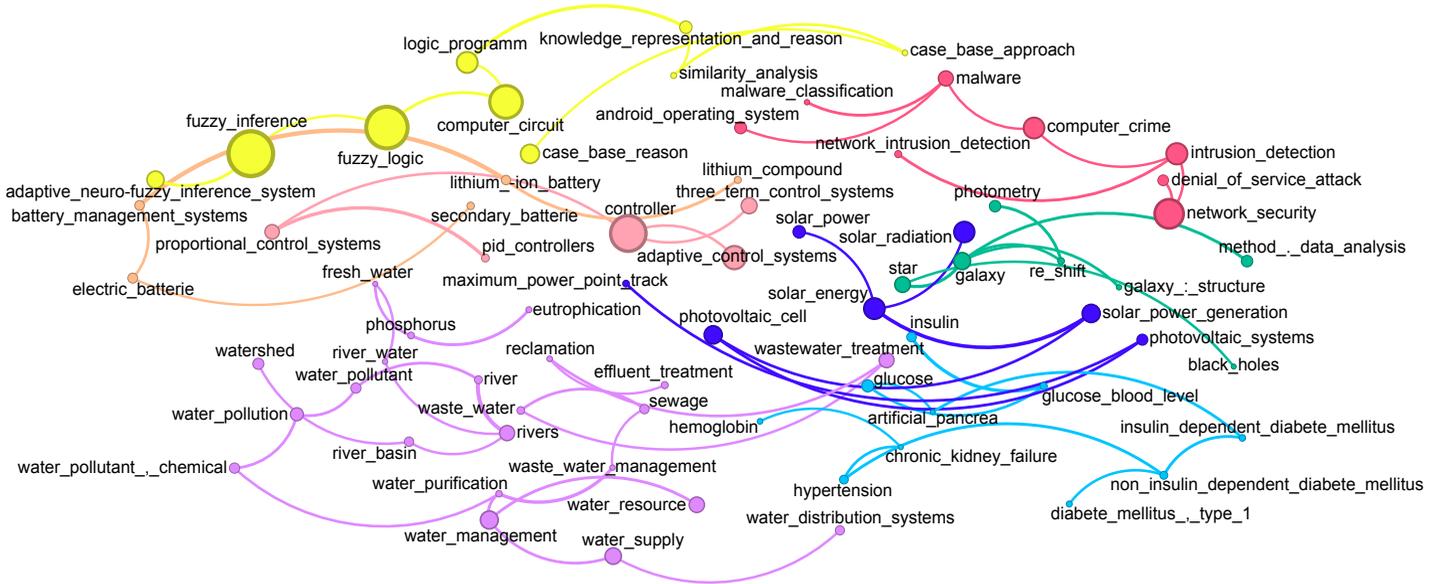
En los gráficos siguientes es posible obtener indicios del contenido temático de la producción. Cada palabra es representada por un nodo, cuyo diámetro está dado por la

frecuencia de la palabra, y los clústeres de palabras con mayor vínculo están señalados mediante los colores de los nodos. Para simplificar la visualización y destacar las relaciones principales entre palabras, se han podado los lazos hasta dejar solo los más importantes en términos del mayor peso posible en toda la red.

En la producción iberoamericana sobre IA publicada en revistas de ciencias físicas, pueden identificarse varios grupos temáticos. En la parte superior del **Gráfico 9** aparecen temas relacionados con las ciencias de la computación. En amarillo, aparece un cluster relacionado con representaciones del conocimiento y lógica difusa. Desde ahí, en rosa, se desprende un cluster con la aplicación de la IA en seguridad informática, especialmente en la clasificación de virus y malware. Algo más abajo, también en relación con los temas de lógica difusa, aparecen temas vinculados a la gestión y control de baterías.

La parte inferior del grafo presenta clústeres relacionados con diferentes aplicaciones de la IA en el terreno de la física. En violeta aparece un extenso grupo relacionado

Gráfico 9. Mapa conceptual de la producción iberoamericana en IA y ciencias físicas



con la gestión del agua, su purificación y gestión de la contaminación. Más al centro, en azul, se identifican los temas relacionados con la energía solar, donde la IA juega un papel importante en el desarrollo de modelos predictivos de la generación de energía. Finalmente, en celeste, aparecen temas relacionados con las ciencias médicas y de la vida, principalmente relacionados con dispositivos vinculados con el tratamiento de la diabetes.

Por un lado, en rosa, aparecen las aplicaciones de la IA en la genética y biotecnología. Por el otro, en verde, se desprenden los temas relacionados con la industria farmacéutica, con temas vinculados a la química y el desarrollo de drogas.

En la parte superior, en violeta y también vinculado al *cluster* de química, aparecen los temas relacionados con las proteínas y los efectos sobre el sistema inmune. Finalmente, abajo a la derecha se encuentra un *cluster* que estudia la meteorología, y sistemas de riego inteligentes para mejorar la agricultura (cultivos y suelos).

36

Los documentos iberoamericanos sobre IA publicados en revistas de ciencias de la vida configuran un mapa organizado en torno a dos grandes temas (**Gráfico 10**).

Gráfico 10. Mapa conceptual de la producción iberoamericana en IA y ciencias de la vida

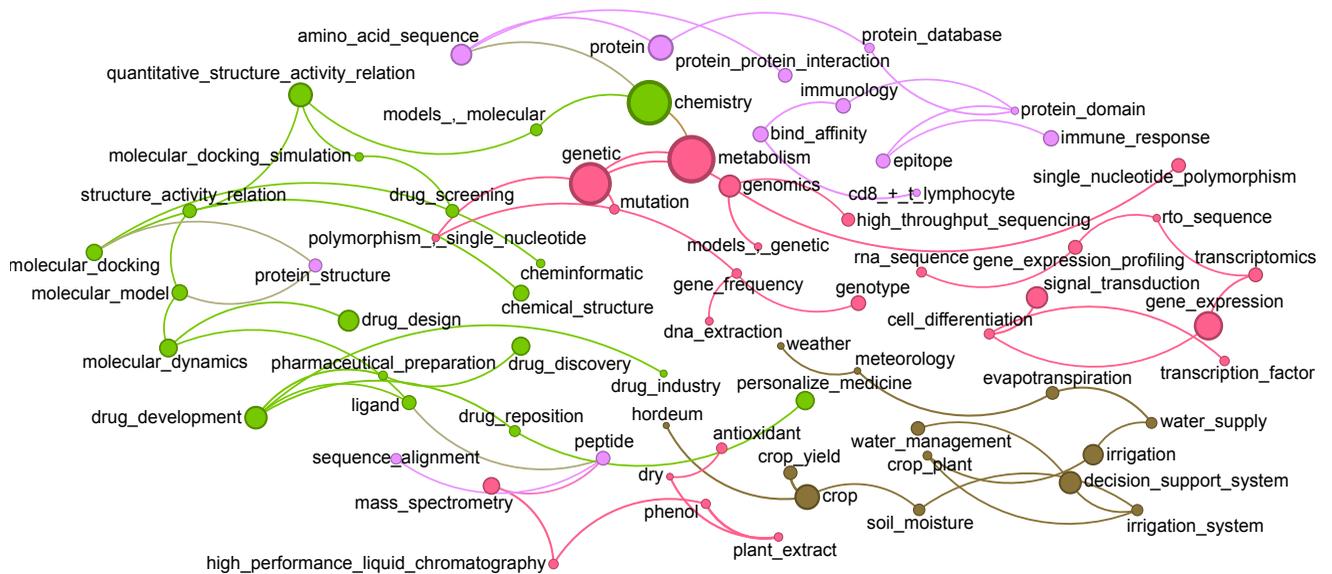
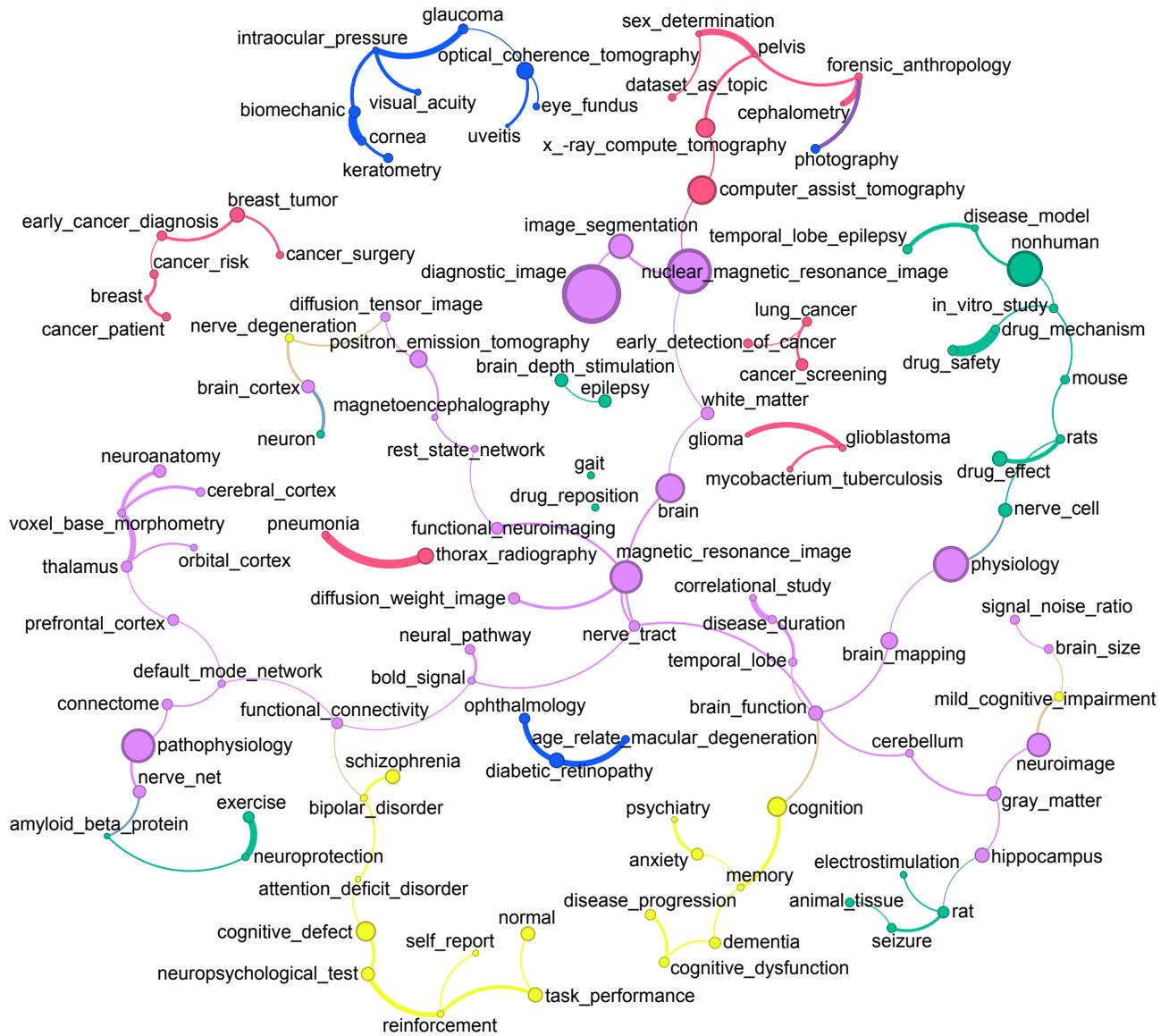


Gráfico 11. Mapa conceptual de la producción iberoamericana en IA y ciencias de la salud



En las revistas de ciencias de la salud, la producción regional vinculada con la IA configura un mapa con tres ramificaciones principales (**Gráfico 11**). En el centro, en violeta, aparece un extenso árbol de temas relacionados con el análisis de imágenes médicas mediante IA. Es uno de los campos de aplicación con mayor crecimiento de la aplicación de la IA en los últimos años. Se destaca la aplicación en imágenes generadas por resonancia magnética y neuroimágenes.

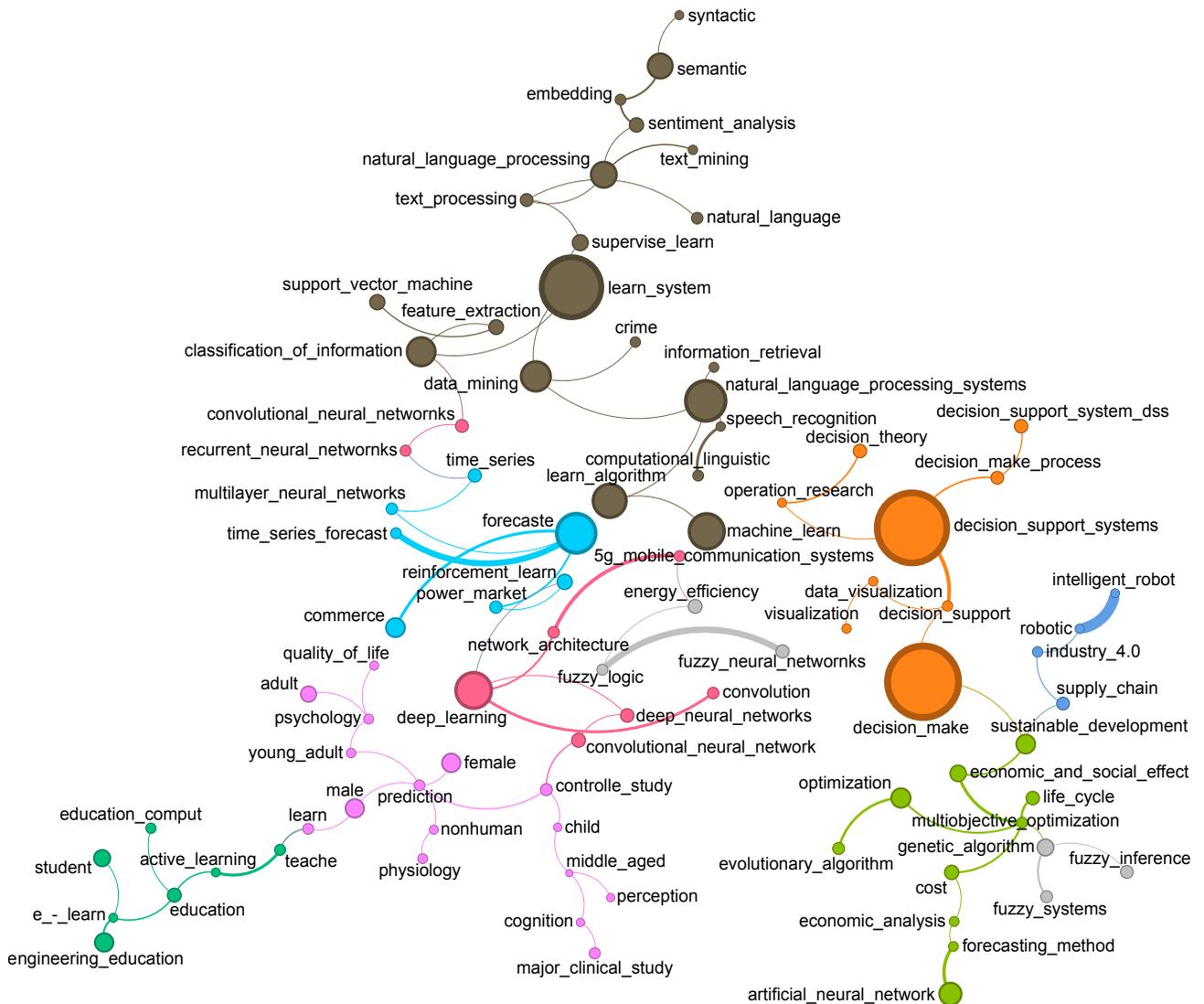
En rosa, en distintas posiciones del mapa, aparecen clústeres vinculados con la detección de cáncer; por ejemplo, hacia la izquierda, en relación con el cáncer de mama, y más hacia la derecha con el cáncer de pulmón. En la parte baja, en amarillo, aparecen los temas relacionados con la psiquiatría, incluyendo desde los problemas cognitivos y de memoria hasta condiciones como la esquizofrenia y el desorden bipolar.

Finalmente, la producción regional en revistas de ciencias sociales muestra también un extenso abanico de aplicaciones de la IA (**Gráfico 12**). En el centro de grafo, en marrón, articulan el mapa las técnicas de procesamiento de lenguaje natural, sistemas de aprendizaje y de clasificación automática de información. En naranja, se desprenden los temas relacionados con sistemas de toma de decisiones y de visualización de información.

Se detecta también la presencia de sistemas que utilizan IA para la prospectiva. Resultan de interés también los conjuntos vinculados con la educación, en verde a la izquierda, y al desarrollo económico y social en verde más claro hacia la derecha.

Este breve panorama de los campos de estudio y aplicación de la IA en la región da cuenta también de la extensa aplicación de estas tecnologías en nuestra sociedad.

Gráfico 12. Mapa conceptual de la producción iberoamericana en IA y ciencias sociales



38

Prácticamente no aparecen campos de investigación en los que la IA no esté ganando espacio y generando nuevas formas de abordar los problemas de la ciencia.

3. DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES PARA IBEROAMÉRICA

Los datos analizados a lo largo de este informe permiten identificar desafíos y oportunidades para Iberoamérica en el campo de la IA. A pesar del crecimiento en la producción científica relacionada con el tema en Iberoamérica, la región aún tiene una representación limitada en comparación con los países líderes a nivel mundial. Su participación en este campo de investigación está aún por debajo de la participación porcentual iberoamericana en la producción científica mundial. En ese sentido, fomentar una mayor especialización en IA es un desafío importante para las políticas públicas de los países iberoamericanos.

Un camino para ello puede ser la colaboración Internacional, la cual resulta fundamental en un campo tan avanzado y de rápido desarrollo como la IA. A pesar del crecimiento en la colaboración internacional, el porcentaje de copublicación entre países dentro de la región sigue siendo bajo. Iberoamérica debe impulsar una mayor colaboración regional y consolidar sus redes de investigación en este tema. La cooperación es, una vez más, una herramienta vital para el desarrollo de la ciencia y la tecnología regional.

Por supuesto, esto es imposible sin el desarrollo de la inversión y la formación de recursos humanos altamente capacitados. El crecimiento en la producción científica en IA en China y Estados Unidos está respaldado por una inversión significativa en investigación y desarrollo, así como por la formación de recursos humanos calificados. Iberoamérica necesita aumentar su inversión en IA y fortalecer sus recursos humanos en investigación si pretende acercarse a los niveles de desarrollo de los

países líderes. En esa línea, no pueden olvidarse las brechas existentes en el acceso a recursos y tecnologías. Esto incluye garantizar que las universidades y los centros de investigación tengan acceso a infraestructura y recursos de vanguardia.

Estos procesos deben empezar desde los distintos niveles de formación. Para fomentar la investigación y la especialización en IA, es esencial fortalecer los programas de educación sobre el tema en la región. Esto incluye la formación de científicos, ingenieros y profesionales en IA, pero también interesar y formar a las nuevas generaciones en estos temas desde los primeros niveles.

Por otra parte, una vez más, el desafío está en vincular la ciencia con las demandas sociales y de la producción. La investigación científica en IA debe traducirse en aplicaciones prácticas y soluciones para los desafíos regionales. Así, la colaboración entre la academia y la industria es crucial para impulsar la innovación en base a la IA. La ciencia iberoamericana debe trabajar en estrecha colaboración con la industria para desarrollar aplicaciones prácticas de IA y promover la adopción de tecnologías avanzadas.

En resumen, para aprovechar el crecimiento de la IA a nivel global, Iberoamérica enfrenta desafíos significativos en términos de especialización, colaboración, inversión y vinculación con la industria. Es todo un desafío para el diseño e implementación de políticas públicas transversales a muchas áreas de gobierno y sectores económicos. Se deberán abordar también temas de ética y responsabilidad mediante una regulación adecuada, estableciendo normativas y regulaciones para garantizar que la IA se desarrolle en beneficio de las sociedades iberoamericanas.

2.2. ¿PUEDEN LAS TECNOLOGÍAS DIGITALES CAMBIAR EL MUNDO?

INTAN HAMDAN-LIVRAMENTO, ALICA DALY Y JULIO RAFFO *

INTRODUCCIÓN

A medida que nos adentramos en la tercera década del siglo XXI, nuevas y poderosas fuerzas están impulsando la dirección de la innovación en ciencia, tecnología y medicina. Aunque son muchas, hay una que destaca: la revolución digital.

Algunos expertos la califican como la Cuarta Revolución Industrial: un despliegue generalizado de tecnologías digitales (digitalización), conjuntos de datos extremadamente grandes (*big data*) para analizar tendencias e interacciones humanas y procesos cada vez más sofisticados de automatización e inteligencia artificial (IA). Todos estos son ejemplos de tecnologías digitales de propósito general (TDPG), aplicables a muchas industrias y sectores que pueden dar lugar a nuevas innovaciones incrementales (Bresnahan y Trajtenberg, 1995; OMPI, 2022). La potencia de estas nuevas TDPG y su carácter de funcionamiento en red plantean problemas de seguridad nacional, debido, por ejemplo, a la vulnerabilidad potencial de los sistemas de defensa a la piratería informática. A su vez, los gobiernos han dado prioridad al desarrollo de la capacidad tecnológica nacional, impulsando una nueva generación de políticas industriales orientadas a la innovación en todo el mundo.

Esta nueva ola de tecnologías digitales puede resumirse en la mezcla de tecnologías basadas en el aprendizaje automático que utilizan los grandes datos recopilados a través del Internet de las cosas (*Internet of things*) y dispositivos automatizados con grandes recursos de procesamiento de datos, incluida la computación en nube. En esencia, la digitalización es el proceso de transición del modo analógico al digital. La digitalización está transformando las industrias al incorporar nuevas innovaciones, estructuras, prácticas y valores. Las innovaciones tradicionales de las industrias se enfrentan a la competencia de las empresas basadas en las tecnologías de la información (TI).

La pandemia de COVID-19 generó y, en parte, aceleró la demanda de nuevas tecnologías relacionadas con la salud para combatir la propagación del virus y tratar las infecciones. Además, esta crisis sanitaria mundial ha afectado profundamente la forma en que la gente trabaja, viaja, se comunica y se entretiene. Puede que sea demasiado pronto para decir cómo será la “normalidad” pospandémica, pero muchos cambios han llegado para quedarse. La pandemia impulsó una digitalización aún más rápida y rompió muchos tabúes sobre el trabajo y la vida social. Las innovaciones intervinieron, y lo seguirán haciendo en los próximos años, para suministrar las tecnologías necesarias para apoyar este nuevo entorno.

Este artículo explora en tres partes los recientes cambios en la innovación de la digitalización y su potencial para hacer frente a los diversos retos sociales actuales. En primer lugar, se examina el auge de las TDPG mediante el análisis de los datos de patentes internacionales. En segundo lugar, se analiza cómo estas TDPG pueden desencadenar las innovaciones en muchos otros campos. Finalmente, la conclusión aboga por un papel activo de los gobiernos y los responsables políticos en la promoción de soluciones a los retos de la sociedad relacionados con la digitalización, incluida la forma de mitigar los posibles efectos perturbadores de estas innovaciones en ámbitos como el empleo.

1. El camino hacia el auge de las tecnologías digitales

En el verano de 1956, se organizó un taller en el Dartmouth College de Hanover, New Hampshire, para debatir cómo programar máquinas que recogieran datos, los analizaran para resolver problemas y “aprendieran” de lo que habían hecho. La premisa del taller era que el proceso de aprendizaje pudiera describirse con suficiente detalle como para programar una máquina inteligente.¹ Muchos consideran este taller como el nacimiento de la IA, término que se utiliza indistintamente con la tecnología

41

* Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI). Este artículo es responsabilidad de sus autores y no representa necesariamente la opinión de la OMPI, ni de sus Estados miembros. Este artículo se basa en una actualización del capítulo 3 del Informe Mundial sobre la PI 2022 (OMPI, 2022).

1. La propuesta de McCarthy *et al.* (2006) afirma que “cada aspecto del aprendizaje o cualquier otra característica de la inteligencia puede, en principio, describirse con tanta precisión que se puede hacer que una máquina lo simule”.

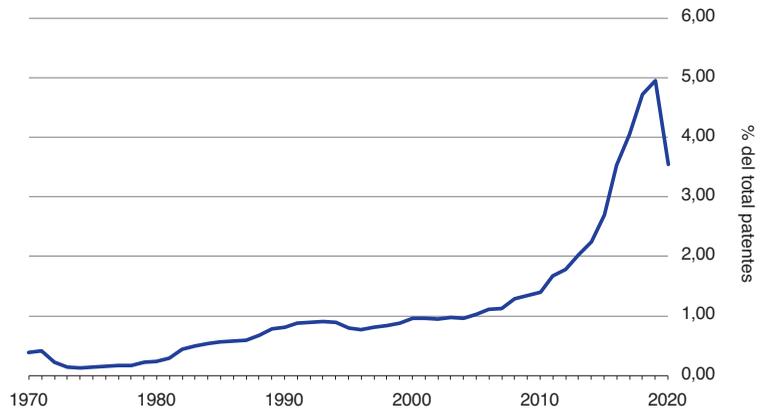
de aprendizaje automático. Para muchos economistas de la innovación, la IA es la base de una nueva ola de digitalización – referidas también como las TDPG- que está revolucionando las actividades económicas. Esta nueva ola incluye ramas como las tecnologías predictivas, la automatización altamente sofisticada y el *big data*.²

La naturaleza de las TDPG es que están en todas partes, estimulan la innovación en campos complementarios y pueden aplicarse en varios sectores e industrias de manera transversal. Las tecnologías de propósito general (TPG) anteriores, como la máquina de vapor, la electricidad y las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), están estrechamente asociadas con las tres primeras revoluciones industriales del mundo.³ La plena integración de las tecnologías digitales en las actividades económicas marca posiblemente una cuarta revolución de este tipo: una economía totalmente impulsada por los datos.⁴

En las últimas cuatro décadas, el número de patentes registradas en todo el mundo -un indicador indirecto de la innovación que se está produciendo- se ha disparado en el ámbito de las TDPG. El **Gráfico 1** muestra la velocidad a la que crecen las tecnologías digitales en comparación con la tasa media de crecimiento de las patentes en todos los campos tecnológicos. Este crecimiento también es más rápido que el de las tecnologías relacionadas con la informática. El ritmo de progreso de las tecnologías digitales ha crecido rápidamente, superando la tasa media de crecimiento de todos los demás campos tecnológicos. En solo cinco años (2015-2020), las solicitudes de patentes de invenciones tecnológicas digitales han crecido una media del 172% más rápido que la media de solicitudes de patentes en todos los campos tecnológicos.

Las TDPG son una consecuencia natural de la digitalización general que procede de tres campos científicos y técnicos interrelacionados pero separados, a saber: la robótica, las redes neuronales y los sistemas simbólicos. Tanto las redes neuronales como los sistemas simbólicos son ejemplos de cómo aprenden los programas de IA. Estas innovaciones basadas en la IA son tecnologías computacionales inteligentes que pueden ejecutar un conjunto de órdenes y mejorar

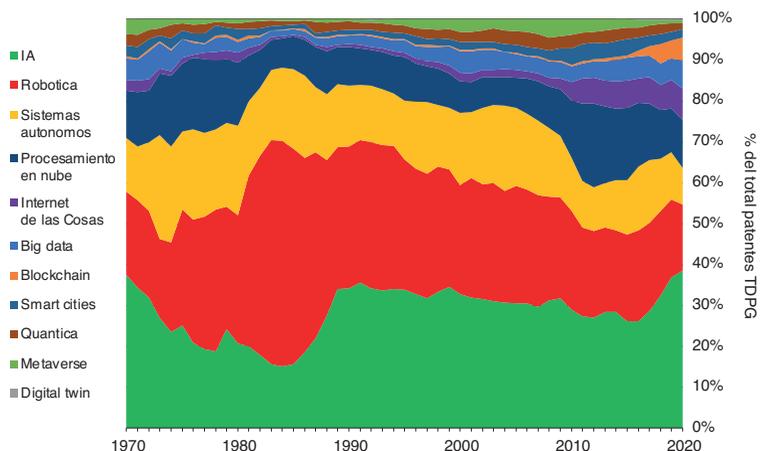
Gráfico 1. Solicitudes mundiales de patentes en TDPG (1970-2020)



Fuente: OMPI (2023).

Nota: Los datos refieren a familias de patentes. Una patente puede referirse a más de una categoría. Las cifras de 2020 están truncadas.

Gráfico 2. Solicitudes mundiales de patentes en TDPG, por subcategorías de digitalización (1970-2020)



Fuente: OMPI (2023).

Nota: Los datos refieren a familias de patentes. Una patente puede referirse a más de una categoría. Las cifras de 2020 están truncadas.

sus prestaciones basándose en procesos de retroalimentación y aprendizaje, sin intervención humana.

Los avances en estos campos están fuertemente vinculados al apoyo gubernamental a través de subvenciones a la investigación, premios e inversiones en tecnologías facilitadoras. Por ejemplo, la iniciativa DARPA de Estados Unidos convocó en 2004 a un concurso, con un premio de un millón de dólares, para un vehículo autónomo (AV) -automóvil sin conductor o autoconducido- capaz de completar

2. Para un debate sobre la IA y sus tecnologías relacionadas como TDPG, véanse: Bigliardi *et al.* (2020), Cockburn *et al.* (2019) y Martinelli *et al.* (2021).

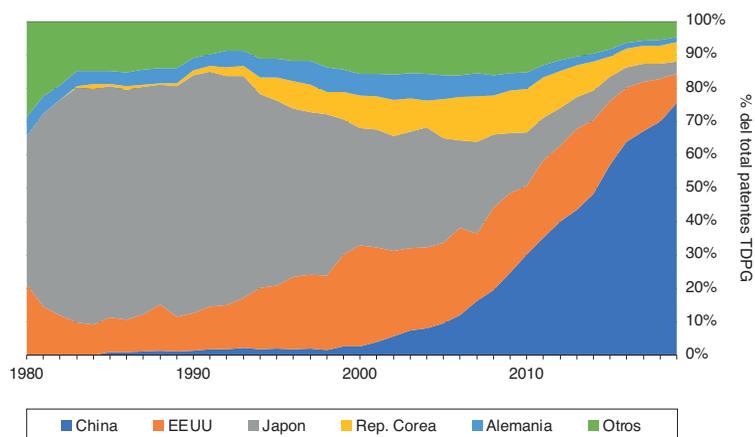
3. Véase el Informe Mundial sobre la PI 2022, capítulo 1, para un breve análisis introductorio sobre las TPG históricas.

4. Se debate si el auge de la IA y otras tecnologías similares son o no extensiones de la Tercera Revolución Industrial. Podría decirse que Klaus Schwab, fundador y director ejecutivo del Foro Económico Mundial, acuñó el término (Schwab, 2016).

un recorrido de 240 km.⁵ El premio se consideró importante para estimular la investigación sobre los AV. Las mejoras progresivas en las tecnologías facilitadoras, como las TI, junto con el aumento de la potencia de cálculo y la computación en nube -la prestación de diferentes servicios: por ejemplo, el almacenamiento de datos a través de Internet-, recibieron el apoyo de los gobiernos, especialmente en las fases iniciales.⁶ Los gobiernos también realizaron las fuertes inversiones necesarias en infraestructuras complementarias, como Internet de alta velocidad.

Los gobiernos seguirán desempeñando un papel en la adopción de TDPG y el impulso de la innovación invirtiendo en infraestructuras habilitadoras, como las redes necesarias para la tecnología inalámbrica 5G. La tecnología 5G proporcionará datos en volúmenes mucho mayores, a velocidades mucho más altas y con mucha más fiabilidad, haciendo posibles innovaciones revolucionarias como el Internet de las cosas. Como resultado, las tecnologías digitales son aplicables en todas las industrias y todos los sectores, perturbando la estructura del mercado y dando lugar a nuevas innovaciones. Este conjunto de tecnologías incluye innovaciones relacionadas con los macrodatos, la computación en la nube, el Internet de las cosas, la automatización o la robótica, y el aprendizaje automático (*machine learning*). El **Gráfico 2** desglosa las solicitudes de patentes de tecnologías digitales en las principales subcategorías de las TDPG. Dentro de estas, las tecnologías en IA, robótica, sistemas autónomos y computación en nube representan el 80% de las invenciones en TDPG. Las tasas de crecimiento de las diferentes tecnologías digitales están aumentando, pero de forma desigual, siendo las tecnologías relacionadas a la Internet de las cosas, el *big data* y el *blockchain* las subcategorías de las TDPG que más crecieron en la última década.

Gráfico 3. Solicitudes mundiales de patentes en las TDPG, por origen del primer solicitante (1970-2020)



Fuente: OMPI (2023).

Nota: Los datos refieren a familias de patentes. Una patente puede referirse a más de una categoría. Los orígenes se refieren a los países de los solicitantes.

Además, nuestra dependencia de las tecnologías y los servicios digitales ha aumentado en el transcurso de la pandemia del COVID-19. Durante los lapsos de confinamiento, los patrones de consumo y las actividades comerciales cambiaron. Los consumidores hacían más compras desde casa y utilizaban los servicios digitales para casi todo.⁷ Las empresas capaces de adoptar la digitalización o trabajar en línea fueron más resistentes al impacto adverso de la pandemia. Las que no lo fueron tuvieron que cerrar sus puertas. Las industrias que apoyaron el trabajo a distancia, como las plataformas de comunicación por video, experimentaron un repunte en sus negocios. Las empresas que no iniciaron el trabajo a distancia, o que no lo facilitaron, tuvieron después dificultades para que sus empleados volvieran a la oficina. Muchos restaurantes y tiendas que necesitan de la presencia de los clientes tuvieron que cerrar. En el centro de estos nuevos servicios se encuentran las plataformas digitales, herramientas tecnológicas que facilitan las transacciones entre personas (mercados en línea), proporcionan infraestructura para crear nuevos productos o servicios (aplicaciones móviles) o crean infraestructura institucional (por ejemplo, bases de datos blockchain) (Geradin, 2018; Hinings *et al.*, 2018).

Sin embargo, la influencia de estas tecnologías en los distintos sectores económicos y países es desigual. La digitalización de la información es un componente esencial del funcionamiento de estas tecnologías. Al acceder a cantidades masivas de información, la tecnología es capaz de deducir patrones a partir de la información proporcionada y, con entrenamiento, aprender a identificar patrones y tendencias específicos. Pero es necesaria una potencia de cálculo suficiente para procesar grandes cantidades de información digitalizada. Este requisito podría plantear nuevas dificultades a las economías menos desarrolladas para competir en la nueva era económica.

No es sorprendente que las patentes relacionadas con las TDPG se concentren en unas pocas economías. El **Gráfico 3** muestra que China, Japón y Estados Unidos concentran casi el 90% de todas las patentes en este campo. En este contexto de alta concentración, no es sorprendente que América Latina y el Caribe hayan concentrado en la última década menos del 0,2% mundial del total de patentes relacionadas con las TDPG.

5. Véanse el capítulo 3 sobre vehículos autónomos en OMPI (2019a) y Bonvillian *et al.* (2019).

6. Es más probable que las empresas adopten la IA cuando ya dependen de los macrodatos y disponen de suficiente potencia informática (Brynjolfsson y McAfee, 2014).

7. Yilmazkuday (2021) descubrió que el gasto de los consumidores aumentó un 16% y las compras en línea un 21% en comparación con las tendencias anteriores a la pandemia.

2. TDPG: la innovación es una vía de doble sentido

Las TDPG están transformando las industrias al introducir nuevas innovaciones, estructuras, prácticas y valores. Los innovadores tradicionales se enfrentan a la competencia de las empresas basadas en las TI. Por ejemplo, los fabricantes tradicionales de automóviles tienen que competir con las empresas tecnológicas de Silicon Valley en el desarrollo de vehículos de conducción autónoma.⁸

En el ámbito de la salud, los fabricantes de *smartwatches* miden a diario información vital sobre la salud, lo que puede proporcionar información útil durante los reconocimientos médicos. En defensa y logística se están utilizando drones para reconocimiento de inteligencia y entregas.⁹ Incluso en el turismo, los servicios en línea y las aplicaciones móviles (*apps*) están marcando los cambios, permitiendo a la gente organizar viajes en el coche de otra persona, en lugar de en un taxi, o dormir en casa de otra persona en lugar de en un hotel.

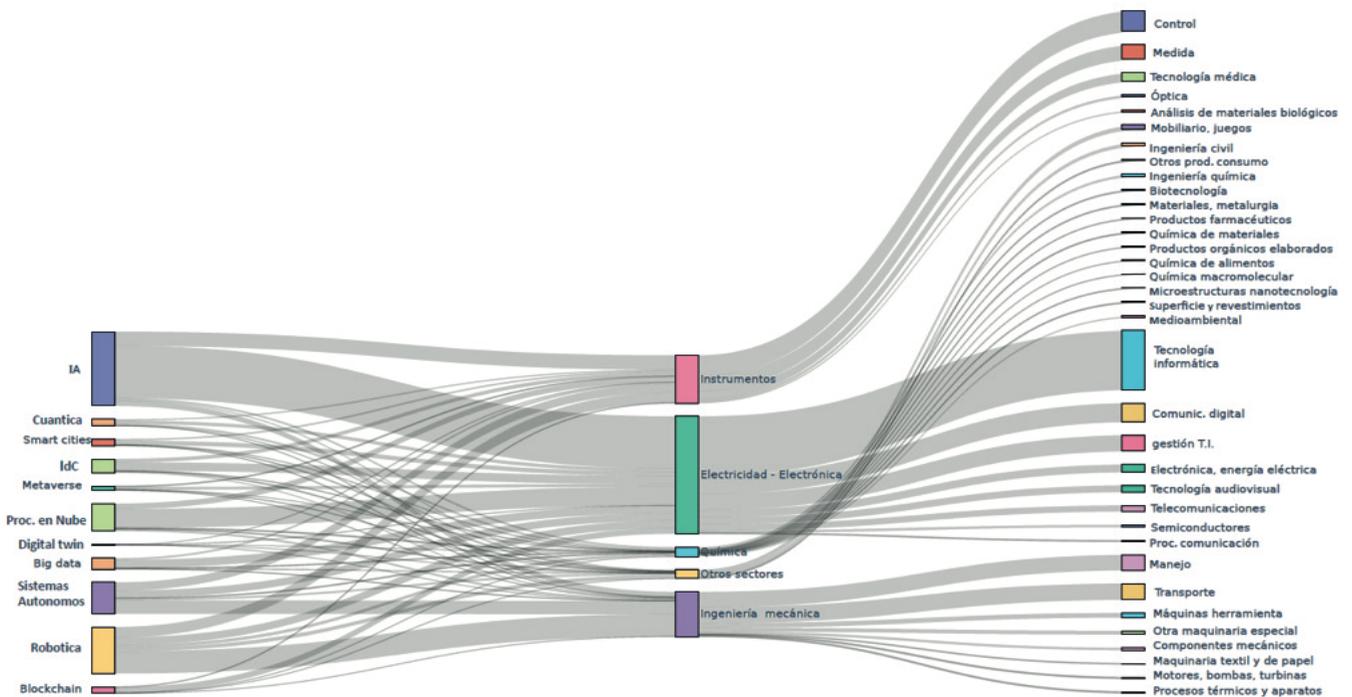
Las tecnologías están cambiando los tipos de innovaciones que tienen lugar. Gran parte de la innovación actual se basa en tecnologías digitales, dando lugar a nuevas industrias, como el Internet de las cosas, un sistema de objetos y dispositivos capaces de recoger y transmitir datos sin intervención humana. En lugar de anunciarse en revistas o comprar espacios en televisión, las empresas cosméticas se dirigen

a “personas influyentes” o publican anuncios en motores de búsqueda y plataformas de redes sociales. Los productos y servicios son *crowdsourced*; es decir, los usuarios dan su opinión sobre el rendimiento y los servicios prestados, lo que proporciona a los compradores información útil antes de comprar. En el campo de la medicina, la tecnología de IA puede entrenarse para detectar el crecimiento anormal de células en el organismo. Puede contribuir a la investigación en medicina de precisión, donde los tratamientos se adaptan a las condiciones específicas del paciente.¹⁰

Además, las TDPG están cambiando la forma en que utilizamos las propias tecnologías digitales. Son interactivas, aprenden de nosotros mientras las utilizamos. Esto las diferencia de las innovaciones informáticas de finales del siglo XX. Antes, la interacción con la tecnología era unidireccional. Tomemos el ejemplo de los grandes robots en la fabricación de automóviles. Estos robots preprogramados permitían mecanizar ciertas tareas repetitivas y laboriosas. Cualquier mejora en el funcionamiento de los robots requería la experiencia técnica de ingenieros mecánicos y expertos, además del aprendizaje por ensayo y error de los usuarios de estos robots.

Hoy en día, las tecnologías basadas en IA aprovechan los grandes datos recopilados con sus enormes recursos de procesamiento de datos para mejorar por sí mismas (Brynjolfsson *et al.*, 2017). Un ejemplo paradigmático es cómo utilizamos la aplicación de localización en los

Gráfico 4. Solicitudes de patentes de TDPG por sector y ámbito tecnológico (1970-2020)



8. Véase el capítulo 3 sobre vehículos autónomos en OMPI (2019a).

9. Véase el capítulo 3 sobre robots en OMPI (2015).

10. Véanse más ejemplos en OMPI (2019b).

dispositivos *smartphone*. Cuando buscamos la ruta más rápida o conveniente para llegar a un destino deseado -dadas las condiciones del tráfico-, la información que proporcionamos incluye la ubicación, la hora de la búsqueda y el lugar al que queremos ir, entre otros datos. Extrapolar esta petición a otras da lugar a un gran conjunto de datos que retroalimenta el sistema de localización, lo que a su vez mejora su utilidad y productividad en tiempo real.

Otro ejemplo es cuando etiquetamos imágenes de nuestros amigos en las redes sociales. La gran cantidad de datos recopilados mediante este esfuerzo entrena a la IA para reconocer mejor los rostros, que luego utilizará para sugerir futuros esfuerzos de etiquetado al identificar a las personas en las imágenes. Esta interactividad y retroalimentación hacen que las tecnologías sean inteligentes y reactivas.¹¹

El **Gráfico 4** muestra cómo gran parte de las patentes relacionadas con la digitalización también pueden asociarse a diferentes campos tecnológicos e industrias. En consonancia con su carácter de TPG, las solicitudes de patentes de digitalización se encuentran cada vez más en campos tecnológicos relacionados con la instrumentación,

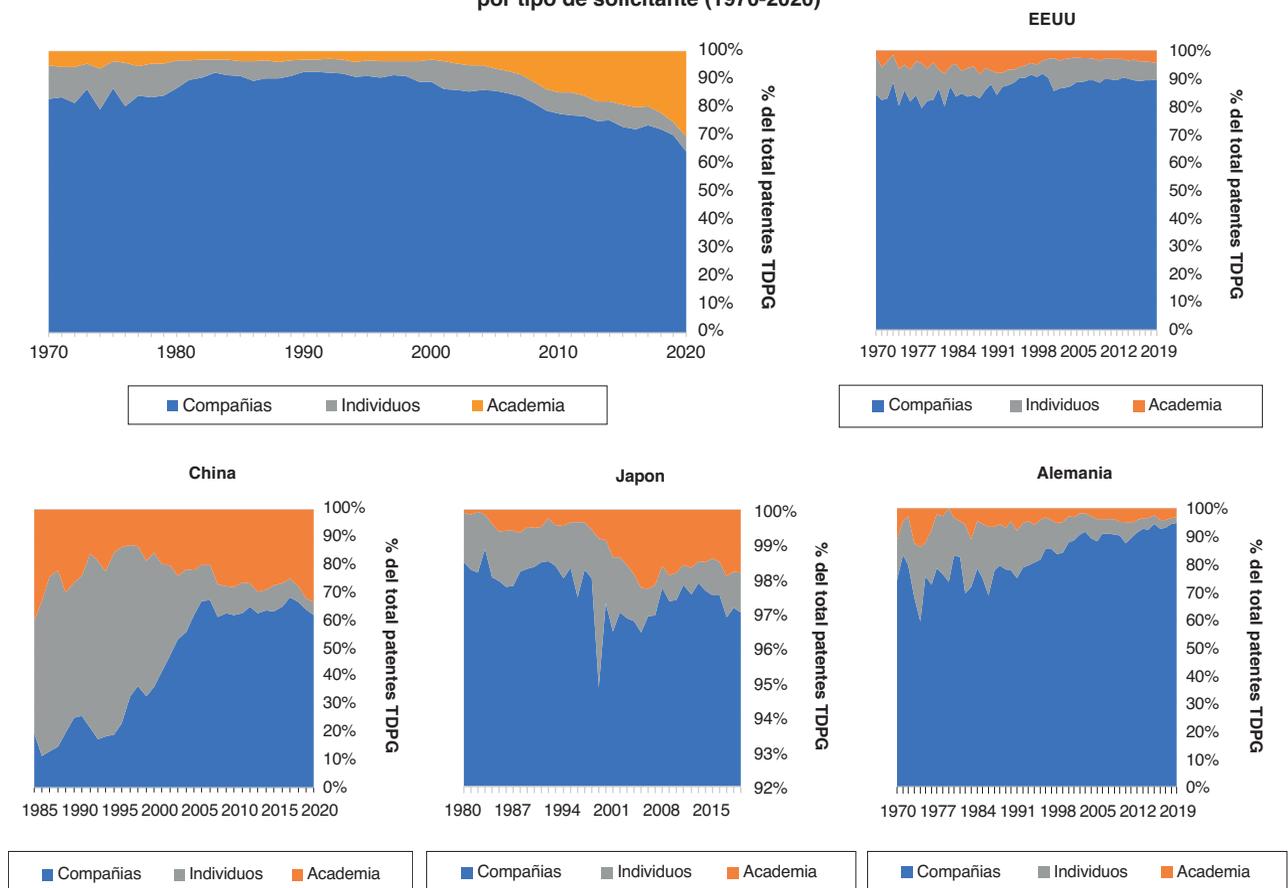
la ingeniería mecánica o la química. Por nombrar solo algunos campos, cada vez más patentes sobre dispositivos médicos, algoritmos biotecnológicos y tecnologías de transporte incorporan elementos de tecnologías de digitalización, lo que está en sintonía con los ejemplos comentados anteriormente.

2.1. Acelerar el proceso de innovación

Las tecnologías digitales tienen enormes beneficios potenciales. Universidades y empresas confían en las técnicas de IA, como las redes neuronales de aprendizaje profundo, para hacer avanzar la ciencia. El aprendizaje profundo se refiere al uso de múltiples capas de redes neuronales artificiales, que son sistemas informáticos inspirados en los sistemas neuronales del cerebro humano.

Los investigadores médicos están utilizando estas técnicas de aprendizaje de la IA para ayudar a identificar, diagnosticar y tratar enfermedades. La aplicación de TDPG en la investigación está acelerando el proceso de innovación y haciendo que la I+D sea más eficiente. En la industria espacial, se espera que la IA ayude a desarrollar

Gráfico 5. Solicitudes mundiales de patentes en los TDPG, por tipo de solicitante (1970-2020)



Fuente: OMPI (2023).

Nota: Los datos refieren a familias de patentes. Una patente puede referirse a más de una categoría. Las cifras de 2020 están truncadas.

11. Véase OMPI (2019) sobre el dilema ético en torno a las tecnologías de IA.

tecnologías que permitan a robots y máquinas operar de forma autónoma sin instrucciones humanas. Esto será necesario a medida que la exploración se adentre en el espacio, más allá del alcance de las comunicaciones con la Tierra.

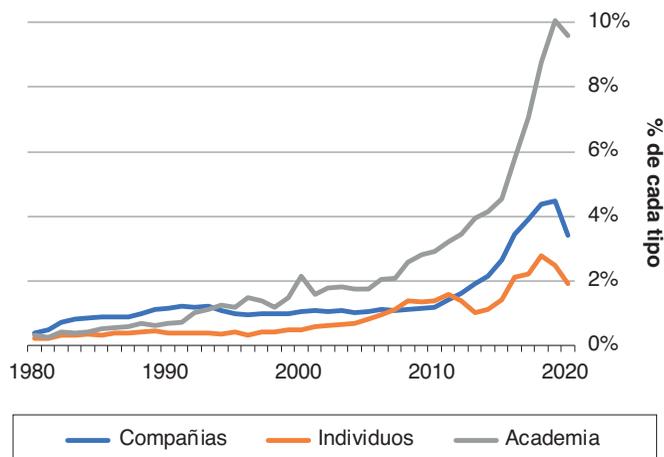
De hecho, el mundo académico aporta una parte significativa de las TDPG. El **Gráfico 5** muestra cómo los solicitantes académicos -es decir, las universidades y los organismos públicos de investigación- están detrás de casi el 30% de las patentes relacionadas con las TDPG en 2020. Además, como muestra el Gráfico 6, las patentes académicas relacionadas con TDPG superan a otras patentes académicas. Esto es especialmente cierto en la segunda mitad de la década de 2010, cuando las patentes relacionadas con TDPG llegaron a superar el 10% de todas las patentes académicas.

Sin embargo, este patrón no es igual en los distintos ecosistemas de innovación. La parte inferior del **Gráfico 5** muestra la misma distribución para China, Alemania, Japón y Estados Unidos. El patrón global coincide con el caso de China, donde el mundo académico acumula casi el 40% de todas las patentes chinas en TDPG. En 2020, la proporción de patentes académicas es menor al 5% en Estados Unidos y Alemania, mientras que es prácticamente inexistente en Japón.

Sin embargo, en la mayoría de los casos, las empresas privadas aportan la mayor parte de las patentes de TDPG. Y, al igual que en el caso de las patentes académicas, las patentes de empresas relacionadas con los TDPG se aceleraron en comparación con las patentes de todas las empresas en la década de 2010 (**Gráfico 6**).

No es de extrañar, ya que estas tecnologías generan importantes beneficios privados. Las traducciones automáticas nos permiten entender sitios web en distintos idiomas. Cuando eBay -plataforma que facilita las ventas en línea de consumidor a consumidor y de empresa a empresa- introdujo la traducción automática en mayo de 2014 para mejorar al mercado hispanoparlante -sea nacional o en América Latina-, sus ingresos aumentaron un 13,1% y las exportaciones a través de eBay desde Estados Unidos a América Latina crecieron un 17,5% (Brynjolfsson et al., 2018). En la agricultura, por ejemplo, las tecnologías digitales, como los sensores de suelo, están

Gráfico 6. Porcentaje de patentes de TDPG del tipo solicitante sobre el total de patentes solicitadas (1970-2020)



Fuente: OMPI (2023).

Nota: Los datos refieren a familias de patentes. Una patente puede referirse a más de una categoría. Las cifras de 2020 están truncadas.

proporcionando información sobre el estado de la tierra. Si el suelo está demasiado seco, los sensores alertan al sistema para que hidrate los cultivos, haciendo más eficiente la agricultura.

En las siguientes subsecciones se analiza más a fondo cómo las TDPG pueden influir y estimular la innovación en los sectores de transporte, salud y educación.

2.1.1. Optimización de los sistemas de transporte

Como se ha señalado, las TDPG, en particular la IA, podrían ayudar a aliviar la congestión vial mediante una gestión "inteligente" del tráfico. Las aplicaciones de mapas, como Waze y Google Maps, utilizan actualmente los dispositivos móviles para sugerir rutas convenientes para llegar a un lugar concreto. Pero la información sobre la ubicación de los usuarios también podría ser utilizada por organismos públicos, como autoridades de carreteras e infraestructuras, controladores de tráfico e incluso agencias de transporte público, para abordar los problemas de congestión vial. Las políticas de tarificación diferenciada podrían cobrar a los usuarios en función del tiempo que pasen en la carretera o de sí, por ejemplo, comparten coche. Unos precios más altos en determinados momentos podrían fomentar el uso del transporte público. Además, las agencias de transporte público podrían utilizar los datos para decidir la frecuencia de los autobuses en las distintas paradas. La mejora del transporte público mediante una mayor fiabilidad y puntualidad podría fomentar un mayor uso del sistema, reduciendo así no solo la congestión, sino también las emisiones de carbono.

2.1.2. Optimizar la investigación médica y la asistencia sanitaria

La digitalización está transformando la industria de la atención médica. La nueva ola de TDPG está haciendo más eficiente el proceso de I+D en medicina. Estas tecnologías tienen el potencial de mejorar la detección de enfermedades y el descubrimiento de fármacos.¹²

12. Véanse más ejemplos en Kudumala et al. (2021).

Las tecnologías de IA pueden escanear los códigos genéticos de los pacientes e identificar secuencias de genes que indican enfermedades concretas mejor y más rápido que los humanos. Por ejemplo, los investigadores son optimistas en cuanto a la posibilidad de utilizar la IA para realizar una detección precoz del virus SARS-CoV-2 e identificar terapias que puedan contener futuros brotes.¹³ Estas tecnologías pueden personalizar la prestación de asistencia sanitaria a los pacientes. Los dispositivos vestibles (*wearable devices*), como relojes o pulseras, ayudarán a detectar las convulsiones cerebrales y alertar tanto al paciente como a otras personas. Estos dispositivos inteligentes también pueden recoger datos, que pueden ser analizados por los médicos y ayudar a prestar una mejor asistencia sanitaria. Pueden ayudar a optimizar cómo se organiza la atención de urgencias en los hospitales. Cuando un paciente está de camino a urgencias, la información vital sobre él podría comunicarse instantáneamente al hospital. Además, a los pacientes que no necesiten atención inmediata se les puede indicar que acudan al hospital en horas de menor afluencia o que concierten una cita con su médico de cabecera en su lugar, ayudando así a evitar aglomeraciones innecesarias en las salas de urgencias. En algunas economías en desarrollo, los drones ya están ayudando a superar las deficiencias de las redes de transporte mediante la entrega de asistencia y tratamientos médicos. Por ejemplo, durante la pandemia de COVID-19, una asociación público-privada entre UPS (proveedor de servicios postales), la *startup* Zipline y GAVI (organización intergubernamental cuyo objetivo es proporcionar vacunas para todos) entregaron vacunas en la región de Ashanti, al sur de Ghana. Los drones pueden recorrer hasta 69 km. con relativa rapidez y transportar vacunas sin necesidad de almacenamiento en frío para mantenerlas viables.

2.1.3. Mejorar el acceso a la educación

Las TDPG ya estaban transformando aspectos de la enseñanza. Pero el bloqueo mundial para contener la propagación de COVID-19 aceleró este proceso. Podría decirse que fue el mayor experimento educativo jamás realizado. El rápido paso de las aulas presenciales a las virtuales provocó cambios en la forma de enseñar de los profesores y de aprender de los alumnos. Los profesores tuvieron que inventar formas de reorganizar y crear contenidos para la experiencia del aula virtual que atrajeran a sus alumnos. Se están probando nuevas investigaciones en reconocimiento facial para indicar a los profesores cuándo los alumnos ya no escuchan, lo que les permite ajustar su enseñanza en consecuencia. Esta experimentación conducirá a una innovación continua para ofrecer una educación más personalizada. Al ofrecerse más cursos en línea, los estudiantes pueden elegir los que mejor se adaptan a su experiencia y necesidades de aprendizaje. El efecto debería ser también, en algunos casos, mejorar el acceso a sistemas educativos que, debido a las largas distancias que a veces hay que recorrer o al coste, no siempre estaban al alcance de todos. La

innovación digital también transformará lo que se enseña. La IA, la automatización y otras tecnologías dejarán obsoletas determinadas ocupaciones y darán lugar a otras nuevas. Estas nuevas ocupaciones requerirán diferentes conjuntos de competencias. Es probable que la mano de obra poco cualificada, consagrada a un trabajo repetitivo y rutinario, se vea desplazada por la automatización. En su lugar habrá una demanda de conjuntos de alta cualificación, con trabajadores cómodos con la IA y sus tecnologías relacionadas. Es probable que estos conjuntos de competencias incluyan capacidades analíticas, creativas y de adaptación, así como competencias blandas como el pensamiento crítico, la resolución de problemas, la gestión y el liderazgo (Trajtenberg, 2019).

2.2. Ventajas e inconvenientes de la nueva revolución

Como hemos visto, las TDPG están cambiando el rumbo de la innovación. El cambio continuará e incluso podría acelerarse, dada nuestra creciente dependencia de estas tecnologías y de la innovación que aportan. Pero los beneficios para el crecimiento económico no son automáticos.

Estas tecnologías pueden estimular el crecimiento económico cuando generan innovación que complementa y mejora la productividad humana. Pero corren el riesgo de empeorar la desigualdad económica cuando la innovación se limita a sustituir la necesidad de personas (Aghion et al., 2017; Brynjolfsson y McAfee, 2014). La automatización puede afectar a una gran parte de la población, posiblemente más que en el caso de las anteriores TPG (Trajtenberg, 2019). El aumento del desempleo agravaría la desigualdad. Incluso para aquellos gobiernos capaces de proporcionar redes de seguridad social a los desempleados, el aumento del desempleo podría seguir presionando los presupuestos y podría obligarles a reducir el gasto en áreas importantes como la educación y la sanidad.

Es posible que algunas economías en desarrollo no estén preparadas para beneficiarse de la Cuarta Revolución Industrial (Fu y Liu, 2022). La nueva ola de avances tecnológicos requiere grandes inversiones de capital y una mano de obra altamente cualificada. Pero las economías de renta baja se caracterizan por una oferta relativamente abundante de mano de obra poco cualificada y recursos limitados para la inversión de capital. Además, la falta de las infraestructuras necesarias podría limitar aún más los beneficios potenciales de las TDPG en las economías más pobres.

Como ya se ha señalado, las administraciones públicas podrían utilizar las abundantes cantidades de datos generados por las TDPG para generar importantes beneficios sociales, como la mejora de las infraestructuras públicas o el seguimiento del brote de enfermedades en las poblaciones.

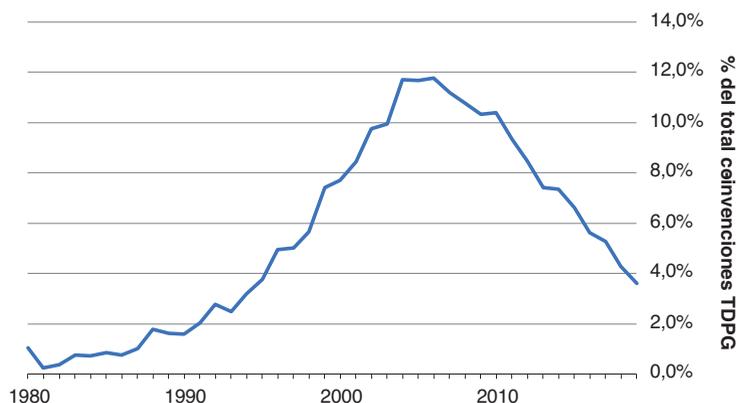
13. Véanse Dogan et al. (2021), Khan et al. (2021) y Vaishya et al. (2020).

Pero la mayoría de los datos están en manos de un puñado de grandes empresas tecnológicas. Estas empresas recopilan los datos a través de los servicios tecnológicos que prestan. Tomemos el ejemplo de las aplicaciones de localización. Un usuario que active una aplicación de localización en Malasia estará enviando información a servidores pertenecientes a empresas privadas con sede fuera del país. Los datos enviados incluirían la ubicación, la hora y el medio de transporte preferido por el usuario. Las agencias de transporte público y los epidemiólogos podrían utilizar los datos para ayudar a generar análisis que, en este caso, podrían beneficiar al público malasio. Sin embargo, es posible que no tengan acceso a la información, porque los datos se almacenan en servidores privados de otro país. No es de extrañar que el **Gráfico 5** muestra una participación muy baja de los solicitantes privados individuales en comparación con otras industrias. Esto indica que la infraestructura y las competencias mínimas necesarias pueden resultar un obstáculo para las empresas más pequeñas.

La seguridad nacional también preocupa en algunos países. La interconexión entre diferentes innovaciones tecnológicas digitales, con dispositivos que posiblemente proporcionen información sensible a terceros, pone en duda el grado de seguridad de las tecnologías. A los gobiernos les preocupa hasta qué punto las industrias y organismos altamente confidenciales, como los departamentos de defensa nacional, deberían confiar en ellas, dados los riesgos de piratería informática.

Los gobiernos pueden intentar dirigir la innovación digital y tecnológica de forma que se maximicen los beneficios sociales, salvaguardando al mismo tiempo los intereses del sector privado y de los mercados. Por ejemplo, los gobiernos podrían tratar de fomentar innovaciones que creen empleo o mejoren el bienestar en lugar de sustituir puestos de trabajo (Trajtenberg, 2019). Las tecnologías que mejoran el bienestar incluyen el uso de la tecnología de IA para generar subtítulos en directo y traducciones simultáneas que facilitan las transacciones comerciales, aumentan la productividad y generan crecimiento económico. Las innovaciones tecnológicas que sustituyen empleo podrían incluir la sustitución de mano de obra poco cualificada por robots, aunque las pruebas de que esto se traduce en pérdidas

Gráfico 7. Co-inventión internacional en solicitudes de patentes de TDPG, como porcentaje de todas las patentes de DGPT (1970-2020)



Fuente: OMPI (2023).

Nota: Los datos refieren a familias de patentes. Una patente puede referirse a más de una categoría. Las cifras de 2020 están truncadas.

de empleo a largo plazo distan mucho de ser concluyentes. Dos estudios sobre economías de renta alta concluyen que la adopción de robots industriales -máquinas relativamente automatizadas integradas en procesos industriales especializados- ha dado lugar a una mayor productividad.¹⁴ No está claro si estas conclusiones pueden extenderse a las economías más pobres, donde la proporción de mano de obra poco cualificada tiende a ser relativamente mayor.

Los gobiernos también pueden tener un papel importante en la privacidad de los datos, en particular a la hora de decidir qué tipo de información se recopila y cómo se utiliza. ¿Deberían los datos recogidos de individuos de distintas partes del mundo -aunque sean anónimos- ser propiedad de empresas privadas? ¿Podría utilizarse la información recopilada de forma que socavara la competencia en el mercado? Las autoridades antimonopolio del Reino Unido, la Unión Europea y Estados Unidos, entre otros, están investigando estas cuestiones.¹⁵

Los intereses de las empresas privadas pueden no coincidir con las necesidades de la sociedad. ¿Podría regularse el acceso a los datos de ciudadanos privados, recogidos mediante tecnologías de propiedad privada, de forma que se garanticen los beneficios sociales generalizados del aprovechamiento de las tecnologías digitales para la innovación, respetando al mismo tiempo la privacidad y la seguridad nacional? No hay respuestas ni soluciones obvias a esta pregunta. Pero la existencia de preocupaciones justifica en cierta medida la intervención de los gobiernos.

Sin embargo, la concentración en actores académicos y privados de gran talla, las preocupaciones por la seguridad nacional y las reservas en materia de privacidad dejan también un resultado preocupante. Desde 2010, se observa una fuerte disminución de la colaboración internacional en materia de tecnologías de digitalización. El **Gráfico**

14. Véanse Cockburn *et al.* (2019) y Graetz y Michaels (2018).

15. Véanse Espinoza (2021), Espinoza y Beioley (2021), Kalra (2021) y Song (2021). Los expedientes de los casos del Departamento de Justicia de Estados Unidos están disponibles en: <https://www.justice.gov/atr/case/us-and-plaintiff-states-v-google-llc>.

7 ilustra este patrón, en el que la proporción de co-inversiones internacionales en el total de co-inversiones en TDPG pasó de casi 12% a menos de 4% en poco más de una década.

CONCLUSIÓN: ¿PUEDEN LAS POLÍTICAS PÚBLICAS APROVECHAR LA INNOVACIÓN DIGITAL?

El caso de las TDPG muestra cómo ha cambiado y seguirá cambiando la dirección de la innovación. El proceso de innovación implica la interdependencia o interacción de las distintas partes interesadas en el ecosistema de la innovación. Los gobiernos pueden implicarse de diversas maneras, desde la financiación de la investigación hasta la imposición de normativas o el establecimiento de objetivos para cambiar el rumbo de la innovación en el auge de las TDPG.

Los gobiernos pueden querer influir en la dirección del cambio para maximizar los beneficios sociales. Cuando las necesidades de la sociedad y las metas de las empresas no están alineadas, los gobiernos pueden, y probablemente deben, intervenir. Este es el caso, en particular, cuando los beneficios sociales de satisfacer las necesidades de la sociedad -para contener la contaminación, por ejemplo- superan con creces los beneficios privados de seguir como hasta ahora. En el caso de las tecnologías digitales, los gobiernos pueden tratar de evitar o mitigar los impactos potencialmente negativos, especialmente cuando el aumento del uso de la inteligencia artificial, por ejemplo, puede conducir a un aumento considerable del desempleo, o cuando puede haber problemas de privacidad de datos, competencia o seguridad nacional.

Debido a la competencia en el mercado, las empresas tienden a invertir en actividades de innovación que produzcan los mayores beneficios en el menor tiempo posible. Las empresas establecidas evitan las actividades de innovación que son arriesgadas e inciertas. Los gobiernos pueden tener que reaccionar ante las crisis con programas o iniciativas.

La política gubernamental puede marcar la dirección de la innovación hacia la digitalización a corto y medio plazo alineando los incentivos a la innovación privada con las necesidades de la sociedad. Esto puede lograrse de dos maneras principales y complementarias.

En primer lugar, mediante la aplicación de políticas que regulen las nuevas tecnologías, especialmente las TDPG, los gobiernos pueden moldear la innovación y la adopción de nuevas tecnologías. Algunos ejemplos son la gobernanza de datos, la competencia e incluso las políticas de propiedad intelectual. Sin embargo, hay que encontrar un equilibrio entre facilitar la innovación, promover la

competencia y proteger los derechos de privacidad. Los gobiernos pueden imponer normas y reglamentos que impulsen al sector privado a invertir en determinados tipos de innovación. En el caso de las nuevas tecnologías digitales, los gobiernos pueden regular el uso de los datos recogidos de los usuarios. Las Normas Generales de Protección de Datos (GDPR) de la Unión Europea están diseñadas para evitar el uso indebido de la información de ciudadanos particulares, por ejemplo, con fines de marketing comercial o para el seguimiento no autorizado de los movimientos de un usuario. Las políticas de protección de la propiedad intelectual definen qué TDPG pueden patentarse o no, o más bien lo hacen hasta cierto punto. La IA puede generar nuevas invenciones. Sin embargo, en muchas jurisdicciones, las patentes solo pueden aplicarse a invenciones realizadas por humanos. Aquellas creadas por sofisticados algoritmos informáticos no son pasibles de obtener derechos de patentes.¹⁶ La innovación generada por la IA puede tener que recurrir a otros instrumentos de propiedad intelectual, como los secretos comerciales, para garantizar la protección contra la imitación.

En segundo lugar, los gobiernos han dado y siguen dando forma a la innovación de las TDPG financiando la educación, la sanidad, las infraestructuras y otros bienes públicos. Por ejemplo, las TDPG ofrecen una importante oportunidad para mejorar los resultados de la educación y la sanidad. Las inversiones estatales en tecnologías e infraestructuras habilitadoras y complementarias pueden facilitar la adopción de innovaciones en campos críticos, como la digitalización. También sugieren cómo las políticas públicas pueden orientar la innovación en la dirección que mejor responda a las necesidades de las sociedades.

La dirección de la innovación importa, porque los recursos para invertir en innovación son escasos. Los responsables políticos deben centrarse no solo en cuánto se invierte en las TDPG, sino también en qué áreas complementarias. Los responsables políticos tienen una influencia limitada sobre la dirección a largo plazo de la innovación, porque las oportunidades tecnológicas derivadas de las TDPG son, a largo plazo, impredecibles. Sin embargo, a través de la financiación de la ciencia básica y la regulación, los gobiernos desempeñan un papel crucial a la hora de posibilitar avances científicos y tecnológicos que configuran la futura dirección de la innovación digital (aunque sea de forma incierta e impredecible).

16. La Conversación de la OMPI sobre Propiedad Intelectual y Tecnologías de Frontera ofrece un foro para debatir estas cuestiones.

BIBLIOGRAFÍA

Aghion, P., Jones, B. F. & Jones, C. I. (2017). Inteligencia artificial y crecimiento económico. Working Paper Series n° 23928. Cambridge: Oficina Nacional de Investigación Económica. DOI: <https://doi.org/10.3386/w23928>.

Bigliardi, B., Bottani, E. & Casella, G. (2020). Tecnologías facilitadoras, áreas de aplicación e impacto de la industria 4.0: Un análisis bibliográfico. Conferencia internacional sobre industria 4.0 y fabricación inteligente (ISM 2019), *Procedia Manufacturing*, 42, 322-326. DOI: <https://doi.org/10/gmqb4p>.

Bonvillian, W. B., Atta, R. V. & Windham, P. (2019). El modelo DARPA para las tecnologías transformadoras: Perspectivas sobre la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de Defensa de Estados Unidos. Open Book Publishers.

Bresnahan, T. F. & Trajtenberg, M. (1995). Tecnologías de propósito general: ¿"Motores de crecimiento"? *Quarterly Journal of Economics*, 65, 83-108. DOI: <https://doi.org/10/fgvj5w>.

Brynjolfsson, E. & McAfee, A. (2014). La segunda era de las máquinas: trabajo, progreso y prosperidad en una época de tecnologías brillantes. Nueva York: Norton & Company.

Brynjolfsson, E., Hui, X. & Liu, M. (2018). ¿Afecta la traducción automática al comercio internacional? Evidence from a Large Digital Platform. Working Paper Series n° 24917. Cambridge: Oficina Nacional de Investigación Económica. DOI: <https://doi.org/10.3386/w24917>.

Brynjolfsson, E., Rock, D. & Syverson, C. (2017). La inteligencia artificial y la paradoja de la productividad moderna: un choque de expectativas y estadísticas. Working Paper Series n° 24001. Cambridge: Oficina Nacional de Investigación Económica. DOI: <https://doi.org/10.3386/w24001>.

Cockburn, I. M., Henderson, R. & Stern, S. (2019). El impacto de la inteligencia artificial en la innovación: Un análisis exploratorio. En A. Agrawal, J. Gans y A. Goldfarb (Eds), *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda* (115-146). Chicago: University of Chicago Press.

Dogan, O., Tiwari, S., Jabbar, M. A. & Guggari, S. (2021). A systematic review on AI/ML approaches against COVID-19 outbreak. *Complex & Intelligent Systems*, 7, 2655-2678. DOI: <https://doi.org/10/gnqxs2>.

Espinoza, J. (2021). EU lawmakers agree on rules to target Big Tech. *Financial Times*. Recuperado de: <https://www.ft.com/content/045346cf-c28a-4f6f-9dce-4f8426129bf9>.

Espinoza, J. & K. Beioley (2021). UK competition regulator plans probe into Amazon's use of data. *Financial Times*. Recuperado de: <https://www.ft.com/content/e169cee6-880d-4b8d-acf7-32c2f774f852>.

Foray, D., Mowery, D. C. & Nelson, R. R. (2012). I+D pública y retos sociales: ¿qué lecciones de los programas de I+D de las misiones? *Política de investigación*, 41(10), 1697-1702. DOI: <https://doi.org/10/gfdcf>.

Fu, X. & L. Shi (2022). Dirección de la innovación en los países en desarrollo y sus fuerzas motrices. Serie de documentos de trabajo de investigación económica de la OMPI n° 69. Ginebra: Informe Mundial sobre la Propiedad Intelectual.

Geradin, D. (2018). ¿Qué debería hacer la política de competencia de la UE para abordar las preocupaciones planteadas por el poder de mercado de las plataformas digitales? Documento de debate TILEC n° 2018-041. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3299910>.

Graetz, G. & Michaels, G. (2018). Robots en el trabajo. *The Review of Economics and Statistics*, 100, 753-768. DOI: <https://doi.org/10/ggfw8r>.

Hinings, B., Gegenhuber, T. & Greenwood, R. (2018). Innovación y transformación digital: Una perspectiva institucional. *Información y organización*, 28, 52-61. DOI: <https://doi.org/10/gdhskm>.

Kalra, A. (2021). Amazon documents reveal company's strategy to dodge India's regulators. *Reuters*. Recuperado de: <https://www.reuters.com/investigates/special-report/amazon-india-operation>.

Khan, M., Mehran, M. T., Haq, Z. U., Ullah, Z., Naqvi, S. R., Ihsan, M. & Abbass, H. (2021). Aplicaciones de la inteligencia artificial en la pandemia COVID-19: A comprehensive review. *Sistemas expertos con aplicaciones*, 185, 115695. DOI: <https://doi.org/10/gnqxs3>.

Kudumala, A., Ressler, D. & Miranda, W. (2021). Scaling up AI across the life sciences value chain. *Deloitte Insights*. Deloitte. Recuperado de: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/life-sciences/ai-and-pharma.html>.

Martinelli, A., Mina, A. & Moggi, M. (2021). The enabling technologies of industry 4.0: examining the seeds of the fourth industrial revolution. *Industrial and Corporate Change*, 30, 161-188. DOI: <https://doi.org/10/gjsgcj>.

McCarthy, J., Minsky, M., Rochester, N. & Shannon, C. (2006). Una propuesta para el proyecto de investigación de verano de Dartmouth sobre inteligencia artificial. *AI Magazine*, 27(4), 12. DOI: <https://doi.org/10.1609/aimag.v27i4.1904>.

Mowery, D. C., Nelson, R. R. & Martin, B. R. (2010). Política tecnológica y calentamiento global: Why new policy models are needed (or why putting new wine in old bottles won't work). *Research Policy*, 39, 1011-1023. DOI: <https://doi.org/10/bqjwxh>.

Schwab, K. (2016). La cuarta revolución industrial: Qué significa y cómo responder. *Foro Económico Mundial*. Recuperado de: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond>. Consultado el 12/10/2021.

Song, J. (2021). Multa de 177 millones de dólares a Google en Corea del Sur por abuso de posición dominante en el mercado. *Financial Times*. Recuperado de: <https://www.ft.com/content/fbd758b2-9f99-4d60-a76b-82eeb5985542>.

Trajtenberg, M. (2019). La inteligencia artificial como el próximo GPT: A Political-Economy Perspective. En A. Agrawal, J. Gans & A. Goldfarb (eds), *The Economics of Artificial Intelligence* (175-186). Chicago: University of Chicago Press. DOI: <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226613475.003.0006>.

Vaishya, R., Javaid, M., Khan, I. H. & Haleem, A. (2020). Aplicaciones de la inteligencia artificial (IA) a la pandemia COVID-19. *Diabetes Metabolic Syndrome: Clinical Research and Reviews*, 14, 337-339. DOI: <https://doi.org/10/ggvfcf>.

OMPI (2015). Informe mundial sobre la propiedad intelectual 2015: Innovación rompedora y crecimiento económico. Ginebra: Organización Mundial de la Propiedad Intelectual. Recuperado de: <https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=3995>.

OMPI (2019a). Informe mundial sobre la propiedad intelectual 2019: La geografía de la innovación: Global Hotspots, Local Networks, Informe mundial sobre la propiedad intelectual. Ginebra: OMPI. Recuperado de: <https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4467>.

OMPI (2019b). Tendencias tecnológicas de la OMPI 2019: Inteligencia artificial, Tendencias tecnológicas de la OMPI. Ginebra: OMPI. Disponible en: <https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4386>.

OMPI (2022). Informe Mundial sobre la Propiedad Intelectual 2022: La dirección de la innovación, Informe Mundial sobre la Propiedad Intelectual. Ginebra: OMPI.

Yilmazkuday, H. (2021). Changes in consumption in the early COVID-19 era: Zip-code Level evidence from the U.S. *Journal of Risk and Financial Management*. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3658518>.

2.3. LOS CUATRO DESAFÍOS EDUCATIVOS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

AXEL RIVAS *

INTRODUCCIÓN

La irrupción desde noviembre de 2022 de nuevos modelos de inteligencia artificial (IA) generativa ha generado una revolución mundial que apenas comienza. Los sistemas de procesamiento de lenguaje natural, como ChatGPT, son ahora muy eficaces en producir textos coherentes que imitan las capacidades de razonamiento humano. Estos desarrollos se están multiplicando de manera exponencial. Diversos modelos de *software* de IA pueden producir textos, imágenes, presentaciones, videos y diseñar en múltiples lenguajes de programación. Muchas de las habilidades específicas de los humanos están siendo modificadas, reemplazadas o complementadas por las máquinas.

En este escenario nos preguntamos sobre la educación. ¿Cómo afecta la IA lo que pasa en las escuelas y universidades? ¿Qué implicancias tiene para el aprendizaje, la enseñanza, el valor del conocimiento, el trabajo y la identidad de los sujetos? ¿Cómo puede ser aprovechada esta enorme potencia tecnológica para repensar los sistemas educativos y generar más equidad en los aprendizajes?

Estas preguntas son abordadas aquí de una manera introductoria y esquemática. El capítulo se propone recorrer cuatro grandes desafíos que presenta el desarrollo de la IA en la educación. El primero refiere al currículum y a lo que deberíamos enseñar en las escuelas para vivir en un mundo atravesado por la IA y el cambio constante. El segundo desafío habla de la docencia y las posibilidades de aprovechar nuevas herramientas basada en la IA para

la enseñanza. El tercer desafío es complementario a los anteriores y se centra en la política pública y en los debates sobre el rol del Estado en un campo tecnológico dominado por el avance imparable del sector privado. El cuarto, finalmente, aborda la gran polémica de la honestidad intelectual en el aprendizaje y el riesgo del plagio con máquinas inteligentes.

DESAFÍO 1: ¿QUÉ HAY QUE APRENDER HOY?

El mundo que vivimos cambia aceleradamente. Estos cambios tienen efectos muy concretos y a la vez inciertos en lo que los alumnos deberían aprender. El primer desafío educativo que presenta el crecimiento exponencial de la IA refiere a la dimensión curricular: ¿qué hay que aprender para vivir en el futuro?

Esta pregunta toma dos grandes direcciones. La primera refiere a las maneras en las cuales la IA está cambiando la construcción de las ideas, formas de ver el mundo e identidades. Es decir, lo que en términos amplios podemos llamar el campo de la cultura y la ciudadanía. La segunda refiere al impacto de la IA en el campo laboral y la formación de habilidades específicas para el mundo del trabajo.

Comencemos por la primera gran cuestión del cambio que se produce en las identidades y que tiene profundas consecuencias en la vida democrática. Hemos entrado desde hace pocos años en una etapa nueva donde el avance de la IA se combina con un ecosistema digital que consume cada vez más minutos de atención.

53

* Director de la Escuela de Educación de la Universidad de San Andrés, Argentina.

Nuestros alumnos -con diferencias importantes según sus contextos socioeconómicos- pasan buena parte de sus horas fuera de la escuela y dentro de las redes, inmersos en las pantallas. Sus identidades están siendo constantemente bombardeadas por las reglas de los algoritmos. Esto produce riesgos en la sobrecarga de ciertos consumos que son reforzados por la lógica en burbuja de los algoritmos: las ideas tienden a polarizarse y alejarse unas de otras, restando espacio a la conversación, la diversidad y el cambio de opinión en base al razonamiento crítico (Farkas y Schou, 2019). Es la paradoja de la democracia en las redes: parece ser el tiempo de mayor apertura a través del acceso que brinda internet a la información, pero ese consumo se encierra en compartimentos estancos altamente manipulables por intereses políticos, ideológicos o comerciales.

La IA generativa está logrando aumentar ese poder de manipulación borrando los límites entre lo verdadero y lo falso, entre lo real y lo artificial. Por ejemplo, cada vez resulta más difícil sino imposible distinguir si una imagen corresponde a una persona real o si fue enteramente creada por la IA. Esto se traslada a en múltiples lenguajes y contextos: no sabemos si lo que leemos, vemos o escuchamos es verídico o simulado, modificado o creado artificialmente.

Un ejemplo nuevo aparece con los modelos de lenguaje masivo con IA, con el ejemplo de ChatGPT como el más conocido. Las reglas de creación de contenido en este sistema de lenguaje natural siguen patrones de predicción de las palabras más utilizadas para referir a ciertos temas en una compleja red neuronal no controlada. Es una caja negra de producción de mensajes verosímiles, pero no verdaderos. No solo no tienen la construcción de rigurosidad de una fuente formal calificada en la temática, sino que ni siquiera se sabe cómo están elaborados ni puede ser recreada la lógica intrínseca de sus algoritmos. Son mensajes que salen de una caja negra.

Estos sistemas también tienen diversos sesgos que provienen del universo más extendido de palabras que existen en internet. Distintos estudios muestran cómo son afectadas negativamente las voces de las minorías y las culturas más alejadas del mundo digital, así como los idiomas no predominantes (Bender *et al.*, 2021).

Estas transformaciones en la manera de reelaborar la cultura que produce la IA requieren una formación especializada en educación digital para el consumo crítico y la formación ciudadana. Esta tarea resulta un gran desafío para los sistemas educativos: para formar ciudadanos que puedan participar de la esfera pública y de los debates democráticos, es necesario desarrollar habilidades nuevas que entiendan este entorno digital dinámico y permitan una mirada crítica atenta a las constantes manipulaciones.

La segunda dirección de los cambios que se están produciendo con la expansión acelerada de la IA refieren al mundo del trabajo. Desde el inicio de la cuarta revolución industrial (Rifkin, 1996) distintos estudios indican que el futuro del trabajo está signado por el cambio constante,

la digitalización y la automatización de múltiples tareas realizadas por humanos (Kaplan, 2015; World Economic Forum, 2023).

El avance más reciente de la IA generativa está cambiando también el diagnóstico sobre las habilidades más requeridas en el futuro. Tareas intelectuales que se estimaba eran propiedad de los humanos pasan a ser cada día más el territorio potencial de las máquinas. Las máquinas son capaces de resolver múltiples problemas, responder de forma personalizada, conversacional creativa y original, diseñar contenidos y muchas otras tareas que se pensaban hasta hace poco tiempo como propiedad exclusiva de la cognición humana.

¿Qué implicancias tiene el cambio tecnológico que estamos viviendo (y que apenas comienza) en la definición del currículum? La gran incertidumbre de estos procesos deja abierto un margen de adecuación constante pero también tres certezas:

1. Es clave fortalecer la enseñanza de habilidades y conocimientos transferibles, es decir, que puedan ser utilizados en situaciones nuevas y cambiantes. La prueba PISA de la OECD es un ejemplo muy claro en esta dirección, ya que pone el foco en medir competencias que se utilizan de diversas formas en distintos contextos.
2. La alfabetización digital pasa a ser cada vez más importante para el mercado laboral: es necesario fortalecer la formación de habilidades que permitan interactuar con el mundo digital, la programación, la robótica y la IA. Esto se combina con las habilidades de pensamiento crítico sobre el consumo digital mencionadas antes, pero en este caso con un enfoque más pragmático y aplicado a la formación de habilidades laborales adaptativas. Esta temática es especialmente crítica en los diagnósticos curriculares de la región. Una reciente sistematización de normativas nacionales de todo el mundo sobre la temática indica que América Latina y el Caribe es la más rezagada en la definición de estándares nacionales para competencias digitales, con solo el 24% de los países (UNESCO, 2023).
3. La capacidad de aprender a aprender pasa a ser cada día más determinante en entornos de cambio constante. Esto implica desarrollar habilidades metacognitivas, reflexionar sobre el propio conocimiento y aprender estrategias de aprendizaje. (Ritchhart, Church y Morrison 2011).

Estas nuevas y viejas habilidades son parte de una agenda de discusión en todo el mundo. En América Latina algunos países han avanzado en cambios curriculares y otros los están debatiendo en estos momentos (Mateo Díaz y Rhys Lim, 2022). El debate requiere un marco profundo de discusión sobre la manera en la cual se piensan tanto los diseños como su implementación real en los sistemas educativos. La complejidad se ensancha al requerir

nuevos perfiles docentes a escala masiva o para repensar la organización escolar y hacer espacio para nuevos enfoques disciplinares.

DESAFÍO 2: ENSEÑAR APROVECHANDO LA IA

El segundo desafío se relaciona con las posibles adaptaciones de la IA en la enseñanza. Existen algunos temores y amenazas de la IA reemplazando a los docentes que recorren el mundo de la innovación tecnológica de forma recurrente (Selwin, 2019). Pero quizás la gran pregunta no es sobre el reemplazo sino sobre la colaboración entre máquinas y humanos. ¿Cómo puede ser aprovechada hoy la aparición de nuevos sistemas de procesamiento de lenguaje natural y *chatbots* en la enseñanza de carne y hueso?

El primer paso es tomar la decisión de hacerse preguntas, indagar, explorar y probar. Solo así se puede acompañar a los alumnos en un proceso de diálogo formativo sobre las nuevas herramientas (Ferrarelli, 2023; Mehta, 2023). Las nuevas herramientas de IA que utilizan lenguaje natural, como ChatGPT, Bing o Perplexity, se comprenden únicamente probando sus posibilidades, sus límites, sus errores y su lógica interna. Es tiempo de navegar y elaborar *prompts* para aprender cómo funciona la IA generativa.

Una primera fuente de oportunidad para la docencia es utilizar estas nuevas herramientas para potenciar la planificación didáctica. Los motores de IA pueden brindar nuevas ideas, ejemplos y propuestas para planificar una clase, elaborar un proyecto o una propuesta de trabajo. Son muy útiles para generar lluvias de ideas y muy específicos cuando se les solicita que adecuen un tema curricular a una edad o contexto.

Una segunda oportunidad para la enseñanza es el uso de la IA para evaluación y retroalimentación de los trabajos elaborados por los estudiantes. Nuevamente aquí se puede utilizar alguno de los sistemas de IA especializados en la evaluación de textos que asista al docente en la corrección. Esta tarea de asistente de corrección puede ayudar a ahorrar mucho tiempo de trabajo y aportar sugerencias valiosas para los estudiantes. Desde luego requiere completa supervisión docente, ya que existe un amplio margen de error en muchas tareas de corrección y la responsabilidad ética y profesional debe estar en manos de los docentes (Feathers, 2019).

Los sistemas automáticos de corrección escrita (AWE, por su denominación en inglés: *Automated Writing Evaluation*), utilizan el procesamiento del lenguaje natural para brindar retroalimentación a los estudiantes. Algunos sistemas funcionan dentro de plataformas de enseñanza para ayudar directamente a los alumnos a desarrollar competencias de escritura con retroalimentación inmediata (por ejemplo, *Write To Learn*) o en ejercicios de matemática que reciben corrección automática.

Un tercer camino para aprovechar la IA en la enseñanza es más incipiente, pero tiene un gran potencial futuro: se trata de los sistemas inteligentes de tutoría que pueden convertirse en asistentes de los docentes. Desde hace varios años se conocen distintos sistemas de tutoría inteligente (ITS, por su denominación en inglés, *Intelligent Tutoring Systems*), que brindan caminos de aprendizaje a los alumnos mediante algoritmos que reúnen una gran cantidad de información sobre actividades probadas en entornos digitales. Estos modelos tienen grandes limitaciones. Sin embargo, la aparición más reciente de los sistemas dialógicos de tutoría inteligente (DBTS, *Dialogue-Based Tutoring Systems*) puede ser una oportunidad futura para repensar el trabajo docente.

El lanzamiento de la versión beta del sistema “Khanmigo” de la Academia Khan¹ es la mejor prueba del potencial que tienen estos nuevos sistemas basados en los desarrollos de Open AI (la misma empresa que lanzó el mentado ChatGPT). La Academia Khan es una de las mayores plataformas de contenidos educativos de Estados Unidos. Se trata de una empresa filantrópica gratuita para los estudiantes y docentes que ofrece distintos recursos digitales educativos. El lanzamiento del nuevo chat basado en IA es asombroso: permite que los alumnos refuercen su aprendizaje con un tutor inteligente.

Estos nuevos lanzamientos abren las puertas para repensar la enseñanza. Los docentes pueden aprovechar la asistencia de un tutor inteligente para enviar actividades a los alumnos sin abandonarlos a la asistencia que tengan de parte de sus familias en el hogar y sin depender de un tutor humano que no siempre está disponible o es muy costoso para ayudarlos a aprender.

Esta posibilidad tiene mucho camino por recorrer, comenzando por afrontar las enormes desigualdades que tienen los alumnos y escuelas en América Latina. Por eso es tan importante el rol de la política pública para generar condiciones más equitativas y sistémicas de uso de la IA en educación.

DESAFÍO 3: LA IA PARA POTENCIAR APRENDIZAJES Y REDUCIR DESIGUALDADES DESDE LAS POLÍTICAS PÚBLICAS

El último informe GEM de la UNESCO se centró en el análisis del potencial de la tecnología para garantizar el cumplimiento del ODS4 para el año 2030. El informe plantea desde su título los dilemas que presenta el enorme potencial de la aceleración tecnológica: “¿Una herramienta en qué términos?” (UNESCO, 2023).

La pregunta no es casual. El campo de la tecnología educativa tiene un amplio desarrollo privado comercial que moviliza un inmenso mercado internacional de negocios. Las plataformas de enseñanza adaptativa, que se basan

1. Véase: <https://www.khanacademy.org/khan-labs>.

en la inteligencia artificial, son una rama del aprendizaje digital en expansión. Algunos ejemplos destacados son DreamBox, Cerego, Smart Sparrow o Knowre. Estos sistemas utilizan los macrodatos del consumo educativo de millones de estudiantes para adaptar el aprendizaje y generar contenidos digitales personalizados. Otras plataformas globales, como Duolingo o Khan Academy, están incorporando los nuevos desarrollos de la IA generativa a sus sistemas digitales de aprendizaje. Estas plataformas integran “sistemas cognitivos” que permiten aprender a gran escala de datos e interactuar con los humanos de forma natural (King *et al.*, 2016).

Frente a la velocidad de la innovación tecnológica y el negocio privado que representa, ¿cuál es el rol del Estado? ¿Cómo puede aprovecharse el avance de la IA para mejorar la calidad de los aprendizajes y reducir las desigualdades? ¿Cómo se puede, al mismo tiempo, repensar el rumbo de los sistemas educativos, construir una visión humana de la tecnología y controlar los riesgos comerciales y éticos que hay en juego?

Estas preguntas sintetizan el tercer desafío de la IA en la educación, que refiere al rol de las políticas públicas. En este desafío es imperativo comenzar por un breve mapa de las desigualdades estructurales de la región. Los datos más recientes indican que en América Latina y el Caribe, el 61% de las escuelas primarias y el 73% de las escuelas que ofrecen secundaria alta tienen acceso a computadoras para fines pedagógicos; mientras que el 43% de las primarias y el 70% de las secundarias acceden a internet con esos fines (CEPAL, 2022). La gran excepción en este panorama es el caso de Uruguay que logró una conectividad universal en sus escuelas a partir del Plan Ceibal (UNESCO, 2016).

Además de las desigualdades en el sistema educativo, los datos de CEPAL para 2021 indican que casi la mitad de la población (49%) no accede a internet en sus hogares. Esta cifra se eleva al 69% para el quintil de menores ingresos (CEPAL, 2022). La situación de las desigualdades estructurales requiere una mayor intervención estatal para garantizar el acceso universal a internet como un derecho humano (CEPAL, 2020).

No se trata solamente de conectividad, ese es apenas el primer paso, que todavía estamos muy lejos de conseguir. En un proceso de cambios tan acelerados, es importante tener una visión integral del rol de la tecnología en la educación, tal como plantea la coalición “Transformación Digital Colaborativa” (Digital Transformation Collaborative [DTC]).² En el reciente informe “Directrices para la formulación de políticas y planes maestros de TIC en educación”, la UNESCO presenta una serie de principios que establecen una toma de postura frente a la temática: 1) evitar el solucionismo tecnológico; 2) proteger el bienestar de docentes y estudiantes; 3) reducir y neutralizar la huella digital de emisión de carbono; 4) considerar principios

humanistas en la inclusión digital; 5) incluir distintas voces y culturas; y 6) garantizar privacidad de datos y ciberseguridad (UNESCO, 2023).

Ya en el terreno específico de la IA, el Consenso de Beijing (UNESCO, 2019) definió la importancia de regular el uso de la IA como bien común de manera inclusiva y equitativa para potenciar los aprendizajes y a los docentes. Esto implica desarrollar una estrategia integral en cada país que pueda abordar los múltiples desafíos de traducir los avances de la IA en el terreno educativo.

La capacidad de planificación e innovación estatal son requisitos centrales para poder participar de estas dinámicas. Esto resulta un desafío central para los contextos políticos de la región, signados por la inestabilidad, la polarización y la escasez de recursos. ¿Cómo desarrollar una agencia estatal digital que combine el estado del arte de la IA con los desafíos educativos? ¿Cómo crear las condiciones para atraer a especialistas del campo tecnológico y educativo para trabajar en políticas públicas innovadoras con visión de equidad y largo plazo?

La primera respuesta a esta pregunta la tiene el caso del Plan Ceibal en Uruguay, que se ha convertido en un ejemplo a nivel mundial de desarrollo público de una agencia de tecnología educativa vanguardista. Allí existen distintas iniciativas conectadas con la IA. En particular, la Plataforma Adaptativa de Matemática (PAM) es un sistema de corrección automática que permite a los alumnos avanzar más rápido y a los docentes les brinda más tiempo para utilizar en cuestiones sustantivas. Esta plataforma fue desarrollada en alianza con los docentes, que elaboran los ítems de la evaluación. La creación de una red de interacción con el sistema educativo es un camino fundamental para no generar nuevas tensiones y brechas entre los docentes y la tecnología.

La adaptación de la IA a la gestión educativa ofrece también grandes posibilidades en el terreno del uso de la información para la toma de decisiones. Varios países han avanzado recientemente en la creación de sistemas de gestión de alertas tempranas para el seguimiento digitalizado de las trayectorias educativas. Incluso en algunos casos se comienza a explorar el uso de la IA para identificar las causas del abandono escolar y otras problemáticas estructurales que generan una gran cantidad de datos para ser analizados (BID, 2021).

Pero todavía es mayor el potencial en relación con la enseñanza y el aprendizaje. Las nuevas posibilidades introducidas en el desafío anterior pueden ser pensadas a escala sistémica desde las políticas públicas. En los años recientes han avanzado en distintos países las plataformas públicas de apoyo a la enseñanza, contenidos educativos digitalizados y recorridos de aprendizaje (Cobo y Rivas, 2023). Estas plataformas pueden tener un nuevo

2. Véase: <https://www.unesco.org/en/global-education-coalition/digital-transformation-collaborative>.

capítulo con la introducción de la IA para desarrollar tutorías dialógicas inteligentes, evaluación de ensayos con corrección automática, aprendizaje de lenguas extranjeras con IA, ambientes colaborativos y redes de aprendizaje mediados por IA (UNESCO, 2021).

DESAFÍO 4: EVITAR EL PLAGIO DE LOS ESTUDIANTES

Queda para el final un tema que ha generado inevitable repercusión y polémica al calor del avance de la IA generativa basada en procesamiento del lenguaje natural: la posibilidad de plagio por parte de los estudiantes ante las tareas que implican consignas de escritura autónoma. Estudios recientes han demostrado que los nuevos sistemas de IA son capaces de aprobar evaluaciones de distintas asignaturas y niveles educativos (Santamaría, 2023, citado en Ferrarelli, 2023). Apenas en el curso de unos meses el crecimiento de las capacidades de imitación del lenguaje humano es extraordinario y en los próximos años esto se perfeccionará hasta hacer casi indistinguible si la producción escrita (pero también en otros lenguajes como la programación, las artes, los lenguajes visuales, etc.) fue elaborada por un alumno o por una máquina.

Los docentes encuentran un nuevo desafío que en muchos casos se suma a numerosos temas que deben atender con escasos recursos y tiempo. ¿Qué hacer entonces? ¿Hay que prohibir el uso de ChatGPT y otros sistemas similares? ¿Es posible? ¿Hay que volver a las evaluaciones presenciales como dispositivo de control?

Existen distintas estrategias que pueden atenuar el riesgo de plagio. Una de ellas es, efectivamente, tomar pruebas presenciales. Sin embargo, cabe aclarar que estas pruebas pueden representar una pérdida significativa con respecto a las evaluaciones que dan tiempo autónomo de trabajo a los alumnos. Por ejemplo, los estudiantes pueden desarrollar una composición escrita en varios pasos, investigando, recopilando información y generando un proceso de escritura más natural no forzado por el corto plazo supervisado de una prueba escrita.

La mejor forma de sortear el dilema es a través de evaluaciones formativas, que van generando información sucesiva sobre el aprendizaje de los alumnos y hacen muy difícil el plagio a partir de la partición en un proceso constante de iteración entre los estudiantes y sus docentes (Anijovich y Cappelletti, 2017). Este proceso permite un conocimiento más personal de los avances en el aprendizaje y se combina con el uso de la evaluación para la retroalimentación formativa. El problema que se presenta en la evaluación formativa es que en muchos casos los docentes no tienen tiempo (o tienen muchos grupos de alumnos) para realizar esta tarea.

De todas formas, para afrontar este cuarto desafío creo que es importante realizar dos distinciones que pueden ayudar a clarificar el mapa para la acción. La primera es la distinción

entre el uso experto y el uso novato de los sistemas de IA generativa que procesan el lenguaje. Una forma concreta de ver esa diferencia retoma la recomendación del Desafío 2, referida al uso de la IA para la planificación de actividades didácticas. Un docente es un experto en la enseñanza de su área curricular. Por lo tanto, puede consultar a ChatGPT para pedirle ideas sobre cómo preparar una clase. Desde su saber experto puede distinguir qué le sirve y qué no, qué es correcto del contenido y qué no. Puede, en definitiva, tomar decisiones informadas.

En cambio, un alumno que no conoce del tema está ciego ante las respuestas. No sabe distinguir lo que el motor de IA le ofrece. Además, por su propia condición de alumno no solo es un novato sino a la vez un aprendiz. Por lo tanto, el camino que recorre es de aprendizaje, no de reproducción (mecánica o profesional). Si no realiza la tarea por sí mismo estará perdiendo procesos vitales de aprendizaje.

Un ejemplo bien concreto es el proceso de escritura. Si el alumno no logra consolidar la escritura por sí mismo, no podrá aprovechar lo que brinda esta habilidad cognitiva: la capacidad de distanciamiento, abstracción y reconstrucción de la realidad por medio del lenguaje escrito. Este proceso complejo tiene múltiples consecuencias sobre la capacidad de razonamiento, elaboración de ideas, expresión y comunicación. El reemplazo de esta actividad por vía de un sistema de IA daña la capacidad del alumno de desarrollar esas habilidades tan vitales por sí mismo. Por eso es tan importante distinguir el uso de un experto y de un novato/aprendiz.

La segunda distinción fundamental es la referida al valor que tiene el aprendizaje para los alumnos y separa las motivaciones intrínsecas y extrínsecas. Esta distinción clásica de las teorías psicológicas de la motivación del aprendizaje (OCDE, OIE-UNESCO, UNICEF, 2016) se vuelve central en el manejo de la IA para la realización de tareas escolares (y también en el nivel educativo universitario). La tentación de la copia y el plagio usando la IA crece a medida que las tareas solicitadas por la escuela no generan sentido o motivación intrínseca en los estudiantes.

Entonces el desafío pasa a ser no tan novedoso: se trata de potenciar la enseñanza para la comprensión y no para la reproducción mecánica de conocimientos en exámenes. El trabajo de la enseñanza consiste en provocar sentimientos de valor, disfrute y sentido en el aprendizaje (Tishman, Perkins y Jay, 1994). Una enseñanza basada en el sentido completo del recorrido de aprendizaje, que promueva puentes entre el esfuerzo por aprender y el sentido, los usos y las aplicaciones de lo aprendido. Una enseñanza basada en proyectos, en problemas reales, en la producción de conocimiento auténtico que atrape más al estudiante, que lo vincule con su vida, sus preguntas, su comunidad y le permita crear un proyecto futuro (Egan 2011; Rubin y Sanford 2018). Una enseñanza más colaborativa, interdisciplinaria, centrada en contenidos y capacidades que se multiplican y ramifican (Swartz *et al.*, 2013).

UNA MIRADA AL PRESENTE

La IA despegó en un tiempo paradójico. Los sistemas educativos de América Latina atraviesan incontables dificultades. La vida en las aulas está condicionada por problemas de infraestructura; falta de recursos educativos, incluyendo las computadoras y la conectividad; problemas pedagógicos que requieren un gran trabajo desde la formación inicial y continua; bajos salarios docentes y baja valoración social de la profesión, entre tantas otras cuestiones. La vida fuera de las aulas es todavía más dura, en contextos donde la pobreza alcanza a gran parte de la población y las desigualdades siguen signando el mayor desafío que tiene la región.

Hablar de innovación, cambio y uso de la IA para la educación parece una quimera. Ante tantas urgencias parece un tema de las elites o de los futurólogos que no pisan un aula. Sin embargo, esto depende de los enfoques desde los cuales situar la mirada. La IA puede ser una fuente de inclusión y justicia educativa si logra llegar a todos (y especialmente a los más desfavorecidos) para ayudarlos en el aprendizaje. La IA puede ser un facilitador de la enseñanza y potenciar a los docentes, concentrando su tiempo en la experiencia verdaderamente humana.

El rol del Estado es central para lograr que estos desafíos no naveguen en islas de sectores sociales aventajados o en barcos conducidos por los intereses comerciales del mercado tecnopedagógico. Dejar la discusión en manos del sector privado puede ser una gran oportunidad perdida para repensar la educación y un riesgo ético por todo lo que está en juego en torno a la privacidad de los datos y a los usos de sistemas tan sofisticados en la vida de alumnos y docentes. El tema merece una nueva conversación entre especialistas de educación y tecnología, sector público y privado, docentes y universidades. Este breve artículo intenta mapear algunos de los desafíos más inmediatos con preguntas y respuestas tentativas. Será un tiempo agitado en el cual mirar al costado tendrá un costo cada vez más alto.

BIBLIOGRAFÍA

Anijovich, R. y Cappelletti, G. (2017). *La evaluación como oportunidad*. Buenos Aires: Paidós.

Banco Interamericano de Desarrollo (2021). *¿Cómo diseñar sistemas de alerta temprana? Desde sistemas basados en conocimiento experto e indicadores hasta inteligencia artificial*. Recuperado de: <https://publications.iadb.org/es/camino-hacia-la-inclusion-educativa-4-pasos-para-la-construccion-de-sistemas-de-proteccion-de-0>.

Bender, E., Geburu, T., McMillan-Major, A. y Mitchell, M. (2021). On the Dangers of Stochastic Parrots: Can Language Models Be Too Big? In *Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency (FAccT 21)* (610–623). Nueva York: Association for Computing Machinery. Recuperado de: <https://doi.org/10.1145/3442188.3445922>.

CEPAL (2020). *Universalizar el acceso a las tecnologías digitales para enfrentar los efectos del COVID-19*. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/11362/45938>.

CEPAL (2022). *Panorama Social de América Latina y el Caribe, 2022*. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/11362/48518>.

Cobo, C. y Rivas, A. (2023). *From Education Systems to Platforms: The New Digital Education Policy Landscape*. Londres: Routledge.

Egan, K. (2011). *Learning in Depth: a simple innovation that can transform schooling*. Chicaco: University of Chicago Press.

Farkas, J. y Schou, J. (2019). *Post-Truth, Fake News and Democracy: Mapping the Politics of Falsehood*. Londres: Routledge.

Feathers, T. (2019). *Flawed Algorithms Are Grading Millions of Students' Essays*. *Vice*. Recuperado de: https://www.vice.com/en_us/article/pa7dj9/flawed-algorithms-are-grading-millions-of-students-essays.

Ferrarelli, M. (2023). *¿Cómo abordar la inteligencia artificial en el aula? Documento N° 17. Las preguntas educativas: ¿qué sabemos de educación?* Buenos Aires: CIAESA.

Kaplan, J. (2015). *Humans Need Not Apply: A Guide to Wealth and Work in the Age of Artificial Intelligence*. New Haven: Yale University Press.

King, M., Cave, R., Foden, M. & Stent, M. (2016). *Personalized Education: from curriculum to career with cognitive systems*. Portsmouth: IBM Corporation.

Mateo Díaz, M. y Rhys Lim, J. (2022). *El poder del currículo para transformar la educación*. Washington DC: Banco Interamericano de Desarrollo.

Mehta, R. (2023). *Banning ChatGPT will do more harm than good*. *MIT Technology Review*. Recuperado de: <https://www.technologyreview.com/2023/04/14/1071194/chatgpt-ai-high-school-education-first-person/amp/>.

Rifkin, J. (1996). *El fin del trabajo. Nuevas tecnologías contra puestos de trabajo: el nacimiento de una nueva era*. Buenos Aires: Paidós.

Rubin, S. C. y Sanford, C. (2018). Pathways to personalization: a framework for school change. Boston: Harvard Education Press.

Santamaría, A. (2023). Nueva versión de ChatGPT aprueba examen para ser abogado. El universal. Recuperado de: <https://www.eluniversal.com.mx/tendencias/nueva-version-de-chatgpt-aprueba-examen-para-ser-abogado/>.

Swartz, R., Costa, A., Beyer, B., Reagan, R. y Kallick, B. (2015). El aprendizaje basado en el pensamiento. Cómo desarrollar en los alumnos las competencias del siglo XXI. Madrid: SM.

Selwyn, N. (2019). Should Robots Replace Teachers? AI and the Future of Education. Cambridge: Polity Press.

OCDE, OIE-UNESCO y UNICEF (2016). La naturaleza del aprendizaje.

Tishman, S., Perkins, D. N., y Jay, E. (1994). The thinking classroom: learning and teaching in a culture of thinking. Boston: Harvard Graduate School of Education.

UNESCO (2016). Revisión comparativa de iniciativas nacionales de aprendizaje móvil en América Latina. El caso del plan Ceibal de Uruguay. IPE-UNESCO: Buenos Aires.

UNESCO (2019). Consenso de Beijing sobre la inteligencia artificial y la educación. Recuperado de: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000368303.locale=en>.

UNESCO (2021). AI and education: Guidance for policymakers. París: UNESCO.

UNESCO (2023). Global education monitoring report, 2023: technology in education: a tool on whose terms? Recuperado de: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000385723>.

World Economic Forum (2023). Future of Jobs Insight Report.

2.4. CONSTRUYENDO UNA INTELIGENCIA ARTIFICIAL ÉTICA DESDE EL DISEÑO: LA PERSPECTIVA DE LA UNESCO

ELEONORA LAMM, NATALIA GONZÁLEZ ALARCÓN
Y ALIDE FLORES URICH SASS *

“En la UNESCO queremos establecer una hoja de ruta sobre cómo entender la IA, cómo enfocar estos desarrollos, cómo prevenir los impactos negativos, cómo definirlos y cómo avanzar regulaciones e instituciones”
Gabriela Ramos - Directora General Adjunta de la UNESCO para las Ciencias Sociales y Humanas

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la inteligencia artificial (IA) impacta en todos los aspectos de nuestras vidas, incluidas nuestras relaciones sociales, económicas, políticas (Bosoer *et al.*, 2022) y culturales, y en la forma en que interactuamos con el medioambiente. Incluso, nuevos y poderosos avances, como las herramientas de la IA generativa (Cooper, 2023), prometen aumentar la productividad y transformar las industrias; por ejemplo, al automatizar muchas tareas rutinarias o al acelerar el estudio de fármacos o mejorando el diagnóstico de pacientes en el sector de la salud.

Aunque no existe una definición universalmente aceptada de IA, puede describirse como “sistemas que muestran un comportamiento inteligente analizando su entorno y emprendiendo acciones -con cierto grado de autonomía- para alcanzar objetivos específicos” (European Commission, 2018) o como “un sistema basado en máquinas que puede, para un conjunto dado de objetivos definidos por el ser humano, hacer predicciones, recomendaciones o tomar decisiones que influyen en entornos reales o virtuales” (OCDE, s/f). La IA posee la capacidad de realizar tareas típicamente asociadas a la inteligencia humana, como la percepción visual, el reconocimiento de voz, la toma de decisiones y la traducción de idiomas, y estas posibilidades se van ampliando.

Las tendencias emergentes en IA indican la rápida evolución del campo y el impacto potencial de diversas tecnologías basadas en IA. Por ejemplo, la IA generativa es un subcampo que ha revolucionado el mundo, en particular desde el lanzamiento global y público de ChatGPT en noviembre de 2022, por su capacidad de generar contenidos nuevos y originales a partir de datos existentes -como texto, imágenes o audio- y su amplia gama de aplicaciones. El potencial que tienen herramientas de IA generativa es amplio y creciente. Por ejemplo, pensando en los tomadores de decisiones, con estas herramientas podrían explorar y generar escenarios alternativos para comprender el problema, simular resultados nuevos y potenciales o generar contenidos para comunicar mejor los resultados de las políticas.

61

Definiciones clave:

IA:

- Un sistema de IA es un sistema basado en máquinas que es capaz de influir en el entorno produciendo una salida (predicciones, recomendaciones o decisiones) para un conjunto dado de objetivos (OCDE, s/f).

* Eleonora Lamm: responsable del sector de ciencias sociales y humanas y para LAC a.i.
Natalia González: consultora en ética e inteligencia artificial, UNESCO. Alide Flores Urich Sass: pasante Ética en Inteligencia Artificial, UNESCO.
Este trabajo se basa en uno previo pendiente de publicación en IEEE, cuya autoría pertenece a Gabriela Ramos, Mariagrazia Squicciarini y Eleonora Lamm.

• Un sistema de IA es un software desarrollado con técnicas y enfoques y que puede generar salidas para un conjunto dado de objetivos definidos por el ser humano, como contenidos, predicciones, recomendaciones o decisiones que influyen en los entornos con los que interactúan (European Parliament, s/f).

IA generativa:

• De acuerdo con el *AI Act* de la Unión Europea, la IA generativa es un modelo de base utilizado en un sistema de IA destinado específicamente a generar contenidos con distintos niveles de autonomía, como texto complejo, imágenes, audio o vídeo.

• De acuerdo a la Comisión Federal de Comercio de Estados Unidos, la IA generativa es una categoría de IA que capacita a las máquinas para generar nuevos contenidos en lugar de limitarse a analizar o manipular los datos existentes. Mediante el uso de modelos entrenados en grandes cantidades de datos, la IA generativa puede generar contenidos -como texto, fotos, audio o vídeo- que a veces son indistinguibles de los contenidos creados directamente por humanos. Los grandes modelos de lenguaje (LLM), que alimentan los *chatbots* y otras herramientas de IA basadas en texto, representan un tipo común de IA generativa.

62

Estos avances plantean profundas preocupaciones éticas, ya que los sistemas básicos de IA pueden incorporar o amplificar sesgos (Wach *et al.*, 2023), provocar redundancias mediante la automatización de tareas rutinarias y no rutinarias (Acemoglu, 2022), contribuir a la degradación climática y afectar los derechos humanos y las libertades fundamentales. Estos riesgos (Enoch, 2022) ya han surgido y han comenzado a incrementar las desigualdades existentes, lo que en ocasiones ha resultado en daños a grupos ya marginados (Whittlestone & Clarke, 2022).

Esto exige una acción coordinada respaldada por marcos y regulaciones globales que permitan a los individuos, y sociedades aprovechar las posibilidades que ofrece la IA y, al mismo tiempo, abarcar sus inconvenientes. La Recomendación de la UNESCO sobre la ética de la inteligencia artificial (en adelante, la Recomendación) (UNESCO, 2022), adoptada en el 2021 por los -en ese momento- 193 Estados miembros de la UNESCO,¹ es el primer instrumento global que logra generar un consenso al respecto. Su objetivo es servir como brújula para que el diseño, el desarrollo, la implementación y la adquisición de los sistemas de IA respeten los derechos humanos, la dignidad humana, el medioambiente, y preserven las libertades fundamentales.

Para la UNESCO, es vital garantizar que el crecimiento y el desarrollo de la IA puedan generar una distribución

equitativa entre y dentro de las naciones, de modo que beneficie a todas las personas y no se concentre en manos de un pequeño número de empresas y países. En parte, esto exige que los gobiernos tomen medidas adecuadas para garantizar mercados competitivos y la protección de consumidores y evitar que las grandes empresas de la IA abusen de sus posiciones dominantes en el mercado o formen monopolios. Al mismo tiempo, los gobiernos deben garantizar que las personas no se queden atrás ante los omnipresentes sistemas de IA que transforman todos los aspectos de nuestra vida cotidiana, así como los mercados laborales. Además, será esencial establecer barreras éticas sólidas para salvaguardar la inversión en la IA y garantizar que el crecimiento económico que impulsa sea sostenible.

El reciente debate global demuestra que regular una tecnología tan poderosa y potencialmente divisiva como la IA ya no debe considerarse tabú (Tracy, 2023). La cuestión no es si debería de ser regulada, sino cuál es la mejor manera de hacerlo para permitir que la tecnología florezca y ayude a resolver problemas sociales, al mismo tiempo que contenga los posibles efectos adversos y que garantice que todas las personas puedan beneficiarse de ella.

Este documento analiza cómo la Recomendación puede servir como guía para abordar las preocupaciones que plantea la IA y destaca algunos de los elementos claves propuestos en ella, así como su impacto potencial en distintos sectores. Igualmente busca mostrar, cómo, siguiendo sus disposiciones, todo el ecosistema de la IA podría contribuir a que las tecnologías de la IA sean transparentes, explicables y justas. Esto, a su vez, ayudará a incrementar la confianza pública en la IA y contribuirá a nivelar el campo de juego, beneficiando a las personas y, al mismo tiempo, permitiéndoles a las pequeñas y medianas empresas a participar y competir de una mejor manera en el desarrollo de la IA. Seguir prácticas éticas es positivo para los negocios, ya que atraen clientes e inversionistas que valoran soluciones de IA responsables y confiables (de Laat, 2021).

Después, este documento sintetiza brevemente la forma en la que la UNESCO está avanzando en la implementación de la Recomendación a través de las herramientas desarrolladas y destaca la importancia de trabajar en conjunto con el sector privado en este proceso. Finalmente, este artículo incluye un breve análisis sobre las potenciales implicaciones de regular la IA para promover y garantizar el acceso igualitario y disfrutar de los beneficios sociales que la IA puede generar.

1. La Recomendación sobre la ética de la IA de la UNESCO

La UNESCO, como agencia especializada de las Naciones Unidas que tiene el mandato de promover la paz a través de la Educación, la Cultura y la Ciencia, tras la solicitud

1. Estados Unidos se reincorporó a la UNESCO en julio del 2023.

explícita de sus Estados miembros, en 2019 asumió el desafío de desarrollar el primer estándar global sobre la ética de la IA, en forma de Recomendación (UNESCO, 2022). El fin de este instrumento normativo es traducir el qué de la ética de la IA en el cómo de la acción política relevante.

Mientras los valores y principios son bases útiles para un marco ético de la IA, en los últimos años muchos han expresado la necesidad de ir más allá de los principios y desarrollar estrategias prácticas e implementables (Mittelstadt, 2019). La Recomendación aborda este llamado traduciendo sus valores y principios en 11 áreas clave para acciones políticas. Estas abarcan la gobernanza de datos, la protección del medioambiente y los ecosistemas, la inclusión de género, la educación y la investigación, la salud y el bienestar social, entre otros. Por razones de espacio, solo abordaremos algunas de ellas a continuación.

1.1. Gobernanza de datos

La Recomendación resalta la necesidad de diseñar e implementar estrategias y mecanismos que garanticen una gobernanza de datos eficaz. La gobernanza de datos, como ejercicio de autoridad y control sobre la gestión de datos, tiene como finalidad maximizar el valor de los datos como activos en una organización (Abraham *et al.*, 2019). En este sentido, abarca los marcos organizacionales responsables de supervisar las diversas etapas de la gestión de datos, incluidos el almacenamiento, procesamiento, análisis, utilización, intercambio y las transacciones de datos realizadas directamente o en nombre del gobierno (Bonina & Eaton, 2020). Los enfoques de la gobernanza de datos pueden variar según las leyes y estructuras sociales que caracterizan a un país o ciudad específica. Además, estos enfoques pueden verse influenciados por la evolución de los roles de los distintos actores que están activos dentro del ecosistema de los datos (World Bank, 2021).

El ritmo acelerado de la transformación digital ha contribuido a resaltar el papel fundamental que desempeñan los datos y su uso. Un ejemplo de ello es el COVID-19. Los desafíos causados por la pandemia aceleraron la adopción de tecnologías emergentes, incluidas muchas que recopilan y utilizan datos personales. Sin embargo, en la urgencia por implementar aplicaciones que salvan vidas, en ocasiones se dejaron sin abordar cuestiones éticas relacionadas con la gobernanza de datos, lo que generó dinámicas desfavorables en las personas usuarias y dueñas de los datos creando claras asimetrías de poder (Li *et al.*, 2022). Esto se tradujo en una falta de transparencia en la gestión de datos personales, causando preocupaciones con respecto a la privacidad, la seguridad y la gobernanza de los datos (Parker *et al.*, 2020).

Si bien algunas personas han tomado medidas proactivas para salvaguardar sus datos, muchas siguen preocupadas por el uso de su información. Según una encuesta reciente realizada en Australia, el 58% de las personas encuestadas admitió que no entiende cómo las empresas utilizan los datos que recopilan, y el 49% expresó una sensación de vulnerabilidad con respecto a la protección de sus datos,

debido a la falta de conocimiento o tiempo, así como a la complejidad de los procesos involucrados (Quach, 2022). La Recomendación de la UNESCO reconoce estos desequilibrios de poder y la falta de comprensión por parte de los agentes involucrados, destacando la necesidad de equilibrar la privacidad de las personas y, al mismo tiempo, facilitar la recopilación de datos y la regulación de su uso.

Un aspecto clave destacado por la Recomendación es la necesidad de contar con datos robustos, representativos y de alta calidad utilizados para entrenar, desarrollar e implementar sistemas de IA. Mejorar la calidad de los datos es fundamental en todos los ámbitos, ya que los datos sirven como base para que los sistemas puedan tomar decisiones eficientes y eficaces. Hoy en día los datos se recopilan, tanto directa como indirectamente, a través de varios dispositivos. Además, la proliferación de sensores, junto con el poder de la computación en la nube y la tecnología informática avanzada, ha contribuido a los entornos ricos en datos. Los sensores integrados en diversos dispositivos y sistemas contribuyen a esto, ayudando a recopilar grandes cantidades de datos del mundo físico, incluida la temperatura, la ubicación, el movimiento y muchos otros parámetros. Pueden aumentar nuestra capacidad para mapear e informar sobre el mundo que nos rodea (Javaid *et al.*, 2021), y permitir que las ciudades se vuelvan inteligentes, al conceder medir y procesar información sobre lugares y espacios. No obstante, al mismo tiempo, pueden hacer que los movimientos de las personas sean totalmente rastreables y que la información relacionada sea explotable, para buenos o malos propósitos.

El crecimiento continuo de datos recopilados ha ejercido una presión significativa sobre las infraestructuras de almacenamiento y computación. La computación en la nube, que representa una de las transformaciones más significativas en las tecnologías modernas de la información y la comunicación (TIC), está ayudando a manejar tareas informáticas complejas a gran escala (Hashem *et al.*, 2014) y está haciendo posible almacenar, acceder y procesar datos en tiempo real, independientemente de su tamaño o complejidad.

Paralelamente, una mayor potencia de procesamiento y la mejora de los algoritmos han avanzado la capacidad de extraer información valiosa de los datos recopilados. Las técnicas de análisis de datos y modelos de IA, como el aprendizaje profundo y las redes neuronales, permiten descubrir patrones, tendencias y relaciones dentro de los datos, lo que genera conocimientos valiosos que respaldan la toma de decisiones. Sin embargo, si las decisiones se basan en datos insuficientes, parciales o de baja calidad, la precisión y la confiabilidad de las decisiones propuestas por los sistemas de IA pueden verse comprometidas (Martin *et al.*, 2023).

Asimismo, garantizar la representación de diferentes grupos demográficos en relación con características como raza, género, edad, estatus socioeconómico o de discapacidad al entrenar agrupaciones de datos de IA, es crucial para garantizar la predicción y el apoyo de las decisiones propuestas por los modelos de IA. Por ejemplo,

la poca representación de las personas adultas mayores en los datos de la IA y la falta de métodos consistentes para recopilar y registrar información relacionada con la edad pueden llevar a soluciones basadas en IA que pasen por alto las necesidades de esta parte de la población. Se corre el riesgo de discriminar y ofrecer soluciones inadecuadas (Park *et al.*, 2021). Lo mismo aplica a la representación de género, raza, y discapacidad, entre otros.

Por ello, la Recomendación promueve, de ser factible, la inversión en conjuntos de datos de excelencia que sean diversos, establecidos sobre una base jurídica, y que tengan el consentimiento de las personas interesadas e involucradas. Estos podrían servir como puntos de referencia para la calidad y precisión de otras bases de datos. Además, aboga por la disponibilidad de conjuntos de datos abiertos y confiables, en los que las partes interesadas contribuyan a la transparencia, reproducibilidad y responsabilidad de la IA. Por ejemplo, exige una “confianza en los datos” como mecanismo que pueda facilitar los flujos de datos y el intercambio de datos confiables. Los fideicomisos de datos representan una nueva forma de administración de datos que fomenta la transparencia y la rendición de cuentas (Aapti Institute & Open Data Institute, 2020).

1.1.1. Tecnologías convergentes

Los datos y la gobernanza de datos son especialmente importantes para las tecnologías convergentes, es decir, tecnologías originalmente no vinculadas que se han integrado a medida que se desarrollan y avanzan.² La Recomendación reconoce que, de todos los tipos de datos, los datos biométricos o datos recolectados mediante el seguimiento de actividad cerebral, por ejemplo, son particularmente sensibles y corren con mayor riesgo de manipulación. Por eso la Recomendación incluye disposiciones para dicha convergencia, en particular la neurotecnología y las interfaces cerebro-computadora, subrayando la importancia de salvaguardar la dignidad y la autonomía humana (UNESCO, 2023), así como abordar la posible manipulación y explotación de los sesgos cognitivos humanos.

NEUROTECNOLOGÍAS

La neurotecnología se refiere a dispositivos y procedimientos utilizados para acceder, monitorear, investigar, evaluar, manipular y emular la estructura y función de los sistemas neuronales. Estos incluyen: i) herramientas técnicas y computacionales que miden y analizan señales químicas y eléctricas en el sistema nervioso, ya sea el cerebro o los nervios de las extremidades; y ii) herramientas técnicas que interactúan con el sistema nervioso para cambiar su actividad; por ejemplo, para restaurar la información sensorial, como los implantes cocleares para restaurar

la audición o la estimulación cerebral profunda para detener la vibración y otras condiciones patológicas (UNESCO & IBC, 2021).

La neuro tecnología se diferencia de otras tecnológicas, tanto desde el punto de vista médico como comercial, por su interfaz directa e influencia sobre el cerebro. Esta característica única conlleva profundas implicaciones para varios aspectos de la existencia humana (UNESCO, 2023), tales como:

- integridad mental, que se refiere al control de un individuo sobre sus estados mentales y datos cerebrales, garantizando que nadie pueda leer, alterar o difundir dicha información sin su consentimiento;
- autonomía y libre toma de decisiones: las crecientes posibilidades que ofrece la neuro tecnología como el monitoreo, la vigilancia y la manipulación de las funciones cognitivas, tienen el potencial de interferir con la capacidad de una persona para tomar acciones y decisiones autodirigidas.
- privacidad mental: la recopilación y el procesamiento de datos de neuro dispositivos pueden potencialmente identificar a las personas, relevar su actividad cerebral y dar lugar a prácticas discriminatorias, en particular en lo que respecta a estigmatizar las afecciones neurológicas o de salud mental.

De igual manera, el hecho de que el mundo de la neuro tecnología esté actualmente altamente concentrado, desencadena problemas adicionales relacionados con el acceso a la tecnología y los desequilibrios de poder, entre otros. La evidencia reciente muestra que más del 80% de las publicaciones de neurociencia de alto impacto son producidas por sólo diez países, mientras que el 70% de los países han contribuido con menos de diez artículos de este tipo en las últimas dos décadas. De forma similar, sólo seis países poseen el 87% de las patentes de neuro tecnología IP5 (UNESCO, 2023).

Este nivel de concentración crea una división entre los países que están a la vanguardia del desarrollo de la neuro tecnología y el resto de los países, también en términos de perpetuar o aumentar las disparidades en salud, investigación e innovación.³

1.2. Gobernanza y administración ética

La importancia de la gobernanza de la IA no se puede subestimar. Los mecanismos eficaces de gobernanza de la IA deberían incorporar varios principios claves. En primer lugar, deben ser inclusivos y garantizar que todas las personas que integran la sociedad puedan acceder a los beneficios de la IA. La transparencia también es crucial, ya

2. Ejemplos de tecnologías convergentes son los teléfonos inteligentes que ahora se utilizan como dispositivos GPS, reproductores de música y cámaras.

3. Más información en: <https://www.unesco.org/en/ethics-neurotech>.

que permite a las partes interesadas acceder a información adecuada fomentando la comprensión y la confianza en los sistemas de IA. Adoptar un enfoque multidisciplinario es igualmente esencial, ya que permite la colaboración e integración de diversas disciplinas académicas en la gobernanza de la IA.

Asimismo, la gobernanza de la IA debe ser multilateral, con contribuyentes de varios grupos, sectores y países. Esto ayudaría a garantizar una perspectiva integral y global, considerando las diversas necesidades y contextos de las diferentes regiones. Para lograrlo, es necesario un enfoque multisectorial que involucre a una amplia gama de actores (Gasser & Almeida, 2017). Es de suma importancia involucrar activamente a las comunidades afectadas por la IA y a expertos y expertas de múltiples disciplinas en el proceso de gobernanza. La participación de las diversas partes interesadas debería ser una piedra angular de los planes de trabajo de las instituciones internacionales a la hora de abordar la ética y la regulación de la IA, para garantizar que los sistemas de IA reflejen las distintas perspectivas.⁴

Por ende, las acciones de gobernanza deben estar integradas en las capacidades institucionales y el conocimiento de las cuestiones en juego. Deberían abarcar la anticipación de posibles problemas, mecanismos sólidos de aplicación de la ley y mecanismos de reparación en caso de impactos negativos. Por eso la Recomendación enfatiza que la gobernanza de la IA debe identificar riesgos, impactos y daños, para luego proceder con investigaciones y acciones correctivas concretas. Además, a medida que las tecnologías de la IA evolucionan rápidamente, los sistemas globales de gobernanza de la IA deben ser lo suficientemente flexibles para adaptarse a las diferencias culturales y cerrar brechas entre los distintos sistemas legales nacionales (Gasser & Almeida, 2017).

1.3. Educación e investigación

Entre los muchos sectores profundamente afectados por la IA se encuentra la educación. Nuevos desarrollos como ChatGPT y otros LLM (large language models) están creando grandes expectativas sobre los servicios que la IA podría brindar a la humanidad, lo que podría ser significativo. Sin embargo, su uso generalizado también pone en relieve los riesgos inherentes a la forma en que se implementan actualmente estas tecnologías, en respuesta a una carrera tecnológica frenética entre actores económicos, tanto empresas como países, que rara vez ponen el bien público en primer lugar (UNESCO, 2023).

Las evaluaciones preliminares confirman que la IA generativa puede ofrecer información engañosa, inexacta o falsa sin dejar claridad a la persona usuaria (ChatGPT introdujo un descargo de responsabilidad recientemente)

(ChatGPT, s/f). Su impacto en la educación también se ve magnificado por la variedad de tareas que la herramienta puede realizar. Las cuestiones de autoría y derechos de propiedad intelectual son primordiales, ya que estas plataformas no citan sus fuentes y carecen de transparencia sobre su funcionamiento. En este contexto, la Recomendación exige que se brinde al público alfabetización y educación adecuadas sobre la IA, incluidos programas de concientización sobre los datos y sobre el uso responsable y ético de las tecnologías de IA, necesarios para mitigar sus desafíos y riesgos. Al hacerlo, se debe priorizar la participación de los grupos marginados para empoderar a todas las personas y reducir las brechas digitales y las desigualdades en el acceso digital.

La evidencia existente apunta a la necesidad de que las personas tengan habilidades técnicas relacionadas con la propia IA (es decir, aprendizaje automático, Python o redes neuronales), así como habilidades socioemocionales como la creatividad, la capacidad para trabajar en equipo y la comunicación, para que prosperen en la era de la IA (Grundke *et al.*, 2018). Además, la alfabetización digital surge como un requisito básico para que toda persona tenga la capacidad de participar plenamente en la sociedad digital (Samek *et al.*, 2021).

En la Recomendación, la ética de la IA y las habilidades de comunicación y trabajo en equipo se reconocen como prioridades junto con otras aptitudes ampliamente reconocidas, como la alfabetización básica, la aritmética, la codificación y las habilidades digitales. Inclusive, la Recomendación pide a los Estados miembros que apoyen iniciativas de investigación sobre la IA ética.

1.4. Economía y trabajo

La IA es una tecnología en rápida evolución con un gran potencial para hacer que los y las trabajadoras y las empresas sean más productivas y eficientes, y para estimular innovaciones, nuevos productos y servicios (Acemoglu *et al.*, 2022). Al mismo tiempo, al automatizar una serie de tareas (Felten *et al.*, 2019; Webb, 2020), puede provocar despidos y exacerbar las desigualdades, al mismo tiempo que los algoritmos basados en conjuntos de datos no representativos pueden provocar discriminación contra algunos trabajadores. Mientras que los avances tecnológicos anteriores han automatizado tareas "rutinarias", la IA -la IA generativa en particular- tiene el potencial de automatizar tareas "no rutinarias"; es decir, tareas que implican creatividad o que requieren altos niveles de conocimiento (*Center for Democracy and Technology*, 2020).

Por este motivo, la Recomendación expone la importancia de abordar el impacto de los sistemas de la IA en el mercado laboral. En este sentido, aboga por integrar la educación y

4. Por ejemplo, durante la elaboración de la Recomendación, la UNESCO recopiló más de 50.000 comentarios de una amplia gama de partes interesadas. Asimismo, se celebraron consultas regionales y subregionales en todo el mundo. Esta diversidad de perspectivas ayudó significativamente a mejorar el documento y hacerlo aceptable para todos los Estados miembros.

la formación relacionada con la IA en la educación general y la formación en todos los niveles para ayudar a abordar las brechas de habilidades que caracterizan la era digital y, especialmente, la falta de capacidades necesarias para trabajar con la IA y las habilidades necesarias para vivir en un mundo integrado por esta. La educación y la formación vinculadas con la IA ayudarían, al mismo tiempo, a impulsar el mercado laboral, estimular la competencia y fomentar la protección del consumidor, a escala nacional e internacional (Samek *et al.*, 2023).

La Recomendación invita a los Estados miembros a trabajar con el sector privado, las organizaciones de la sociedad civil y otras partes interesadas, incluidos los trabajadores y las trabajadoras y los sindicatos, para garantizar una transición justa para los empleados y las empleadas en riesgo. Esto incluye implementar programas de mejora y capacitación, encontrar mecanismos efectivos para retener a los y las empleadas durante los periodos de transición y explorar programas de “red de seguridad” para aquellas que no pueden ser retenidas o recapacitadas. A su vez, pide a los Estados miembros que garanticen que existan suficientes fondos públicos disponibles para apoyar dichos programas.

1.5. Género

Algunos datos

- Un estudio publicado por la UNESCO, el BID y la OCDE en marzo del 2022 (UNESCO, OCDE & IDB, 2022) muestra cómo el uso de la IA por parte de empleadores podría perjudicar a las mujeres en el lugar del trabajo durante toda su vida laboral.
- Un 20% más de hombres que de mujeres recibieron un anuncio en Facebook sobre carreras STEM (Lambrecht & Tucker, 2019).
- Las mujeres están subrepresentadas en la industria de la IA. Un informe del Foro Económico Mundial del 2020 encontró que las mujeres representan solo el 26% de los puestos de datos e inteligencia artificial en la fuerza laboral (*World Economic Forum*, 2020). Las mujeres representaron menos del 19% de todas las personas graduadas de doctorado en inteligencia artificial y ciencias de la computación en América del Norte durante los últimos diez años (Zhang *et al.*, 2021).
- Además de la segregación horizontal en ocupaciones específicas, las mujeres también experimentan techos de cristal que resultan en una segregación vertical de género. Las mujeres en los campos STEM y el sector digital tienen menos probabilidades de ocupar puestos de alto nivel. Según UNESCO (2019), solo uno de cada cuatro puestos de liderazgo en las industrias tecnológicas (incluidos los puestos no técnicos en marketing, gestión de recursos humanos y similares) está ocupado por una mujer.

La Recomendación reconoce la importancia de abordar los desafíos asociados a las brechas de género en la era digital, y se posiciona como el primer y único instrumento con un capítulo específico sobre políticas sobre género e IA. Como parte de sus recomendaciones, exige la recopilación de datos desglosados por género, ya que sin medición es difícil observar avances. Igualmente describe enfoques y acciones concretas para garantizar que los sistemas de IA no repliquen los sesgos y discriminaciones basadas en género.

También prevé que los Estados miembros deberían:

- Disponer de fondos específicos de sus presupuestos públicos vinculados a la financiación de planes con perspectiva de género.
- Garantizar que las políticas digitales nacionales incluyan un plan de acción de género.
- Desarrollar políticas pertinentes, por ejemplo, sobre educación laboral, para apoyar a niñas y mujeres y asegurarse de que no quedan excluidas de la economía digital.
- Garantizar que los estereotipos de género y los prejuicios discriminatorios no se trasladen a los sistemas de IA a través de los conjuntos de datos existentes y, en su lugar, identificarlos y corregirlos de forma proactiva.
- Fomentar la diversidad de género en la investigación de la IA en el mundo académico y en la industria, ofreciendo incentivos a las chicas y a las mujeres para que entren en este campo, y poner en marcha mecanismos para luchar contra los estereotipos de género y el acoso en la comunidad investigadora de la IA.
- Fomentar el espíritu empresarial, la participación y el compromiso de las mujeres en los sistemas de IA, e instar a las organizaciones académicas y privadas a compartir las mejores prácticas sobre cómo mejorar la diversidad de género.

En general, la Recomendación pide a los gobiernos que garanticen que los sistemas de IA avancen en la consecución de la igualdad de género y trabajen para eliminar en lugar de exacerbar las brechas de género existentes.

Tomando medidas: MUJERES POR UNA IA ÉTICA

Para luchar contra los estereotipos de género y la discriminación, La UNESCO lanzó la Plataforma Women4EthicalAI, formada por mujeres profesionales y expertas que promueven la agenda de diversidad de género a nivel institucional. La plataforma adicionalmente ayuda a países de todo el mundo

a establecer marcos específicos para promover políticas responsables de desarrollo e implementación de IA. Aplica su perspectiva de género para abordar cuestiones como el medio ambiente o cuestiones más generales de discriminación, con el objetivo de garantizar soluciones de amplio alcance e impacto.

Enfrentar estos desafíos requiere la colaboración de múltiples partes interesadas y el empoderamiento liderado por las mujeres, que es el objetivo principal de Grupo W4EAI. El trabajo de la plataforma fortalecerá la capacidad de los Estados Miembros de la UNESCO para promover sistemas de IA confiables y equilibrados en términos de género basados en la Recomendación.⁵

- La ejecución de entrenamiento de BLOOM (el que consume menos energía de los cuatro modelos lingüísticos analizados por el Instituto de Stanford para la IA centrada en el ser humano, junto con GPT-3, Gopher y OPT) emitió 1.4 veces más carbón en un año que el estadounidense promedio, y el equivalente de un solo pasajero que voló de Nueva York a San Francisco 25 veces. El entrenamiento de BLOOM consumió suficiente energía para abastecer de electricidad a un hogar estadounidense promedio durante 41 años (Maslej *et al.*, 2023).

1.6. Medioambiente y ecosistemas

Impulsar la IA consume mucha energía, lo que tiene un gran impacto en el medio ambiente. La Recomendación pide a los Estados miembros y a las empresas que evalúen los impactos ambientales directos e indirectos de los sistemas de IA, incluida su huella de carbono, consumo de energía y extracción de materias primas. Cuando sea necesario, los Estados Miembros también deberían introducir incentivos para garantizar que las soluciones de la IA se utilicen para apoyar la predicción, la prevención, el control y la mitigación de los problemas relacionados con el clima (Strubell *et al.*, 2020).

- En 2019, los investigadores de la Universidad de Massachusetts Amherst entrenaron varios modelos lingüísticos de gran tamaño:
- Descubrieron que entrenar un solo modelo de IA puede emitir más de 313 toneladas (626.000 libras) de CO₂, lo que equivale a las emisiones de cinco automóviles durante su vida útil (Strubell *et al.*, 2019).
- Descubrieron que crear un modelo generativo de IA llamado BERT con 110 millones de parámetros consumía la energía de un vuelo transatlántico de ida y vuelta para una persona (Strubell *et al.*, 2019).
- En 2021, un nuevo estudio de Google y la Universidad de California en Berkeley informó que el entrenamiento de una IA generativa (GPT-3) con 175.000 millones de parámetros consumió 1.287 MWh de electricidad. El resultado fueron unas emisiones de carbono de 552 toneladas de CO₂, equivalentes a conducir 112 coches de gasolina durante un año (Patterson *et al.*, 2021).
- De mayo de 2021 a mayo de 2022, el proyecto BigScience en Francia desarrolló el modelo BLOOM de acceso abierto, que es similar en tamaño a GPT-3 pero tiene una huella de carbono mucho menor, consumiendo 433 MWh de electricidad en la generación de 30 toneladas de CO₂ durante 118 días, 5 horas, 41 minutos de tiempo de entrenamiento (Maslej *et al.*, 2023).

No solamente el elevado consumo de energía es crítico; el impacto en el consumo de agua también lo es. Un estudio realizado en 2023 mostró que “entrenar GPT-3 en los centros de datos de última generación de Microsoft en EE.UU. puede consumir 700,000 litros de agua dulce limpia (suficiente para producir 370 automóviles BMW o 320 vehículos eléctricos Tesla) y el consumo de agua se habría triplicado si la capacitación se hubiera realizado en centros de datos asiáticos de Microsoft” (Li *et al.*, 2023). Otro estudio publicado en el 2023 afirma que “por cada 20 a 50 preguntas, ChatGTP necesita ‘beber’ el equivalente a una botella de agua de 16.9 oz” (Gendron, 2023). Dado que en el proceso de entrenamiento se gasta una cantidad importante de energía, que luego se convierte en calor, el agua se utiliza en el sitio para mantener la temperatura bajo control en toda la infraestructura. Se requiere de agua dulce para un control adecuado de la humedad y porque el agua salada puede provocar corrosión, obstrucción de las tuberías de agua y crecimiento bacteriano, según el estudio (Gendron, 2023).

Esto es preocupante, ya que la escasez de agua dulce se ha convertido en uno de los desafíos más alarmantes compartidos por la humanidad a raíz del rápido crecimiento demográfico, el agotamiento de los recursos hídricos y el envejecimiento de las infraestructuras hídricas. Para responder a los desafíos globales del agua, los modelos de IA pueden, y deben, abordar preocupaciones de responsabilidad social y predicar con el ejemplo abordando su propia huella hídrica (Li *et al.*, 2023).

Al ser conscientes y considerar el impacto ambiental de la IA, los desarrolladores pueden ayudar a crear algoritmos energéticamente eficientes, optimizar los recursos informáticos e implementar prácticas sostenibles en la infraestructura de la IA (Ligozat *et al.*, 2022). Esto incluye diseñar algoritmos que requieran menos potencia informática, desarrollar hardware y algoritmos más eficientes, y utilizar fuentes de energía renovables para alimentar sistemas de inteligencia artificial. Estos esfuerzos pueden reducir significativamente la huella de carbono (Dhar, 2020) asociada con las operaciones de IA (Wu *et al.*, 2022). Además, integrar los principios de sostenibilidad en el desarrollo de la IA implica que los avances tecnológicos pueden alinearse con los objetivos ambientales, minimizando el daño a los ecosistemas (Van Wynsberghe, 2021).

2. IMPLEMENTACIÓN DE LA RECOMENDACIÓN SOBRE LA ÉTICA DE LA IA

Numerosos países, particularmente en el mundo desarrollado, están tratando de seguir el ritmo de los avances tecnológicos mediante la elaboración de estrategias nacionales o regionales y la promulgación de leyes, como la Ley de Inteligencia Artificial (IA) en la Unión Europea (European Parliament, 2023) y la construcción de marcos institucionales para establecer barreras éticas. Ahora bien, muchos otros países se han quedado atrás en la explotación del poder de estas tecnologías en beneficio de sus poblaciones y en la contención de los riesgos asociados a ellas.

Desde UNESCO se entiende que, para que los beneficios de la IA se materialicen, los gobiernos deben tener estrategias que promuevan el desarrollo y uso ético de la IA y desarrollar capacidades y habilidades relevantes, tanto en el sector público como en el privado. A su vez, deberían promover los marcos regulatorios e institucionales pertinentes para convertir estas estrategias en realidad. Frente a esto, actualmente, países de todo el mundo se encuentran en proceso de implementar la Recomendación, con el apoyo de la UNESCO, a través de diversos esfuerzos de creación de capacidades, coordinación y orientación. El objetivo es traducir la Recomendación en marcos nacionales, institucionales y regulatorios que ayuden a los países (especialmente los países en desarrollo) a promover el uso ético y el desarrollo de la IA, garantizando la igualdad de oportunidades para todas las personas en la era digital.

68

2.1. De la teoría a la práctica

Para garantizar la implementación efectiva de la Recomendación, la UNESCO desarrolló la Metodología de Evaluación de la Preparación (RAM por sus siglas en inglés). La RAM es una herramienta práctica que tiene la finalidad de ayudar a los países a comprender el estado actual y el nivel de preparación para emprender la implementación ética y responsable de tecnologías de IA en beneficio de todas las personas. Al realizar la RAM, los países pueden identificar áreas específicas donde pueden ser necesarios cambios institucionales y regulatorios, allanando el camino para el progreso y uso de la IA.

La metodología no solo es única, sino también necesaria, dado que, sin la presencia de instituciones, capital humano, desarrollo de capacidades e infraestructura, no puede haber avances significativos. A través de las cinco dimensiones de la RAM, la UNESCO evaluará todo el espectro de preparación de un país. Estas cinco dimensiones son:

1. *Legal/regulatoria*: aborda la capacidad institucional y humana de los Estados miembros para implementar la Recomendación y gestionar las principales transformaciones sociales que provocaría una mayor adopción de la IA en todos los sectores de la economía. Esto incluye evaluar si los Estados miembros han adoptado marcos regulatorios apropiados para garantizar el desarrollo y despliegue éticos de la IA, así

como mecanismos de seguimiento y evaluación para su implementación y cumplimiento.

2. *Social/cultural*: esta dimensión considera los factores relevantes para el progreso ético y la implementación de sistemas de IA, sin dejar por fuera la inclusión y la diversidad social y cultural, la conciencia pública y los valores relevantes para ampliar las soluciones éticas de la IA. Asimismo, aborda las actitudes hacia las tecnologías de IA, incluida su aceptación pública. Esta dimensión también ayuda a revelar valores y preferencias sociales en los Estados miembros, que conducen a ciertas actitudes hacia las tecnologías e impactan directamente las decisiones sociales relacionadas.

3. *Económica*: esta dimensión tiene como objetivo abordar el tamaño y la fortaleza de la oferta del ecosistema de IA en el país. Esto es importante para la capacidad de desarrollar soluciones de IA que reflejen las necesidades y condiciones particulares de un país determinado y su población.

4. *Científica/educativa*: esta dimensión tiene como misión evaluar el nivel de investigación y desarrollo relacionado con la IA en un país, incluido el número de publicaciones y patentes relacionadas con la IA, y el número de investigadores e ingenieros e ingenieras de IA involucrados en I+D. A su vez, analiza la investigación sobre la ética de la IA y la disponibilidad de oportunidades educativas para los y las estudiantes y el público. Además, la dimensión examina el número de estudiantes (graduados y graduadas), profesionales y miembros del público en disciplinas relacionadas con la IA o las TIC, el número de graduados y graduadas en STEM y el nivel de IA y ciber habilidades de la población.

5. *Técnica/infraestructural*: la dimensión técnica e infraestructural refleja la noción de que, sin la infraestructura pertinente, el desarrollo de la IA y la implementación de soluciones basadas en ella no pueden aplicarse en todo un país. Por lo tanto, esta dimensión evalúa el nivel TIC y la infraestructura técnica relacionada existente. La UNESCO colabora activamente con numerosos países de distintas regiones para implementar la Metodología de Evaluación de Preparación. Actualmente, en América Latina y el Caribe diversos países adelantan este proceso como parte de sus procesos de diseño y actualización de las estrategias nacionales de IA, entre ellos Antigua y Barbuda, Barbados, Brasil, Chile, Costa Rica, Cuba, México, República Dominicana, Uruguay, y Trinidad y Tobago. En los próximos meses, la UNESCO seguirá ampliando su trabajo con más países, fortaleciendo su presencia e impacto global.

3. INVOLUCRANDO AL SECTOR PRIVADO Y A DESARROLLADORES

Aun cuando la Recomendación se dirige principalmente a los Estados miembros, también proporciona orientación ética a todo el ecosistema y actores de la IA. Uno de los objetivos de la Recomendación es guiar las acciones de personas, comunidades, instituciones y empresas del sector privado para garantizar que la ética esté integrada en todas las etapas del ciclo de vida del sistema de la IA.

La implementación de marcos éticos conduce a resultados beneficioso para todas y todos. La sociedad se favorece de la tecnología de la IA que se alinea con los estándares de derechos humanos, mientras que el sector privado que apoya estos principios también se beneficia. Al comprometerse con prácticas éticas de la IA, las empresas pueden diferenciarse de sus competidores y atraer clientes que valoran las soluciones de la IA responsables y confiables (de Laat, 2021).

Como consecuencia, varias empresas del sector están adoptando una IA responsable (Shear et al., 2023). Las empresas están motivadas no solo por la confianza de las personas usuarias, sino también por diversos factores, como se destaca en un estudio (The Economist Intelligence Unit, 2020) que revela que la incorporación de prácticas responsables de la IA durante todo el ciclo de vida del desarrollo del producto puede generar una ventaja competitiva al mejorar la calidad del producto. Por ende, las prácticas responsables de la IA pueden tener un efecto positivo en la adquisición, la retención y el compromiso del talento, particularmente a medida que los empleados examinan cada vez más los valores y principios éticos de sus empleadores. Además, adoptar una IA responsable tiene la capacidad de impactar positivamente el desempeño financiero de una empresa al fomentar la participación del cliente, diversificar los flujos de ingresos, brindar ventajas de adquisición en los procesos de licitación y mejorar el poder de fijación de precios en el mercado. El estudio también enfatiza que, dado que las empresas dependen cada vez más de los datos de las personas usuarias, se vuelve evidente la importancia de mejorar la gestión, la seguridad y la privacidad de esos datos. La ausencia de prácticas responsables de la IA dentro del sector tecnológico ha generado preocupaciones sobre la confianza y los riesgos de marca.

Consejo Empresarial para la Ética de la IA (UNESCO, s/f)

Uno de los objetivos de la Recomendación es que pueda servir de guía para ayudar a las empresas a identificar posibles riesgos en sus servicios y brindar recomendaciones sobre cómo evitarlos. De esta forma busca contribuir a avanzar hacia una regulación que garantice un entorno competitivo y ético adecuado, que beneficie a todas las partes interesadas. Como resultado, UNESCO unió esfuerzos con empresas del sector tecnológico que están comprometidas con el uso ético y responsable de la tecnología. Junto con Telefónica y Microsoft, la UNESCO creó el Consejo Empresarial para la Ética de la IA, una red de empresas amigas de la Recomendación y un espacio para intercambiar experiencias y buenas prácticas, fortalecer las capacidades técnicas en ética e IA, y diseñar e implementar la Recomendación a través de herramientas como la Evaluación de Impacto Ético. Actualmente, la UNESCO está ampliando el Consejo con más socios a nivel global.

4. ¿GOBERNANZA Y REGULACIÓN?

Muchas voces piden ahora una revisión de la forma en que evolucionan y se implementan estas tecnologías, lo que señala la necesidad de una gobernanza y capacidades de supervisión más sólidas. Este es un esfuerzo que la UNESCO ha estado realizando durante décadas en relación con las tecnologías emergentes, como el genoma humano, la inteligencia artificial y la neuro tecnología, en base a su mandato ético global. Desde 2021, cuando se adoptó la Recomendación sobre la ética de la IA, la UNESCO ha estado creando herramientas y sistemas de apoyo para su implementación y para la revisión de las normas y reglamentos pertinentes para garantizar la buena gobernanza de la IA sin afectar la innovación. Ha llegado el momento de establecer y ajustar reglas para que los avances tecnológicos apoyen los objetivos humanos y contribuyan al bien público.

Dado el valor y la magnitud de la IA en todos los aspectos de nuestras vidas, la época de autorregulación ligera debería considerarse superada. Para la UNESCO, la regulación es esencial para fomentar entornos sólidos y propicios para una IA responsable. La noción de una dicotomía entre legislación e innovación es errónea. Los marcos regulatorios eficaces proporcionan una base de certidumbre y, una vez que se nivelan las condiciones a través de dichas regulaciones, la innovación florece, beneficiando a empresas de todos los tamaños, incluidas las pequeñas y medianas.

Actualmente, la ausencia de marcos regulatorios integrales para la IA deja a los países incapaces de asignar responsabilidades por acciones específicas realizadas por los sistemas de la IA. Es imperativo garantizar el Estado de derecho en el mundo digital mediante el establecimiento de marcos legales claros y responsables.

Varios países están trabajando en el progreso de políticas y marcos legales de la IA, incluidas las regulaciones. En el 2022, se debatieron leyes que mencionan el término “inteligencia artificial” en los órganos legislativos de 127 países y se aprobaron 37 de ellas (para un total de 123 leyes), según el Informe del Índice de IA 2023 de la Universidad de Stanford (Maslej et al., 2023). Estados Unidos lideró la carrera para impulsar la regulación y aprobar nuevas leyes (Maslej et al., 2023).

En esta etapa, la IA debería ser regulada como cualquier otro sector económico. La cuestión no es si regular o no, sino cómo. El objetivo no debería ser la regulación *per se*, sino el establecimiento de un entorno propicio para la tecnología que también contribuya al bien público. Las regulaciones son parte de esto, al igual que los incentivos y las intervenciones en buenas tecnologías. Más allá del desarrollo de legislaciones y regulaciones, la inversión en las capacidades de los gobiernos para abordar estas tecnologías es clave para garantizar que la IA sea ética.

Contar con las regulaciones correctas es vital, pero son las facultades de los gobiernos y de los funcionarios gubernamentales, y el diseño institucional correcto, lo que determinará su éxito.

En resumen, la UNESCO está convencida de que los marcos regulatorios importan. Deberían lograr un buen equilibrio entre una fuerte protección y al mismo tiempo permitir que florezca la innovación. Necesitamos evitar el abuso y el uso indebido de las tecnologías de inteligencia artificial, por ejemplo, para difundir discursos de odio y desinformación e interferir con los procesos democráticos. Necesitamos promover la diversidad y la inclusión en todo el ciclo de vida del sistema de IA, en particular apoyando la participación de las mujeres y los países en desarrollo. Necesitamos luchar en contra de la monopolización de las tecnologías de IA para garantizar un acceso equitativo y beneficios compartidos. Necesitamos garantizar la transparencia cuando se toman decisiones con IA para aumentar el escrutinio público e incrementar la confianza en la tecnología de la IA.

A primera vista, esto puede parecer un reto insuperable, pero la historia está repleta de ejemplos de la humanidad unida para abordar una cuestión de crítica importancia. Asegurar que la inteligencia artificial sea correcta será otro brillante ejemplo de lo que podemos lograr con una visión compartida y acciones coordinadas. Aquí es donde la Recomendación de la UNESCO sobre la Ética de la IA entra en juego como un elemento esencial: un plan para un consenso global sobre el “qué”, así como el “cómo” de la regulación ética de esta tecnología revolucionaria.

Estos objetivos son ambiciosos y, para lograrlos, se necesita que toda la comunidad se involucre: que todas las personas y partes interesadas comprendan que ya no es posible mantener separadas la informática y las ciencias sociales y que la ética debe acompañar cualquier desarrollo de la ciencia dura. Los avances en la IA han aclarado que debemos estar unidos para garantizar que los progresos de la tecnología beneficien a toda la humanidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Aapti Institute and Open Data Institute (2020). Enabling data sharing for social benefit through data trusts. Recuperado de: <https://gpai.ai/projects/data-governance/data-trusts/enabling-data-sharing-for-social-benefit-through-data-trusts.pdf>.
- Abraham, R., Schneider, J. & Brocke, J. (2019). Data governance: A conceptual framework, structured review, and research agenda. *International Journal of Information Management*, 49, 424-438. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.07.008>.
- Acemoglu, D., Autor, D., Hazell, J. & Restrepo, P. (2022). Artificial Intelligence and Jobs: Evidence from Online Vacancies. *Journal of Labor Economics*, 40. DOI: <https://doi.org/10.1086/718327>.
- Ameri, M., Schur, L. & Adya, M. et al. (2017). The Disability Employment Puzzle: A Field Experiment on Employer Hiring Behavior. *SAGE Journals ILR Review*, 71(2). DOI: <https://doi.org/10.1177/0019793917717474>.
- Andorno, R. (2022). Human Dignity, Life Sciences Technologies and the Renewed Imperative to Preserve Human Freedom. En: M. Lenca, O. Pollicino, L. Liguori, E. Stefanini & R. Andorno, (Coords.), *The Cambridge Handbook of Information Technology, Life Sciences and Human Rights* (273-285). Cambridge: Cambridge University Press.
- Autor, D. (2022). The Labor Market Impact of Technological Change: From Unbridled Enthusiasm to Qualified Optimism to Vast Uncertainty. NBER Working Paper 30074. Cambridge: National Bureau of Economic Research. Recuperado de: <https://www.nber.org/papers/w30074>.
- Barlow, M. (2016). AI and medicine: Data-driven strategies for improving healthcare and saving lives. O'Reilly Media.
- Barnes, E. A., Hurrell, J. W., Ebert Uphoff, I., Anderson, C. & Anderson, D. (2019). Viewing forced climate patterns through an AI lens. *Geophysical Research Letters*, 46(22), 13389-13398.
- Bessen, J., Goos, M., Salomons, A. & van den Berge, W. (2023). What Happens to Workers at Firms that Automate? *The Review of Economics and Statistics* 2023. DOI: https://doi.org/10.1162/rest_a_01284.
- Bonina, C. & Eaton, B. (2020). Cultivating open government data platform ecosystems through governance: Lessons from Buenos Aires, Mexico City and Montevideo. *Government Information Quarterly*, 37(3), 101479.
- Bosoer, L., Cantero, M., Galariotis, I. & Innerarity, D (2022). Neither fish nor fowl: the challenges of a democratic AI. *STG Policy Briefs*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/1814/75047>.
- Center for Democracy and Technology (2020). Algorithm-driven Hiring Tools. Recuperado de: <https://cdt.org/wp-content/uploads/2020/12/Full-Text-Algorithm-driven-Hiring-Tools-Innovative-Recruitment-or-Expedited-Disability-Discrimination.pdf>.
- ChatGPT (s/f). Website. Recuperado de: <https://chat.openai.com/>.
- Cooper, G. (2023). Examining science education in chatgpt: An exploratory study of generative artificial intelligence. *Journal of Science Education and Technology*, 32(3), 444-452.
- Cowls, J., Tsamados, A., Taddeo, M. & Floridi, L. (2021). The AI gambit: leveraging artificial intelligence to combat climate change – opportunities, challenges, and recommendations. *Ai & Society*, 1-25.
- De Laat, P. (2021). Companies Committed to Responsible AI: From Principles towards Implementation and Regulation? *Philos. Technol.*, 34, 1135–1193. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13347-021-00474-3>.
- Dhar, P. (2020). The carbon impact of artificial intelligence. *Nat Mach Intell* 2, 423–425. DOI: <https://doi.org/10.1038/s42256-020-0219-9>.
- Eloundou, T., Manning, S., Mishkin, P. & Rock, D. (2023). GPTs are GPTs: An Early Look at the Labor Market Impact Potential of Large Language Models.
- Enoch, E. (2022). Will Chat GPT Replace Your Job As a Programmer? CodeX. Recuperado de: <https://medium.com/codex/will-chat-gpt-replace-your-job-as-a-programmer-3492ad2cf449>.
- European Commission (2018). The European Commission's high-level expert group on artificial. A Definition of AI: main capabilities

- and scientific disciplines. Recuperado de: https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/ai_hleg_definition_of_ai_18_december_1.pdf.
- European Parliament (s/f). Artificial Intelligence Act. Recuperado de: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/698792/EPRS_BRI\(2021\)698792_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/698792/EPRS_BRI(2021)698792_EN.pdf).
- European Parliament (2023). MEPs ready to negotiate first-ever rules for safe and transparent AI. Recuperado de: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20230609IPR96212/meps-ready-to-negotiate-first-ever-rules-for-safe-and-transparent-ai>.
- Felten, E., Raj, M. & Seamans, R. (2019). The Occupational Impact of Artificial Intelligence: Labor, Skills, and Polarization. Working Paper, NYU Stern School of Business. Recuperado de: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3368605.
- Gasser, U. & Almeida, V. A. F. (2017). A Layered Model for AI Governance. *IEEE Internet Computing*, 21(6), 58-62. DOI: 10.1109/MIC.2017.4180835.
- Gendron, W. (2023). ChatGPT needs to 'drink' a water bottle's worth of fresh water for every 20 to 50 questions you ask, researchers say. *Business Insider*. Recuperado de: <https://www.businessinsider.com/chatgpt-generative-ai-water-use-environmental-impact-study-2023-4>.
- Grundke, R., Marcolin, L., Nguyen, T. & Squicciarini, M. (2018). Which skills for the digital era? Returns to skills analysis. DOI: 10.1787/9a9479b5-en.
- Guo, J. & Li, B. (2018). The application of medical artificial intelligence technology in rural areas of developing countries. *Health equity*, 2(1), 174-181.
- Hashem, I. & Yaqoob, I., Anuar, N., Mokhtar, S., Gani, A. & Khan, S. (2014). The rise of "Big Data" on cloud computing: Review and open research issues. *Information Systems*, 47, 98-115. DOI: 10.1016/j.is.2014.07.006.
- Henderson, P., Hu, J., Romoff, J., Brunskill, E., Jurafsky, D. & Pineau, J. (2020). Towards the systematic reporting of the energy and carbon footprints of machine learning. *Journal of Machine Learning Research*, 21(248), 1-43.
- Hurlburt, G. (2023). What If Ethics Got in the Way of Generative AI? *IT Professional*, 25(2), 4-6.
- International Bioethics Committee (2022). Ethical issues of neurotechnology: report, adopted in December 2021. Recuperado de: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000383559>.
- Javaid, M., Haleem, A., Rab, S., Singh, R. & Suman, R. (2021). Sensors for daily life: A review. *Sensors International*. 2, 100121. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2021.100121>.
- Karmarkar, U. R. & Yoon, C. (2016). Consumer neuroscience: advances in understanding consumer psychology. *Current Opinion in Psychology*, 10, 160–165. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2016.01.010>.
- Lambrecht, A. & Tucker, C. E. (2019). Algorithmic bias? An empirical study into apparent gender-based discrimination in the display of STEM career ads. *Management Science*, 65(7), 2966-2981.
- Lane, M. & Saint-Martin, A. (2021). The impact of Artificial Intelligence on the labour market: What do we know so far? *OECD Social, Employment and Migration Working Papers*, 256. Paris: OECD Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1787/7c895724-en>.
- Li, P., Yang, J., Islam, M. A. & Ren, S. (2023). Making AI Less "Thirsty": Uncovering and Addressing the Secret Water Footprint of AI Models. *ArXiv preprint*. Recuperado de: <https://arxiv.org/abs/2304.03271>.
- Li, V. Q. T. et al. (2022). COVID-19, policy change, and post-pandemic data governance: a case analysis of contact tracing applications in East Asia. *Policy and Society*, 41(1), 129-142. DOI: <https://doi.org/10.1093/polsoc/puab019>.
- Ligozat, A. L., Lefevre, J., Bugeau, A. & Combaz, J. (2022). Unraveling the hidden environmental impacts of AI solutions for environment life cycle assessment of AI solutions. *Sustainability*, 14(9), 51-72.
- Maarten, G. (2023). The Impact of AI on Work. Recuperado de: <https://sites.bu.edu/tpri/2023/05/01/the-impact-of-ai-on-work/>.
- Martí, J. L. (2021). New Technologies at the Service of Deliberative Democracy. En G. Amato, B. Barbisan & C. Pinelli (Eds.), *Rule of Law vs Majoritarian Democracy (199-220)*. Nueva York: Bloomsbury.
- Martín, L., Sánchez, L., Lanza, J. & Sotres, P. (2023). Development and evaluation of Artificial Intelligence techniques for IoT data quality assessment and curation. *Internet of Things*, 22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100779>.
- Maslej, N. et al. (2023). The AI Index 2023 Annual Report. Stanford: Stanford University. Recuperado de: https://aiindex.stanford.edu/wp-content/uploads/2023/04/HAI_AI-Index-Report_2023.pdf.
- McGuffie, K. & Newhouse, A. (2020). The Radicalization Risks of GPT-3 and Advanced Neural Language Models. *arXiv*. Recuperado de: <http://arxiv.org/abs/2009.06807>.
- Mittelstadt, B. (2019). Principles alone cannot guarantee ethical AI. *Nat Mach Intell*, 1, 501-507. DOI: <https://doi.org/10.1038/s42256-019-0114-4>.
- OCDE (s/f). AI-Principles Overview-OECD.AI. OECD.AI Policy Observatory. Recuperado de: <https://oecd.ai/en/ai-principles>.
- Park, J., Bernstein, M., Brewer, R., Kamar, E. & Morris, M. (2021). Understanding the Representation and Representativeness of Age in AI Data Sets. *Proceedings of the 2021 AAAI/ACM Conference on AI, Ethics, and Society (AIES 21)* (834–842). Nueva York: Association for Computing Machinery. DOI: <https://doi.org/10.1145/3461702.3462590>.
- Parker, M. J., Fraser, C., Abeler-Dörner, L. & Bonsall, D. (2020). Ethics of instantaneous contact tracing using mobile phone apps in the control of the COVID-19 pandemic. *Journal of Medical Ethics*, 46(7), 427-431.
- Patterson, D., Gonzalez, J., Le, Q., Liang, C., Munguia, L.-M., Rothchild, D., So, D., Texier, M. & Dean, J. (2021). Carbon emissions and large neural network training. *arXiv.org*. Recuperado de: <https://arxiv.org/abs/2104.10350>.
- Quach, S., Thaichon, P. & Martin, K. D. et al. (2022). Digital technologies: tensions in privacy and data. *J. of the Acad. Mark. Sci.*, 50, 1299–1323. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11747-022-00845-y>.

- Samek, L. & Squicciarini, M. (2023). AI Human Capital, Jobs and Skills. En F. P. Appio, D. La Torre, F. Lazzeri, H. Masri & F. Schiavone (Eds.), *Impact of Artificial Intelligence in Business and Society: Opportunities and Challenges*. Routledge. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781003304616>.
- Samek, L., Squicciarini, M. & Cammeraat, E. (2021). The human capital behind AI: Jobs and skills demand from online job postings. OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, 120. Paris: OECD Publishing. DOI <https://doi.org/10.1787/2e278150-en>.
- Shear, M. D., Kang, C. & Sanger, D. E. (2023, July 21). Pressured by Biden, A.I. companies agree to guardrails on new tools. The New York Times. Recuperado de: <https://www.nytimes.com/2023/07/21/us/politics/ai-regulation-biden.html>.
- Strubell, E., Ganesh, A. & McCallum, A. (2019). Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP. University of Massachusetts Amherst. Recuperado de: <https://arxiv.org/pdf/1906.02243.pdf>.
- Strubell, E., Ganesh, A. & McCallum, A. (2020). Energy and policy considerations for modern deep learning research.
- The Economist Intelligence Unit (2020). Staying ahead of the curve. The business case for responsible AI. Recuperado de: <https://www.eiu.com/n/staying-ahead-of-the-curve-the-business-case-for-responsible-ai/>.
- Tomasev, N., Maynard, J. L. & Gabriel, I. (2022). Manifestations of Xenophobia in AI systems. arXiv preprint. DOI: arXiv:2212.07877.
- Tracy, R. (2023). Biden administration developing National AI strategy. The Wall Street Journal. Recuperado de: <https://www.wsj.com/articles/biden-administration-developing-national-ai-strategy-ee22b44e>.
- UNESCO (s/f). I'd blush if I could: closing gender divides in digital skills through education. Recuperado de: <https://en.unesco.org/ld-blush-if-i-could>.
- UNESCO (s/f). Ibero-America Business Council for Ethics of Ai. Recuperado de: <https://www.unesco.org/en/artificial-intelligence/ibero-america-network>.
- UNESCO (2020). Artificial Intelligence Gender Equality. Key findings of UNESCO's Global Dialogue.
- UNESCO (2022). Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence. SHS/BIO/PI/2021/1. 2022. Recuperado de: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137>.
- UNESCO (2023). Foundation models such as ChatGPT through the prism of the UNESCO Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence. Recuperado de: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000385629>.
- UNESCO (2023). Unveiling the neurotechnology landscape scientific advancements innovations and major trends.
- UNESCO & EQUALS Skills Coalition (2019). GEN/2019/EQUALS/1 REV. 2019. Recuperado de: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367416.page=1>.
- UNESCO & IBC (2021). Report of the International Bioethics Committee of UNESCO (IBC) on the ethical issues of neurotechnology. Paris: UNESCO. Recuperado de: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000378724>.
- UNESCO, OCDE & IDB (2022). The Effects of AI on the Working Lives of Women. Recuperado de: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380861>.
- UNESCO, University of Milan-Bicocca, State University of New York & Downstate Health Sciences University (2023). The risks and challenges of neurotechnologies for human rights. Recuperado de: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384185>.
- Van Wynsberghe, A. (2021). Sustainable AI: AI for sustainability and the sustainability of AI. *AI and Ethics*, 1(3), 213-218.
- Wach, K. *et al.* (2023). The dark side of generative artificial intelligence: A critical analysis of controversies and risks of ChatGPT. *Entrepreneurial Business and Economics Review*, 11(2), 7-24.
- Webb, M. (2020). The Impact of Artificial Intelligence on the Labor Market. Working Paper. Stanford: Stanford University. Recuperado de: https://www.michaelwebb.co/webb_ai.pdf.
- Whittlestone, J. & Clarke, S. (2022). AI challenges for society and ethics. arXiv preprint. DOI: arXiv:2206.11068.
- World Bank (2021). World Development Report 2021: Data for Better Lives. World Bank Publications.
- World Economic Forum (2020). Global Gender Gap Report 2020. Recuperado de: https://www3.weforum.org/docs/WEF_GGGR_2020.pdf
- Wu, C. J. *et al.* (2022). Sustainable ai: Environmental implications, challenges and opportunities. *Proceedings of Machine Learning and Systems*, 4, 795-813.
- Zhang, D., Mishra, S., Brynjolfsson, E., Echemendy, J., Ganguli, D., Grosz, B., Lyons, T., Manyika, J., Niebles, J. C., Sellitto, M., Shoham, Y., Clark, J. & Perrault, R. (2021). The AI Index 2021 Annual Report. Stanford: Stanford University.

2.5. INTELIGENCIA ARTIFICIAL: PISTAS PARA ENTENDER SU REVOLUCIÓN EN EL ENTRAMADO TECNO-PRODUCTIVO

GUILLERMO ANLLÓ *

Toda revolución tecnológica trae asociada, en sus inicios, una etapa de ilusión y fantasía. La incertidumbre sobre su alcance e impacto despierta tantos discursos fatalistas como ideas salvadoras. Así, en la etapa de difusión e implantación de un nuevo paradigma tecnológico, surgen especulaciones sobre el futuro del empleo y la calidad de vida, junto con oportunidades para realizar apuestas e inversiones vinculadas a la nueva tecnología (Pérez, 2010). A su vez, también se ha escrito que, para que una nueva tecnología constituya una revolución o cambio de paradigma tecnoproductivo, la misma debe cruzar y afectar a todos los sectores productivos y las costumbres y los ámbitos de interacción social.

La inteligencia artificial (IA) no escapa a este fenómeno, sino que redobla la apuesta y supera a cualquier otra tecnología previa. A continuación, repasaremos cómo efectivamente se verifica el impacto y potencial desarrollo de la IA en diversos sectores productivos. En cualquier caso, para verificar el impacto de la IA en el sector productivo, es necesario que las empresas la adopten masivamente a lo largo del mundo, lo que implicaría verificar innovaciones de proceso y producto, además de, sobre todo, innovaciones de organización asociadas al uso y sistematización de la información al interior de las empresas.¹ A pesar de existir ejemplos del avance de la IA en la mayoría de las ramas de la producción, con promesas de ganancias en la productividad, también se verifica una lenta adopción masiva de la misma.

Seguidamente, repasaremos las perspectivas sobre el empleo del uso de la IA en la producción, para pasar a repasar los riesgos e incertidumbres que despierta esta revolución tecnoproductiva que la hacen, aparentemente, distinta a todas las anteriores. No podemos dejar de decir que varios de los y las analistas tecnológicos y referentes en la materia señalan que esta revolución no es como las previas. Destacan que presenta ciertas características que la hacen especial, abriendo un escenario desconocido en todas las áreas de la vida, encendiendo las alarmas acerca de que la humanidad abrió la puerta para que su voluntad de elección sea hackeada. En el ámbito de la producción, particularmente, algunas personas sostienen, incluso, que constituye un nuevo factor de producción.

1. PRIMERAS EVIDENCIAS DEL IMPACTO DE LA IA EN LA INNOVACIÓN PRODUCTIVA

Un relevamiento periódico realizado a 1000 personas con cargos ejecutivos innovadores realizado por el Boston Consulting Group² da lugar al ranking de las empresas más innovadoras del año. El ejercicio señala varios datos interesantes en relación a la innovación privada y el impacto de la IA. Primero, que en diez años los dos sectores dominantes siguen siendo los mismos y mantienen su participación relativa: empresas tecnológicas y de transporte y energía. Segundo, que es notable el crecimiento dentro del ranking del sector salud y el de

* Especialista Regional del Programa

Políticas de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Oficina Regional de Ciencias para América Latina y el Caribe de la UNESCO

1. Más información en: <https://www.infobae.com/economist/2023/07/17/su-empresa-probablemente-no-esta-preparada-para-la-inteligencia-artificial/>.

2. El relevamiento se realiza en base a cuatro dimensiones: i) mentalidad global: número de votos recibidos de todos los ejecutivos de innovación globales; ii) opinión de los homólogos del sector: el número de votos recibidos de los ejecutivos del sector de la propia empresa; iii) disrupción industrial: índice de diversidad (Herfindahl-Hirschman) de los votos en los distintos sectores; y iv) creación de valor: rentabilidad total para el accionista, incluidas las recompras de acciones, durante el periodo de tres años comprendido entre enero de 2020 y diciembre de 2022. Más información en: <https://www.visualcapitalist.com/most-innovative-companies-2023/>.

telecomunicaciones -sectores donde la IA ha tenido fuerte penetración-, y la caída de los sectores de consumo de bienes y servicios, financiero y químico. Tercero, la predominancia de las empresas estadounidenses -principal potencia en el desarrollo de la IA-: la mitad de las primeras 50 empresas son de ese país, con 15 entre las primeras 20 y las seis primeras del ranking pertenecientes a los Estados Unidos.

¿Cuál es la relación entre este ranking y la inteligencia artificial? Las primeras diez empresas se componen de las cuatro grandes de la informática -al tope-, tres vinculadas fuertemente a las telecomunicaciones, dos del sector automotor y una del sector salud. En todas, la IA juega un rol determinante, ya sea por el uso o por su desarrollo. Es decir, las empresas que lideran el ranking de innovación global se vinculan con la IA, de una u otra manera. Las cuatro informáticas son responsables por los principales desarrollos de IA; la empresa que se cuela entre ellas en el top cinco es una automotriz que explora el desarrollo tanto de autos eléctricos como sin conductor, ambas cuestiones relacionadas con el avance de la IA, la misma reflexión que cabe para la otra automotriz presente en el top diez. En las telecomunicaciones, la generación de datos y el desarrollo de la telefonía móvil y las aplicaciones también se encuentran vinculados a la IA. La restante pertenece al sector salud: si bien podría ser visto como el más lejano, se vincula a desarrollos que cada vez más se basan en el uso de IA, como ser las vacunas en base a ARN mensajero, cuyo desarrollo y avance depende del uso de la IA.³

Es decir, la IA constituye una plataforma tecnológica (Proskuryakova *et al.*, 2017) que permite originar innovaciones en todos los sectores productivos; así, se constituye en un nuevo paradigma tecnoproductivo que cruza a todas las áreas de la producción. De qué forma lo hace es lo que vamos a procurar explorar más adelante.

2. LA IA COMO UN NUEVO FACTOR DE PRODUCCIÓN

El número 44 de la revista *Integración & Comercio* se dedicó a analizar las perspectivas de la IA para la región. Allí se planteaba: “La inteligencia artificial (IA) es más que una nueva ola de tecnología. Es un híbrido único de capital y trabajo, que crea una fuerza productiva completamente novedosa, con capacidad de autoaprendizaje” (Estevevadeordal *et al.*, 2018). Es decir, más que una tecnología que potencia al trabajo o al capital, como factores de producción, sería un nuevo factor que añadir a la ecuación productiva. Con eso en mente, en 2018 advertía lo que cada día se fue afirmando: si bien

las perspectivas a futuro señalaban que la región podría aprovechar la IA para incrementar su producto, lo haría de forma menor que el mundo desarrollado, ampliando la brecha existente.

Se sabe que el impacto de toda innovación depende de su capacidad de difusión y adopción por parte del conjunto de la sociedad (Geroski, 2000). Es decir, a mayor difusión, mayor productividad derivada de la adopción tecnológica. A lo largo de la historia pudimos observar como la electricidad se extendió más rápidamente que los tractores; la informática personal en la oficina tardó solo un par de décadas en superar el umbral del 50% de adopción, e internet se extendió aún más rápido. Durante el siglo XX, la adopción por parte del sector productivo de las nuevas tecnologías contribuyó a impulsar el crecimiento de la productividad. Sin embargo, no existen evidencias conclusivas sobre si lo que se acelera es la adopción de productos o la de la tecnología (Stremersch, Muller & Peres, 2010). En este siglo existen evidencias de una menor adopción por parte del sector productivo de los avances técnicos, a pesar de su rápida difusión social.⁴

Por lo tanto, se puede afirmar que, como con cualquier otra tecnología, el impacto económico de la inteligencia artificial depende del grado de adopción que se haga de ella. Para el caso de la IA, se tiene poca información aún para poder determinar tanto la adopción como el impacto, que varían de sector en sector productivo. Los costos de adopción, la falta de capacidades de absorción y la diferencia de tamaño entre sectores hacen pensar que la IA será adoptada de forma diversa, generando brechas más amplias y un tejido productivo más desigual. Sin dudas, es una tecnología que está penetrando rápidamente en la sociedad, pero no es tan claro cuán preparadas están las empresas para este cambio.⁵

Si acordamos con la idea de la IA como plataforma para un nuevo paradigma tecnoeconómico, es válido interrogarse entonces acerca de dónde estarán las fuentes de un nuevo crecimiento. Para Ovanessof y Plastino (2018, p. 10), “los economistas clasifican al capital y al trabajo como los factores de producción tradicionales que motorizan la expansión. El crecimiento se produce cuando se incrementan el stock de capital o el de trabajo, o cuando se los utiliza más productivamente. Los economistas siempre han pensado en las nuevas tecnologías como impulsores del crecimiento a través de su capacidad de aumentar la Productividad Total de los Factores (PTF). No obstante, la IA tiene potencial para convertirse no solo en otro impulsor de la PTF, sino en un nuevo factor de producción en sí mismo. La clave está en darse cuenta de que la IA es mucho más que simplemente una nueva ola de tecnología.

3. En un artículo de mayo de 2023 publicado por *Nature*, se remarca como una notable herramienta de inteligencia artificial diseña vacunas de ARNm más potentes y estables. Más información en: <https://www.nature.com/articles/d41586-023-01487-y>.

4. Según un artículo de prensa, “en 2020 solo el 1,6% de las empresas estadounidenses emplearán el aprendizaje automático. En el sector manufacturero estadounidense, solo el 6,7% de las empresas utilizan la impresión 3D. Solo el 25% de los flujos de trabajo empresariales están en la nube, una cifra que no se ha movido en media década”. Más información en: <https://www.infobae.com/economist/2023/07/17/su-empresa-probablemente-no-esta-preparada-para-la-inteligencia-artificial/>.

5. Más información en: <https://www.infobae.com/economist/2023/07/17/su-empresa-probablemente-no-esta-preparada-para-la-inteligencia-artificial/>.

Es un híbrido único de capital y trabajo”. Si lo que estos autores plantean fuera así, entonces estaríamos frente a un nuevo tipo de revolución tecno-productiva, una que no solo cambiará la forma de producción y sus impactos socioinstitucionales, sino una que modificará la relación de factores en la ecuación productiva, lo que presentará derivaciones sociales a partir de replantear la retribución a esos factores. Esta posibilidad debería ser mejor estudiada, pero aún carecemos de suficiente evidencia para determinar si el impacto sobre los factores de producción -capital y trabajo- es semejante al de anteriores disrupciones tecnológicas, modificando su peso en la función productiva, o si es un factor independiente que se agrega a la ecuación, desplazando a los otros dos.

3. IMPACTO DE IA EN DIFERENTES SECTORES PRODUCTIVOS

En base a lo que se sabe hoy, ¿cómo será el impacto de la IA en la producción? Aún estamos en una etapa muy temprana como para poder aseverar el escenario futuro y sacar conclusiones. Cómo mencionamos, la adopción por parte de las empresas de la IA es lenta. Lo que sí podemos hacer es mostrar algunos de los avances e impactos que están sucediendo en diversas áreas de la producción y que nos permiten imaginar posibles derivaciones del avance en la adopción de esta tecnología.

3.1. Industrias de base biológica

Las industrias de base biológica van desde aquellas orientadas a las ciencias de la salud y el cuidado personal, hasta las vinculadas a la producción de alimentos y la nutrición, la elaboración de biomateriales y el cuidado del medio ambiente. En general, sus innovaciones más recientes estuvieron vinculadas al desarrollo de las biociencias como herramienta clave para optimizar el sistema alimentario mundial, atender la escasez de recursos y abordar el cambio climático. A su vez, las biociencias se vieron potenciadas por la IA, por ejemplo, a partir de aplicar *machine learning* en bioingeniería para la identificación automática de patologías en imágenes de resonancia magnética y la predicción de la estructura y función de proteínas a partir de sus secuencias de aminoácidos.

Diversas situaciones dan cuenta del avance de las ciencias biológicas de la mano de los algoritmos, que se utilizan para analizar grandes conjuntos de datos biomédicos -imágenes médicas, registros de señales biológicas y datos genómicos, entre otros-, y desarrollar modelos predictivos para diagnosticar enfermedades, predecir resultados de

tratamientos y mejorar la toma de decisiones clínicas, entre muchas otras cosas.⁶ Por ejemplo, la aplicación de IA en biociencias para modelar comportamientos biológicos y avanzar en experimentación computacional de la mano de la bioinformática. Un laboratorio de Osaka, por caso, aplicó IA para acelerar y mejorar “el éxito de reconfigurar sustancialmente el modo de acción específico de una enzima, sin alterar fundamentalmente la función de la enzima”.⁷ Estos avances podrán ser aplicados tanto en la industria farmacéutica como en la generación de biocombustibles.⁸

Otra muestra de la relevancia del uso de IA para las biociencias fue el anuncio, en enero del 2021, de la creación del primer laboratorio de IA para biociencias de Europa, cuya misión es acercar la IA a la biofabricación a gran escala, desde el desarrollo de cepas microbianas hasta la optimización y programación de procesos, procurando reducir el tiempo dedicado a los ciclos de innovación, desde la creación de prototipos hasta el escalado y la comercialización, para acelerar los procesos mediante IA.⁹ Y estos ejemplos se van ampliando. Es decir, la biología, de la mano de la IA, se aplica cada vez más a los procesos productivos al ser manipulada como cualquier otro bien de capital asociado a la función de producción de una industria. Así se observan inversiones e impactos diversos en las industrias tradicionalmente asociadas a lo biológico, como la agroindustria, la farmacéutica y la salud, que estaremos repasando a continuación.

3.2. Agroindustria

Dos grandes tendencias en las que se desarrolla el devenir de la humanidad impactan directamente sobre la producción agrícola: el crecimiento demográfico y el cambio climático. Por un lado, las proyecciones realizadas plantean que la población mundial llegará a los 8.500 millones de habitantes en 2030 y a los 9.700 millones en 2050, para alcanzar una población estable en 10.400 millones en 2100.¹⁰ Por el otro, las consecuencias del cambio climático están modificando las condiciones ambientales en las cuales se llevan adelante las actividades agrícolas, lo que obligará a mover fronteras, cambiar regímenes de lluvia y reubicar poblaciones.

Atender las necesidades alimenticias de esa población en aumento, con un entorno cambiante, exige mejorar las tecnologías agrícolas, y ser más precisos en su actividad y esto además debe hacerse de un modo seguro. La inteligencia artificial se presenta como una herramienta clave para ayudar a la agricultura a adaptarse a los efectos del cambio climático y mitigar sus impactos. Al aprovechar la IA, quienes desarrollan la agricultura pueden, por

6. Más información en: <https://noticias.usal.edu.ar/es/inteligencia-artificial-aplicada-la-bioingenieria-y-bioinformatica>.

7. Más información en: <https://actualidad.rt.com/actualidad/447018-inteligencia-artificial-facilita-trabajo-ingenieria-enzimas>.

8. Según un artículo, estos “requieren ajustar cuidadosamente la versatilidad de las enzimas a diferentes entornos bioquímicos, incluso en ausencia de estructuras cristalinas de enzimas correspondientes”. Más información en: <https://actualidad.rt.com/actualidad/447018-inteligencia-artificial-facilita-trabajo-ingenieria-enzimas>.

9. Más información en: <https://www.bioeconomia.info/2021/01/28/crean-el-primer-laboratorio-de-inteligencia-artificial-para-biociencias-de-europa/>.

10. Más información en: <https://www.un.org/es/global-issues/population#:~:text=Est%C3%A1%20previsto%20que%20la%20poblaci%C3%B3n,y%2010.400%20millones%20en%202100>.

ejemplo, tomar decisiones informadas basadas en datos y anticiparse a los fenómenos o cambios climáticos.

Como plantean varios estudios, la agricultura aplica la automatización y la precisión en sus prácticas para optimizar la producción (tecnologías de orientación y detección, cartografía de cultivos, analítica y otras tecnologías basadas en datos), a lo largo de todo el ciclo agrícola. Con la IA ha sido posible la predicción y la reacción rápida ante situaciones agrícolas impredecibles.¹¹

También se observa una tendencia creciente hacia la automatización de procesos en la agricultura, con los robots agrícolas con más protagonismo en la producción de alimentos. La IA permite identificar y alcanzar una velocidad que supera la capacidad humana al mismo tiempo que, gracias a la automatización, las acciones agrícolas pueden ser consistentes y precisas a gran escala.¹² Por ejemplo, se están desarrollando soluciones con mayores grados de eficiencia y optimización a partir de sistemas de inteligencia artificial para la detección de ciertos productos y lecturas de precisión, acompañados de equipos de navegación autónoma combinados con robótica colaborativa.¹³ De esta forma, estas nuevas modalidades de producción agrícola son más productivas y eficientes, y a la vez mucho menos demandantes de trabajo humano.

3.3. Servicios de salud

Con Estados Unidos y China a la cabeza, se estima que la inversión global en IA se ha incrementado en un 108% respecto al año anterior. De esta cantidad, el 18% corresponde al cuidado de la salud.¹⁴ Según un artículo publicado por la Corporación Andina de Fomento (CAF), se estima que las inversiones en IA a nivel global en salud en 2025 se acercarán a los 36 mil millones de dólares, lo que sería un 50% más que lo invertido en 2018. Allí el autor trae a colación las ventajas del uso de la IA en la salud: automatización de tareas, mayor eficiencia en la atención médica -a través de una mejor planificación, diagnóstico y capacidad de pronóstico- y posibilidad de realizar atención remota, mediante la telemedicina. Para el artículo, los desafíos para avanzar se concentran en invertir en infraestructura, contar con una regulación adecuada, y la educación del personal de salud y los y las pacientes para operar con las nuevas modalidades de provisión del servicio.¹⁵

Existe un creciente y amplio listado de impactos que la IA está generando en el sector salud, que van desde detectar patrones a partir de datos biométricos, hasta la segmentación de pacientes, procurando aplicar tratamientos pertinentes con mayor velocidad,¹⁶ pasando por la optimización de procedimientos y recursos a partir de reducir el número de visitas presenciales y un seguimiento a distancia, o facilitando diagnósticos de imágenes más precisos, entre otros.

Recientemente un grupo de investigadores de Google publicó en Nature los resultados del modelo de inteligencia artificial generativa que desarrollaron y que se alimenta de grandes bases de datos y organiza esa información para dar respuestas a las consultas humanas sobre salud. Según el artículo, en solo tres meses las respuestas generadas por su modelo pasaron de apenas aprobado a “nivel experto” en los tests que miden su capacidad de respuesta a estas cuestiones. Según un panel de personas expertas, las respuestas coincidían en un 92,9% con el consenso científico, ligeramente mejor que lo que suele dar la muestra de las respuestas dadas por médicos o médicas humanas.¹⁷

Este no sería el único caso. Frecuentemente vemos en la prensa artículos que nos cuentan sobre el avance y uso de la IA para la determinación del origen de tumores, así como también para el desarrollo de nuevos medicamentos para su tratamiento, o de la posibilidad que ha dado el tratamiento de diagnósticos tempranos a través del análisis de imágenes, o cómo se podría hacer más rápido el diagnóstico de la insuficiencia cardíaca.^{18 19} Estos casos muestran la revolución que la provisión de servicios de salud y la “industria de la salud” están transitando a partir de la IA.

Sin dudas, todo ese horizonte de posibilidades que abre el uso de la IA para la industria de servicios médicos también plantea una reorganización completa de lo que hasta la fecha conocemos como los servicios de salud. Pensemos sin ir más lejos en lo que se conoce como “relación profesional-paciente”, los procesos de consentimiento informado, el principio de autonomía, los debates éticos en salud, entre muchos otros aspectos fundamentales. Todo ello también se está revolucionando como consecuencia de la IA. Algunos posibles escenarios futuros hablan de pasar de la medicina tradicional actual a

11. “En 2019, la IA ya generó un ingreso de 1091,9 millones de dólares en el mercado de la agricultura y se prevé que alcance los 3807,3 millones de dólares hasta el 2024”. Más información en: <https://opia.fia.cl/601/w3-article-116120.html>.

12. “Las empresas como John Deere, que utilizan la IA y el aprendizaje automático en sus equipos, están ayudando a los agricultores a tener más éxito en sus cosechas y reducir el impacto en la tierra y el medio ambiente”. Más información en: <https://opia.fia.cl/601/w3-article-116120.html>.

13. Más información en: <https://www.ainia.es/ainia-news/inteligencia-artificial-herramienta-desafios-agricultura/>.

14. Más información en: <https://utec.edu.pe/blog-de-carreras/bioingenieria/el-negocio-de-la-inteligencia-artificial-ia-en-la-industria-de-los-farmacos>.

15. Más información en: <https://www.caf.com/es/conocimiento/visiones/2021/09/como-puede-la-inteligencia-artificial-mejorar-la-salud-de-los-latinoamericanos/>.

16. Más información en: <https://stayrelevant.globant.com/es/technology/data-ai/ia-pharma-papel-inteligencia-artificial-medicamentos-futuro/>.

17. Más información en: <https://elpais.com/salud-y-bienestar/2023-07-13/la-inteligencia-artificial-acierta-como-medicos-de-elite-en-algunas-cuestiones-de-salud.html>.

18. Más información en: <https://www.infobae.com/america/ciencia-america/2023/08/14/estudian-un-modelo-de-inteligencia-artificial-que-ayuda-a-determinar-el-origen-de-los-tumores/>.

19. Más información en: <https://www.infobae.com/america/ciencia-america/2023/09/07/con-inteligencia-artificial-el-diagnostico-de-la-insuficiencia-cardiaca-se-podria-hacer-mas-rapido/>.

sistemas preventivos, a partir de un monitoreo permanente asociado a nuestra generación de datos continua. Lo que va desde la medición que ya generan nuestros dispositivos electrónicos -básicamente, los teléfonos inteligentes- hasta el desarrollo de nuevos aparatos -externos o internos- a partir de incorporaciones subcutáneas.²⁰

Sin embargo, las dudas y riesgos son muchos. En particular, el uso que se haga de la información privada, y muchas veces sensible, y los retrocesos que pueden generarse en materia de autonomía, así como los sesgos que se pueden aplicar para campañas de prevención o control social.²¹

3.4. Industria farmacéutica

Compañías farmacéuticas alrededor del mundo están invirtiendo miles de millones de dólares en tecnologías de IA. Por ejemplo, durante 2021, Roivant Sciences, una compañía farmacéutica con base en Suiza, compró por 450 millones Silicon Therapeutics, una compañía que usa IA, métodos cuánticos y simulaciones. También se puede mencionar que, Generate Biomedicines, una compañía que combina IA y terapias de proteínas, obtuvo inversiones de 370 millones.²² Pero no solo compañías del mundo farmacéutico están apostando al uso de la IA en el sector. Deepmind, parte de Alphabet Inc., la compañía matriz de Google, lanzó AlphaFold, un sistema informático basado en IA para detectar nuevas moléculas terapéuticas al ser capaz de predecir estructuras de proteínas, con resoluciones comparables a las obtenidas experimentalmente. Pero, ¿por qué este interés en IA por parte del sector farmacéutico? El desarrollo de un nuevo medicamento requiere grandes inversiones de recursos humanos, financieros y tiempo, todos componentes que atentan contra cualquier apuesta innovadora, la incertidumbre que esta conlleva y las necesidades urgentes que se presentan, como se pudo ver con la pandemia de COVID-19.²³

La obtención de un nuevo medicamento listo para salir al mercado puede demandar hasta 12 años y costar entre casi 2 y 3 mil millones de dólares.²⁴ La IA contribuye a agilizar el descubrimiento y desarrollo de fármacos al disminuir costes de investigación y porcentaje de fracasos en ensayos clínicos, permitiendo realizar la investigación en modelos computacionales, acelerando etapas de laboratorio al reducir a algunos meses etapas que pueden demandar varios años.²⁵

En las primeras fases del descubrimiento del medicamento, la IA también facilita el análisis de ensayos celulares o la predicción de propiedades fisicoquímicas de compuestos. En este contexto, la inteligencia artificial tiene la capacidad de generar una hipótesis de manera más rápida y acelerar el ensayo clínico de un fármaco. La IA no solo optimiza las primeras fases del proceso, sino que también aporta beneficios en la optimización de la administración de medicamentos, o en el control de calidad.²⁶ A la vez, en el proceso propio de fabricación de los medicamentos, el uso de IA permite mejorar la calidad de los fármacos durante su fabricación, aplicando *deep learning* en el análisis a producto; mejorar la seguridad de los trabajadores, ya que con visión artificial se puede también detectar cualquier riesgo de seguridad ya sea para personas o para el negocio; y optimizar las operaciones industriales y generar una reducción de merma. También podría contribuir a disminuir los riesgos en quienes participan de los ensayos. En la comercialización, gracias al manejo de grandes bases de datos, se pueden establecer patrones de compra y suministro de medicamentos para detectar fraudes y abuso en el mercado farmacéutico, optimizar la cadena de suministro y gestionar la comunicación con su red de clientes con asistentes virtuales y a través de nuevos canales.²⁷

Todos estos avances no están exentos de riesgos y dudas. La seguridad de los datos, la ética en la toma de decisiones al aplicar IA, la complejidad de los sistemas para poder aprovechar la nueva tecnología y la demanda de personal capacitado, son algunos de los desafíos que surgen para poder avanzar con el uso de IA en el sector, y que pueden atentar contra la adopción de la misma.²⁸ Se podría decir, que a la par del sector de salud, la industria farmacéutica también está transitando una revolución. Esto implica renovar los debates, análisis y aspectos que se desarrollan alrededor de toda la producción de un medicamento, así como sus fases de experimentación y prueba. Cabe resaltar que la IA, con sus mejoras, no puede obviar o ignorar los aspectos éticos que igualmente deben cumplirse. Ese equilibrio es también un desafío.

3.5. Industria metalmeccánica

La IA se va incorporando a la producción industrial, contribuyendo a optimizar procesos, prevenir fallas y establecer procesos trazables más eficientes. Así se puede

20. Durante la pandemia, se desarrollaron algoritmos de inteligencia artificial que, a través de la historia de búsqueda en la web y redes sociales, permitía rastrear y predecir el aumento de casos de covid-19 en un territorio con hasta seis semanas de antelación. Más información en: <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Tus-busquedas-en-internet-pueden-ayudar-a-predecir-brotos-de-covid>.

21. Más información en: <https://www.wired.com/story/argentina-algoritmo-embarazada-prediccion/>.

22. Más información en: <https://utec.edu.pe/blog-de-carreras/bioingenieria/el-negocio-de-la-inteligencia-artificial-ia-en-la-industria-de-los-farmacos>.

23. Más información en: <https://www.pmfarma.com/articulos/3714-12-usos-de-la-inteligencia-artificial-en-el-sector-farmacoyutico.html>.

24. Más información en: <https://stayrelevant.globant.com/es/technology/data-ai/ia-pharma-papel-inteligencia-artificial-medicamentos-futuro/>.

25. "Las proteínas tienen diferentes funciones en nuestro cuerpo: aceleran reacciones metabólicas (enzimas), regulan el paso de moléculas entre la membrana celular (canales y bombas), forman parte de tejidos (colágeno), protegen nuestro cuerpo de patógenos (anticuerpos), etc.". Más información en: <https://utec.edu.pe/blog-de-carreras/bioingenieria/el-negocio-de-la-inteligencia-artificial-ia-en-la-industria-de-los-farmacos>.

26. Más información en: <https://thelogisticsworld.com/innovacion/impacto-de-la-inteligencia-artificial-en-la-industria-farmacoyutica/>.

27. Más información en: <https://www.pmfarma.com/articulos/3714-12-usos-de-la-inteligencia-artificial-en-el-sector-farmacoyutico.html>.

28. Más información en: <https://thelogisticsworld.com/innovacion/impacto-de-la-inteligencia-artificial-en-la-industria-farmacoyutica/>.

observar la incorporación de IA en las etapas de control de calidad, optimización de la cadena de suministro, mantenimiento predictivo y productivo, eficiencia energética, eficiencia productiva (OEE), trazabilidad y seguridad en la planta de producción.²⁹

En mercados como los que conforman las empresas metalmeccánicas globalmente, la competencia radica en la eficiencia, asociada a calidad y precisión -vinculada no solo al proceso productivo, sino también a los tiempos y logística de provisión-, que da garantías de cumplimiento. Al mismo tiempo, los procesos de este sector se encuentran cada vez más automatizados, generando enormes volúmenes de datos factibles de ser procesados para una mayor eficiencia. Ambas cuestiones derivan naturalmente en la incorporación de IA en los procesos para una mejora en la eficiencia de producción y provisión.³⁰

La aplicación de *machine learning* y análisis predictivo en la cadena de producción permiten, a partir de los datos generados por sensores asociados al proceso, detectar patrones que predicen fallas antes de que sucedan, guiando así la transformación del modelo hacia procesos más seguros y rentables, alargando la vida útil de los equipos. También permite optar por procesos menos contaminantes, reduciendo desechos y minimizando los desperdicios. Es decir, la aplicación de la IA en la producción metalmeccánica supone una disrupción en la manera de hacer las cosas. Estas mejoras en el proceso de producción se verificarán desde la robotización de la mayor parte hasta en las etapas más específicas de soldadura, donde la IA permitirá una parametrización más precisa, el análisis y la selección de materiales de aporte y diseños de juntas y mejorar el control de calidad.³¹

3.6. Industria automotriz

En el caso de la industria automotriz, la IA la ha transformado de varias maneras, desde la fabricación hasta la experiencia de las personas usuarias. Así, como en los demás sectores productivos, se pueden observar tanto innovaciones de proceso, a partir del impacto de la incorporación de IA en la producción con la automatización y robotización de los procesos, como de producto, en el tipo de vehículo que se termina lanzando al mercado, incidiendo así en la relación con el humano. En este último sentido, se observan avances hacia el vehículo autónomo -sin una persona que lo conduzca-, pasando por todas las etapas que conforman al "auto inteligente", donde la combinación de sensores y algoritmos mejoran la eficiencia, seguridad y calidad de los vehículos.³² Dado que la industria automotriz hace tiempo que en su proceso productivo incorporó la automatización, quizás lo más llamativo comienza a darse en el producto final.

Los automóviles inteligentes han incorporado el uso de sensores y cámaras que alimentan algoritmos de aprendizaje autónomo para la toma de decisiones en la conducción, en línea con la conducción autónoma; elementos de confort administrados por IA a través de incorporar una gama de entretenimientos "a bordo", aprendiendo las preferencias de las personas, ya sea que conduzcan o sean pasajeras, para una conducción y viaje más cómodo y personalizado; y un mantenimiento predictivo y anticipatorio, a partir del cual, también por sensores e IA, pueda detectar y prevenir fallas anticipadamente, alentando arreglos preventivos de forma similar a lo que está sucediendo en salud humana. Es decir, la IA está incidiendo en la experiencia usuario-vehículo de tal forma que hoy observamos asistentes de voz para controlar los periféricos (música, navegación y otros comandos); alertas de seguridad, a través de los sensores que acompañan la conducción, como ser el frenado automático o el alineamiento con el carril; navegación inteligente, basada tanto en rutas más eficientes, como en otras preferencias y hábitos de conducción; y comunicación de vehículo a vehículo, salteando la interacción humana en el proceso y proporcionando información en tiempo real sobre las condiciones del tráfico y otros peligros en la carretera.³³

Ahora bien, la mayoría de los CEO del sector ha entendido que el uso de IA en la industria automotriz, como toda oportunidad de progreso tecnológico, es tanto una exigencia como un riesgo.³⁴ En el ámbito de la producción y las innovaciones de proceso, la forma quizás más extendida de aplicación de la IA en los procesos de producción automotriz se verifica mediante el uso de robots (o *cobots*) programados para ensamblar partes del automóvil mediante sensores que detectan el momento exacto en que hay que unir una parte con otra, instalar tornillos en el motor, pintar partes de la carrocería o hacer ajustes en el interior del auto, entre otras operaciones.³⁵ El uso de IA en el ensamblado garantiza mayor precisión, menor margen de error y mayor seguridad, ya que las máquinas no se cansan y están programadas para efectuar tareas monótonas y mecánicas, garantizando mayor calidad, debido a su capacidad superior de ejecutar tareas que exigen mayor sofisticación y exactitud. Todo ello redundando en un aumento de la productividad.³⁶

3.7. Sector servicios

La IA y las grandes bases de datos existentes en la nube facilitan la interacción, colaboración, unificación, recopilación y gestión de enormes volúmenes de datos de múltiples proveedores de servicios, independientemente de la tecnología de terceras personas que utilicen ese servicio. El procesamiento de esos datos permite generar información

29. Más información en: <https://tecnologiaparalaindustria.com/inteligencia-artificial-en-el-sector-industrial-y-manufactura/>.

30. Más información en: <https://institutoasteco.com/asteco/inteligencia-artificial-en-la-metalmeccanica/>.

31. Más información en: <https://institutoasteco.com/asteco/inteligencia-artificial-en-la-metalmeccanica/>.

32. Más información en: <https://mexico.as.com/futbol/como-esta-impactando-la-inteligencia-artificial-en-la-industria-automotriz-n/>.

33. Más información en: <https://thelogisticsworld.com/tecnologia/tendencias-en-inteligencia-artificial-para-el-sector-automotriz/>.

34. Más información en: <https://www.telcel.com/empresas/tendencias/notas/inteligencia-artificial-en-industria-automotriz>.

35. Más información en: <https://www.telcel.com/empresas/tendencias/notas/inteligencia-artificial-en-industria-automotriz>.

36. Más información en: <https://www.telcel.com/empresas/tendencias/notas/inteligencia-artificial-en-industria-automotriz>.

que identifique patrones y conductas de las personas usuarias, mejorando la calidad, precisión y temporalidad de los servicios que se pueden ofrecer, llegando incluso a anticipar la decisión individual. En consecuencia, se puede observar el uso de IA como herramienta para generar el máximo beneficio en diferentes aplicaciones -generación de contenidos, traducción automática o generación de síntesis automática de la información, entre muchas otras- asociadas a la provisión de servicios.

Así es que se verifica, por ejemplo, la aplicación de desarrollos de IA en la atención al cliente de diferentes empresas -básicamente a través de *chatbots*-, cada vez más en el desarrollo de *software* -al generar código automáticamente, acelerando los procesos y reduciendo así las horas necesarias de desarrolladores-, en los servicios de salud -en el diagnóstico, la administración de turnos, la planificación de tratamientos y la investigación médica-, en el sector financiero -para analizar datos financieros y generar informes, previsiones y perspectivas para la toma de decisiones-, en educación - para desarrollar experiencias de aprendizaje personalizadas para estudiantes-, en marketing -permitiendo la creación de contenidos como posts en redes sociales y campañas publicitarias-, en la consultoría jurídica y de gestión -al proporcionar apoyo en la toma de decisiones al analizar rápidamente grandes cantidades de documentos y datos, identificando la información relevante y proporcionando perspectivas útiles-, y en recursos humanos -para el análisis automatizado de solicitudes de empleo e identificar la mejor correspondencia con los perfiles a seleccionar, ayudando en los procesos de contratación-.³⁷ La lista podría continuar extensamente.

Sectores de lo más diversos pueden aprovechar esta posibilidad. Así, por ejemplo, una empresa sueca generó una plataforma con IA para mantener la calefacción en los hogares de forma fiable. Para ello, está digitalizando y automatizando la producción de calefacción urbana para administrar mejor la creciente demanda de la red y optimizar la producción de energía. A partir de la recopilación de datos de energía de toda su red durante varios años, cruzados con otras fuentes de datos -patrones del clima, tiempos de distribución, variables sociales-, pudieron estudiar los patrones de consumo de sus usuarios y optimizar los procesos de producción y distribución de energía.³⁸

Asimismo, en el sector bancario la aplicación de IA posibilita un mejor conocimiento personalizado de sus clientes, lo que puede transformarse en una mejor atención, así como también en una mejora en la seguridad - congelar una tarjeta ante la aparición de un patrón de compras

diferente al habitual-, una optimización de la gestión de créditos -realizando ofertas a medida- y una prevención de la morosidad -de forma tal que fortalezca la institución para prevenir posibles riesgos financieros-, entre otras aplicaciones.³⁹ En contrapartida, la aplicación de IA también puede derivar en cuestiones socialmente complejas, si sus datos no son inclusivos, y no se desarrolló teniendo en cuenta principios éticos, más allá de si existe una debida política de protección de datos. Por ejemplo, el caso de una tarjeta de crédito que daba menos crédito a las mujeres porque las suponía menos solventes.⁴⁰

El uso de IA en el sector servicios permitirá un desarrollo cada vez más rápido de la tecnología y sus paradigmas de aplicación, orientándose a la eficiencia de los procesos y la eficacia y la calidad de los contenidos producidos. Sin embargo, varios interrogantes y desafíos se presentan actualmente ante el avance de esta tecnología, sobre todo de la mano de la incertidumbre sobre el devenir del empleo en el futuro -particularmente el de varias profesiones, las que están manifestando de diferente modo su preocupación-.

Recientemente se ha generado una huelga en la industria del entretenimiento en Estados Unidos, liderada por el Sindicato de Guionistas y el Sindicato de Actores de Estados Unidos. El conflicto entre actores, guionistas y otros profesionales y las grandes productoras de contenido audiovisual fue provocado, en parte, por la inteligencia artificial y su uso en la industria. Este temor se funda en el avance de la IA generativa que aprende de textos e imágenes para producir automáticamente nuevas obras escritas y visuales, lo que podría reemplazarlos en el trabajo.⁴¹ Situaciones como estas se replican en otros ámbitos, con mayor o menor repercusión.

4. EL EMPLEO Y LOS DESAFÍOS DE LA IA

Un informe de 2017 afirmaba que alrededor del 50% del tiempo dedicado a actividades de trabajo humano en la economía global era pasible de ser automatizable, lo que abría un horizonte de cambio laboral que insinuaba la sustitución de trabajo humano por máquinas, haciendo prever que aquellas actividades rutinarias y con poca capacitación o formación previa fueran factibles de ser sustituidas, augurando una creciente brecha entre profesiones (Manyika *et al.*, 2017). Las tareas más creativas y de mayor calificación en principio aparecían resguardadas del avance tecnológico.

Actualmente, la inteligencia artificial generativa, de reciente irrupción masiva, ha despertado una nueva ola de estudios

37. Más información en: <https://leyton.com/es/insights/articles/inteligencia-artificial-uso-aplicaciones-e-impacto-en-el-sector-servicios/>.

38. Más información en: <https://pulse.microsoft.com/es-es/transform-es-es/manufacturing-es-es/fa2-la-sociedad-del-futuro-una-empresa-de-servicios-revoluciona-el-sector-energetico-con-la-inteligencia-artificial/>.

39. Más información en: <https://www.santander.com/es/stories/inteligencia-artificial>.

40. Apple Card, la primera tarjeta de crédito emitida por la conocida marca en colaboración con Goldman Sachs, sufrió la queja de David Heinemeier Hansson, quien criticó abiertamente a Apple después de que él y su esposa fueron aprobados para usar la tarjeta, ya que, a pesar de que ambos tenían un puntaje crediticio idéntico, el límite de gasto de ella era en realidad 20 veces menor. Más información en: <https://www.latimes.com/espanol/eeuu/articulo/2019-11-11/apple-card-sex-prejuicio-algoritmos-new-york-reguladores-goldman-sachs>.

41. Más información en: <https://www.infobae.com/cultura/2023/08/28/como-la-ia-esta-cambiando-el-negocio-del-cine-y-la-television/>.

en base a modelos teóricos que analizan el impacto de la tecnología sobre el empleo del futuro. Por ejemplo, un estudio realizado sobre el impacto de ChatGPT4 en 1.016 ocupaciones que se desarrollan en Estados Unidos plantea que el 19% de los trabajadores puede sufrir una afectación de al menos en el 50% de sus tareas. Lo novedoso pasa porque, en dicho análisis, los trabajos más susceptibles de ser reemplazados serían aquellos que exigen alta formación, como programación o análisis de datos.⁴² Es decir, las perspectivas de cómo afectará el avance tecnológico basado en IA no es todavía muy preciso.

Mustafa Suleyman, fundador del fabricante de *chatbot Inflection*, advirtió recientemente de que la IA crearía “un gran número de perdedores”, ya que los robots inteligentes dejarían sin trabajo a los profesionales universitarios. Abogados, redactores y programadores son algunos de los que temen que sus funciones se vean alteradas o suplantadas por *chatbots* que ya son capaces de ingerir montones de datos y expresar argumentos razonados.⁴³ Como declara en una nota de prensa un especialista en educación y trabajo del Banco Mundial, “vemos que, en general, las profesiones más afectadas son las mejor pagas y las que requieren mayor nivel de educación. Esto se debe principalmente a la naturaleza de estas tecnologías. No es ya la automatización de un robot en, por ejemplo, la industria automotriz, sino que crean lenguaje, arte, tareas que en general no son manuales e implican altos niveles de formación y creatividad”.⁴⁴

Las perspectivas en el remplazo de puestos de trabajo por IA tendrán impactos dispares sobre la población, pudiendo incrementar inequidades existentes o bien generar nuevas. Así, con la automatización impulsada por la IA, surgen retos aún mayores. Aunque la automatización promete eliminar las ocupaciones manuales peligrosas y sustituir las tareas repetitivas, las investigaciones del Fondo Monetario Internacional y del *Women's Policy Research Institute* han revelado que las mujeres corren un riesgo significativamente mayor que los hombres de ser desplazadas de sus puestos de trabajo debido a la automatización. Según un estudio realizado en Estados Unidos, las mujeres están sobrerrepresentadas en puestos administrativos, cuyo potencial de automatización mediante IA se ha estimado en un 60% en el país. De hecho, la mayoría de los trabajadores que ocupa puestos con alto riesgo de automatización -oficinistas, administrativos, contables y cajeros- son mujeres.

Ante este escenario incierto y un tanto pesimista, un reciente informe de OIT en Argentina plantea que la perspectiva podría variar si se analizan tareas en vez de trabajadores o trabajadoras. En este sentido, se cita la visión teórica relativamente optimista de Acemoglu

y Restrepo, que sugieren que “existe un conjunto de fuerzas potencialmente compensatorias. En primer lugar, indican los autores, la sustitución induce un incremento de la productividad que expande toda la economía, dando lugar a una mayor demanda de mano de obra en tareas no automatizadas (en el propio sector robotizado, o en otros). Segundo, explican, la automatización permite una mayor acumulación de capital (inversión), estimulando la demanda de mano de obra en la producción de los bienes que incorporan conocimiento. En tercer término, se observa que la tecnología opera no solo sobre el factor trabajo sino también sobre el factor capital, haciéndolo más productivo, lo que también presiona al alza la demanda de trabajo. Pero aun asumiendo que estos efectos favorables sobre el empleo son poderosos, la predicción más factible es que la automatización en curso reduciría la participación de los trabajadores en el ingreso nacional”.⁴⁵

Por tanto, la perspectiva laboral y del trabajo en el futuro no resulta muy clara y hace pensar en que habrá una menor demanda, al menos para aquellos trabajos del sector manufacturero, a la par que se estarán creando nuevos puestos de trabajo asociados a la generación de nuevas oportunidades generadas por el nuevo entorno tecnoproductivo de la mano de la IA, como sucedió en las previas revoluciones tecnoproductivas.

5. RIESGOS E INCERTIDUMBRE

La irrupción de la IA como nuevo paradigma tecnoproductivo, si bien enciende ciertas alarmas y promete ganadores y perdedores, no se diferencia significativamente de lo que supuso la máquina a vapor, el motor a combustión o el surgimiento de la informática como revoluciones tecnoproductivas. En todos esos casos, se dio la destrucción creadora explicada por Schumpeter, y se precisó de readecuar los marcos institucionales y regulatorios a las nuevas circunstancias. ¿Cuáles serían, entonces, los riesgos diferenciales de esta tecnología a los que deberíamos prestar mayor atención?

Yuval Noah Harari, historiador y escritor, en su libro *Homosapiens*, plantea que la supremacía de nuestra especie radica básicamente en su capacidad de cooperación en grandes números. La cooperación colectiva de millones de personas por un mismo objetivo sin siquiera conocerlos, es lo que nos hace poderosos. Es lo que nos permite producir los bienes y servicios que demandamos, viajar al espacio y avanzar en términos de conocimiento a partir de la cooperación y su transmisión. Continuando con su razonamiento, la cooperación se fundamenta en el lenguaje, la posibilidad de narrarnos historias. El lenguaje nos permite compartir ideas, construir ideales comunes.

42. Más información en: [arXiv:2303.10130](https://arxiv.org/abs/2303.10130) y <https://digitaleconomy.stanford.edu/publications/gpts-are-gpts-an-early-look-at-the-labor-market-impact-potential-of-large-language-models/>.

43. Más información en: <https://www.ft.com/content/4ded4c1d-5e99-42bf-9aa8-ea6e634aa060>.

44. Más información en: <https://www.infobae.com/realidad-aumentada/2023/08/21/y-ahora-que-estudiamos-las-profesiones-que-creamos-a-salvo-son-las-que-mayor-riesgo-corren-ante-la-ia/>.

45. Más información en: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---americas/---ro-lima/---ilo-buenos_aires/documents/publication/wcms_749337.pdf.

SÍNTESIS

Las historias habilitan que, aún sin vernos, sin conocernos, podamos cooperar, contribuir a una misma causa, sentirnos partes de una comunidad. Así, podemos integrar religiones, ser miembros de una nación o fanáticos de un equipo deportivo junto a otro conjunto de personas que nunca llegaremos a conocer. Compartiremos una misma pasión, aunque no nos conozcamos. Esa capacidad fue la que, para el autor, permitió que el homo sapiens domine el mundo. La IA es un desarrollo tecnológico capaz de hackear el lenguaje humano y, por lo tanto, capaz de poner en riesgo la característica particular que hizo del homo sapiens la especie dominante del planeta. Es decir, la IA, en su posibilidad de desarrollar historias autónomamente, de formas tan verosímiles como para que el conjunto de la humanidad las tome por válidas, aunque a veces no lo sean, implicaría la posibilidad de direccionar la potencia de la cooperación en sentidos que no necesariamente respondan a la voluntad humana. Un ente autónomo al dominio de la humanidad podría estar orientando y dirigiendo a su voluntad el rebaño del conjunto.

Harari no está solo en su preocupación. Quienes desarrollan dichas tecnologías son quienes más temen las posibles derivaciones de su avance. Los tecnólogos y tecnólogas han encendido las alarmas y han obligado a actuar a los organismos reguladores de todo el mundo.⁴⁶ Temen que la IA pueda, entre otras cosas, acabar con una gran cantidad de puestos de trabajo y remodelar la sociedad si sigue desarrollándose en su trayectoria actual.⁴⁷ La posibilidad de que un sistema informático sea capaz de generar nuevos conocimientos científicos y realizar cualquier tarea que puedan realizar las personas humanas -una inteligencia general artificial (IGA)- es sobre lo que más inversión se está realizando. El éxito de conseguir una IGA no se visualiza muy lejano, con proyecciones que van de una década al medio siglo.⁴⁸ Hay muchas posibilidades de que se produzca una catástrofe en el mediano plazo, cuando exista ese sistema informático. Uno de los temores más extendidos es que la IGA, capaz de aprender por sí misma, suplante rápidamente a la inteligencia humana, desarrollándose en ciclos cada vez más rápidos hasta convertirse en una "superinteligencia". Eso podría anunciar la redundancia, o la extinción, de la especie humana.⁴⁹

Sin viajar muy adelante en el tiempo, como vimos a lo largo de todo este texto, la IA ya plantea muchos más riesgos inmediatos. Todas cuestiones que demandan una regulación del uso de la IA en favor de la humanidad y el desarrollo sostenible, para lo que es necesario alcanzar acuerdos globales y unánimes. Y tenemos que apurarnos, ya que hay que regularla antes de que sea más inteligente que nosotros y nosotras.

En el marco de mercados competitivos, la producción industrial recurre a la innovación y la incorporación de tecnología para lanzar un producto nuevo para el mercado o para mejorar su productividad. Es decir, reducir el costo por unidad, haciéndolo en menor tiempo o, con la misma cantidad de insumos, fabricando más productos que sus competidores. En esa línea, hemos podido observar que la IA, al procesar grandes cantidades de datos y automatizar procesos, permite una mayor velocidad de respuesta, lo que redundará en una mayor eficiencia, menor cantidad de desperdicios y menos tiempos muertos. En contrapartida, la incorporación de IA al proceso productivo, como toda nueva tecnología, demanda fuertes inversiones, la capacitación del personal y el rediseño de procesos y organizaciones ya establecidas.

Hasta acá, nada nuevo bajo el sol. La irrupción de la IA como plataforma tecnológica preanuncia el mismo efecto que anteriores cambios de paradigmas tecnoproductivos: crisis generalizadas con una mejora en el bienestar general. Sin embargo, existen indicios que la distinguen de otras revoluciones previas. Todos los cambios anteriores permitieron acelerar tiempos y acortar distancias. Esta nueva tecnología, además de ello, pareciera ser un salto al futuro, en el sentido de que busca anticipar respuestas a la reacción humana. Es decir, ya no implicaría acortar el espacio y el tiempo para acercarnos al aquí y ahora, sino que implicaría un paso más para traer el mañana al aquí y ahora. En esa posibilidad radican varias de las incertidumbres de los expertos en el tema, así como también la necesidad por avanzar rápidamente en su regulación.

46. En mayo, el Centro para la Seguridad de la IA publicó una breve nota en la que afirmaba: "Mitigar los riesgos de extinción de la IA debería ser una prioridad mundial junto a otros riesgos a escala social, como las pandemias y la guerra nuclear". Entre los miles de firmantes se encontraban Altman, de OpenAI, ejecutivos de Google y Microsoft, altos cargos de otras empresas de IA y Geoffrey Hinton, a menudo descrito como el "padrino de la IA" por su trabajo en el aprendizaje profundo. No se trataba de escépticos o luditas, sino de algunos de los pioneros de la tecnología que empujaban su frontera hacia adelante.

47. Más información en: <https://www.ft.com/content/4ded4c1d-5e99-42bf-9aa8-ea6e634aa060>.

48. Más información en: <https://www-ft-com.ezp.lib.cam.ac.uk/content/03895dc4-a3b7-481e-95cc-336a524f2ac2>.

49. Episodio del podcast DOAC, donde se entrevistó a Mo Gawdat, exgerente de Google sobre los peligros de la IA. Más información en: <https://open.spotify.com/episode/4xVz9V5DksIPqrdArBPDcb?si=71MgFew6RVCDbBjyXOubFg&nd=1>

BIBLIOGRAFÍA

Estevadeordal, A., Beliz, G., Estevez, E. *et al.* (2018). Algoritmolandia. *Integración & Comercio*, 22(44). Recuperado de: <https://publications.iadb.org/en/integration-and-trade-journal-volume-22-no-44-july-2018-planet-algorithm-artificial-intelligence>.

Geroski, P. A. (2000). Models of technology diffusion. *Research policy*, 29(4-5), 603-625.

Manyika, J., Lund, S., Chiu, M., Bughin, J., Woetzel, J., Batra, P., Ko, R. & Sanghvi, S. (2017). *Jobs lost, jobs gained: Workforce transitions in a time of automation*. San Francisco: McKinsey Global Institute. Recuperado de: <https://www.mckinsey.com/~/media/BAB489A30B724BECB5DEDC41E9BB9FAC.ashx>.

Ovanessof, A. y Plastino, E. (2018). Una explosión de productividad. *Algoritmolandia, Integración & Comercio*, 22(44), 10. Recuperado de: <https://publications.iadb.org/en/integration-and-trade-journal-volume-22-no-44-july-2018-planet-algorithm-artificial-intelligence>.

Perez, C. (2010). Technological revolutions and techno-economic paradigms. *Cambridge Journal of Economics*, 34(1), 185-202.

Proskuryakova, L., Meissner, D. & Rudnik, P. (2017). The use of technology platforms as a policy tool to address research challenges and technology transfer. *J Technol Transf*, 42, 206-227. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10961-014-9373-8>.

Stremersch, S., Muller, E. & Peres, R. (2010). Does new product growth accelerate across technology generations? *Mark Lett*, 21, 103–120. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11002-009-9095-0>.