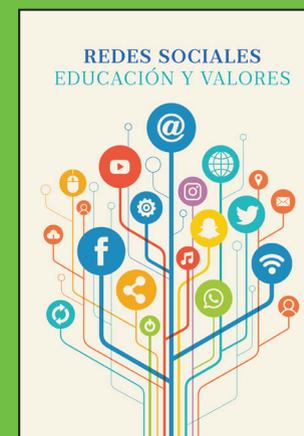


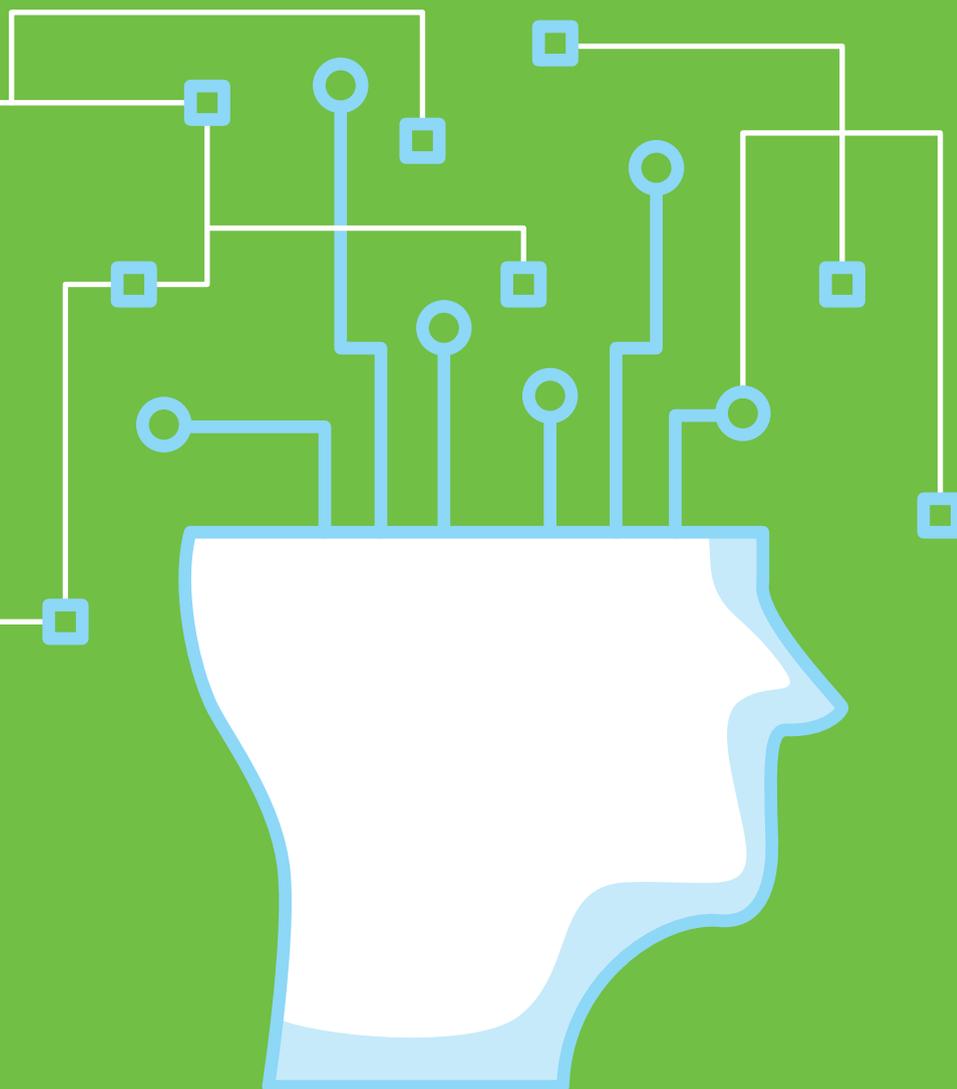
INTELIGENCIA ARTIFICIAL

UNA MIRADA MULTIDISCIPLINARIA

X ENCUENTRO INTERACADÉMICO 2021



Libro producido en el VIII Encuentro
Interacadémico 2019



INTELIGENCIA ARTIFICIAL

UNA MIRADA
MULTIDISCIPLINARIA

Inteligencia artificial : una mirada multidisciplinaria / Manuel A. Solanet. - 1a ed compendiada.
Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Academia Nacional de Ciencias Morales y Políticas, 2021.
345 p. ; 24 x 17 cm.

ISBN 978-987-99575-8-5

1. Inteligencia Artificial. I. Título.
CDD 306.46

Hecho el depósito que dispone la Ley 11.723 | Impreso en la Argentina | *Printed in Argentina*

Editores: Solanet, Manuel A. y Marti Manuel.
--

Diseño de tapa + interior: Christian Argiz
--

Quedan prohibidos, dentro de los límites establecidos en la ley y bajo los apercibimientos legalmente previstos, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, ya sea electrónico o mecánico, el tratamiento informático, el alquiler o cualquier otra forma de cesión de la obra sin la autorización previa y por escrito de los titulares del copyright.

Edición de 1.000 ejemplares impresa en PROSA
Uruguay 1371 | C1016ACG | Ciudad Autónoma de Buenos Aires | Argentina, en noviembre de 2021.

ÍNDICE

Introducción _____	13
Juan Carlos Ferreri y Luis Alberto Romero	
Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria _____	21
La revolución de las nuevas tecnologías digitales en ciencias agropecuarias	
Cantet Rodolfo, Carrillo Bernardo, Carugati Alberto, Casas Roberto, Crisci Jorge, Errecalde Jorge, Frank Rodolfo, Gimeno Eduardo, Gomez Nélide, Hall Antonio, Leotta Gerardo, Miguens Luciano, Oesterheld Martín, Palma Eduardo, Portiansky Enrique, Reca Lucio, Sadir Ana María, Salamone Daniel, Sanchez Rodolfo, Satorre Emilio, Schnack Juan, Schudel Alejandro, Valle César.	
Academia Nacional de Ciencias Económicas _____	40
Efectos de la Inteligencia Artificial (IA) en la economía y el análisis económico	
Dres. Rinaldo Antonio Colomé, Víctor J. Elías y Fernando Navajas. Contribuciones de los Académicos Dres. Hildegart Ahumada, Omar Chisari, Juan Carlos De Pablo, Víctor J. Elías, José María Fanelli, Leonardo Gasparini, Daniel Heymann, Luisa Montuschi y Fernando Navajas.	
Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales _____	63
Desmitificando la Inteligencia Artificial	
Laura Ación, Laura Alonso Alemany, Enzo Ferrante, Eric Lützow Holm, Vanina Martinez, Diego H. Milone, Ricardo Rodriguez, Guillermo Simari, Sebastian Uchitel	
Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires _____	87
Las tecnologías inteligentes: múltiples aspectos de su impacto	
Juan Carlos Ferreri	

Academia Nacional de Ciencias de Córdoba _____ 116
Aplicación del Aprendizaje Automático (Machine Learning) a la ecología y otras ciencias ambientales

Marcelo R. Cabido

Academia Nacional de Ciencia de la Empresa _____ 141
Inteligencia Artificial (IA): perspectivas para integrar el valor de la innovación y la creatividad con la gestión en las organizaciones

Por Alan Lerner, MSc. y Hernán Mavrommatis, MSc.

Academia Nacional de Ciencias Morales y Políticas _____ 171
Las tecnologías exponenciales y la inteligencia artificial como transformadores del trabajo humano

Julián A. de Diego

Academia Nacional de Derecho Y Ciencias Sociales de Buenos Aires _____ 198
La inteligencia artificial en el mundo jurídico actual (Implicancia, aplicaciones y posibilidades)

Por Alberto B. Bianchi

Academia Nacional de Educación _____ 214
Inteligencia artificial y autoaprendizaje

Alberto C. Taquini hijo

Academia Nacional de Farmacia y Bioquímica _____ 239
Desarrollo de nuevos fármacos mediante inteligencia artificial

Jean-Paul F.C. Rossi, Nélica Mondelo y Osvaldo Cascone

Academia Nacional de Geografía _____ 259
La cultura geográfica digital ante los desafíos sociales del siglo XXI

Horacio Esteban Ávila, Ezequiel Pallejá y Héctor Oscar José Pena

Academia Nacional de Historia _____ 278
Archivos y transformación digital en la caja de herramientas de los historiadores

Beatriz Bragoni

Academia Nacional de Ingeniería _____ 291
La inteligencia artificial en la ingeniería

Manuel A. Solanet. Autores: Arístides Domínguez; José Luis Roces; Antonio Cadenas; Nicolás Gallo; Gustavo Devoto

Academia Argentina de Letras _____ 312
Los herederos de Kalibang. Robots y máquinas pensantes en la literatura argentina

Pablo De Santis

Academia Nacional de Medicina de Buenos Aires _____ 319
Inteligencia artificial aplicada a la medicina

Jorge Alberto Neira

Academia Nacional de Periodismo _____ 351
Posible rapto del periodismo por la informática

Academia Nacional de Bellas Artes _____ 367
Inteligencia artificial y arte contemporáneo. Incertidumbres, reflexiones y debates.

Rodrigo Alonso, Graciela Taquini.

Academia Nacional de Odontología _____ 381
Aplicaciones de la Inteligencia artificial en la Odontología

Dr. Guillermo Trigo (Vicepresidente). Dr. Eduardo Rey (Presidente). Dra. Julia Harfin (Secretaria)

INTRODUCCIÓN

X Encuentro interacadémico 2021 Inteligencia artificial: una mirada multidisciplinaria

JUAN CARLOS FERRERI y LUIS ALBERTO ROMERO

La consideración de la Inteligencia Artificial (IA) ha crecido exponencialmente en todos los ámbitos de la actividad humana. Este volumen es un ejemplo de los variados aspectos en que afecta la vida social y personal. La generalidad con que se usa la terminología ha llevado a distintos grupos de expertos a formular definiciones precisas. Tales definiciones no son definitivas; por el contrario, son modificadas con frecuencia, a medida que la expansión de nuevas tecnologías -liderada por la industria informática- alimenta las reconsideraciones en el campo académico. Una discusión de fondo, siempre renovada, se refiere a la distinción entre la inteligencia¹ y la conciencia humana.

¹ La inteligencia puede definirse como la capacidad de encontrar una respuesta a los problemas que plantean situaciones nuevas. En el caso de la experiencia sensible realiza una reestructuración de sus materiales a fin de organizarlos de otra manera. En el caso de la vida intelectual hace frente a los problemas que suscitan cuestiones formuladas lingüísticamente como teorías, conjeturas o interrogantes. En todos los casos, el ejercicio de la inteligencia contrasta, por su asociación con la novedad, con conductas que se sustentan en la adquisición de hábitos o la asociación con experiencias pasadas. (Comunicación privada del académico Roberto Walton)

Es conveniente tener en cuenta, como marco conceptual, una definición formal reciente del Grupo de Expertos de Alto Nivel en IA, que generaliza una previa², generada en el ámbito de la Unión Europea. La definición actualizada por en IA expande y actualiza la definición

“.. para clarificar algunos aspectos de la IA como disciplina científica y como tecnología para evitar malentendidos, alcanzar un conocimiento común de la IA que pueda ser utilizado por no-expertos en IA y para proveer detalles que puedan ser útiles para la discusión de lineamientos de aspectos éticos y de recomendaciones en políticas de IA.” El documento concluye que *“Los sistemas de Inteligencia Artificial (IA) son sistemas de software (y posiblemente también de hardware) diseñados por humanos (los humanos diseñan los sistemas de IA directamente o pueden ser asistidos por sistemas de IA para optimizar su diseño) que, dado un objetivo complejo, actúan en una dimensión virtual o física por percepción de su ambiente a través de la adquisición de datos, interpretando los datos recolectados de manera estructurada o no estructurada, razonando sobre el conocimiento adquirido o procesando la información derivada de los datos y decidiendo sobre la mejor acción a tomar para el lograr el objetivo asignado. Los sistemas de IA pueden utilizar reglas simbólicas o aprender un modelo numérico y pueden también adaptar su comportamiento analizando como su ambiente es modificado por sus acciones previas.”*

El documento contiene varios aspectos relacionados con los diversos tipos de aproximaciones y técnicas que emplea la IA. En función de los tipos de actividades posibles, se puede considerar que todas ellas están presentes en la IA. Este enfoque permite la consideración de un agrupamiento general que engloba la IA y es consistente con la aproximación de la IEEE a la cuestión, bajo la denominación de Tecnologías Inteligentes.³ La importancia de la actividad multidisciplinaria está implícita en la creación reciente del “Center for Research on Foundation Models (CRFM), del Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence (HAI),

2 Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on Artificial Intelligence for Europe, Brussels, 25.4.2018 COM(2018) 237 final.

3 IEEE Computational Intelligence Society, ¿What is Computational Intelligence? 17/02/2020

Stanford University, EEUU. En este sentido es útil considerar su informe fundacional⁴. Una institución líder en el desarrollo de Tecnologías Inteligentes (TIs) es el Massachusetts Institute of Technology (MIT), EEUU. Los avances en las actividades relacionadas con las Tecnologías Emergentes pueden ser consultadas a través de su actividad de difusión o en la bibliografía científica relacionada.

A medida que las nuevas herramientas asociadas a la IA se desarrollan, surgen conceptos interesantes como el denominado “la Singularidad”⁵ Se trata de “un periodo futuro en el que el régimen de cambio tecnológico será tan rápido y su impacto tan profundo que la vida humana será transformada irreversiblemente”. La Singularidad será alcanzada cuando se complete la fusión de lo biológico y la máquina y se postula que en la post-Singularidad no habrá distinción entre hombre y máquina o entre lo físico y lo virtual. Cuestionable o no, esta visión -que tiene ya quince años- da una idea de la amplitud de las miradas sobre la evolución tecnológica y sus consecuencias.

La creación de máquinas conscientes permanecerá por muchos años en el marco de la especulación y es actualmente parte de trabajos principalmente filosóficos. La aparición de robots humanoides capaces de hacer una mímica del razonamiento, del comportamiento humano y de los sentimientos contribuye a generar confusión fuera de los ámbitos de especialistas.

En este volumen, dedicado a la “Inteligencia Artificial. Una mirada multidisciplinaria”, se abordan los distintos aspectos en que la IA ya está modificando la vida humana tal como la conocemos.

La capacidad computacional es cada vez mayor; un ejemplo notable del procesamiento de grandes masas de datos con aplicación al lenguaje y la discusión puede verse en el IBM Project Debater⁶.

Algunas actividades, como la medicina a través de las técnicas diagnósticas, la bioquímica aplicada a la generación de fármacos, la producción agropecuaria, con

4 Rishi Bommasani et al., On the Opportunities and Risks of Foundation Models, Center for Research on Foundation Models (CRFM), Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence (HAI), Stanford University.

5 Kurzweil, Ray, “The singularity is near: when humans transcend biology”, Penguin, 2005

6 Slonim, N. et al., An autonomous debating system, Nature, vol. 591, pp 379-384, 2021

sistemas aplicados en tiempo real a junto a la información meteorológica, y también la economía a través de los sistemas de gestión han sido influidas notablemente desde hace ya unos cuantos años. En la creación artística, la IA está abriendo un campo de experimentación inédito, como ser en la creación imitativa de música y robots que dibujan y pintan a partir de imágenes.

En la educación, la IA permite hoy un notable desarrollo del aprendizaje tutelado o autoaprendizaje. Es justamente en este campo en el que la desigualdad y la exclusión social se hace más notoria y es imprescindible generar una noción nueva del concepto de alfabetización universal, que incluya la dimensión digital.

Las consideraciones sobre las implicancias legales, el futuro del trabajo, las pautas éticas que deben respetarse para el desarrollo de las aplicaciones, la preservación de los derechos de las personas, el cambio, la gestión y evolución de la industria y la ecología son, entre otras, explicitadas en los distintos trabajos incluidos en este volumen.

Una de las cuestiones más importantes se da en el marco de la generación y aplicación de las leyes, puesto que gobiernan la coexistencia social. La IA y las grandes bases de datos son un soporte de la actividad, pero en este terreno no hay reemplazo razonable de la acción humana. El zanjado automático de las disputas puede admitirse solamente para cuestiones menores y bajo estricta regulación.

Hay aplicaciones que generan preocupación cuando se aplican a la calificación de las personas. Es difícil evitar que arrastren los sesgos ideológicos o sociales de los desarrolladores cuando evalúan, por ejemplo, las particularidades étnicas o económicas de distintos grupos de personas. Estos sesgos, inevitables en cualquier calificación humana, suman el riesgo de la aparente objetividad y el ocultamiento de la responsabilidad.

La ética es uno de los aspectos que importan cuando está asociada a la IA. La IA es solo una herramienta y los conceptos éticos se aplican a los desarrolladores y a los objetivos asociados a la aplicación desarrollada. La asociación con las neurociencias genera un campo de especulación sobre la base de los neuroderechos, que se analiza en este volumen. Un buen ejemplo de esa interacción puede encontrarse

en las reuniones específicas⁷ donde los desarrolladores consideran de manera exhaustiva las cualidades que deben reunir las aplicaciones y su interacción con la neurotecnología.

La necesidad de la regulación de las aplicaciones de la IA no puede ser suficientemente enfatizada. Ejemplo de ello son las armas autónomas que, elegido un blanco, aseguran el éxito de la misión. Las aplicaciones han comenzado, con asesinatos selectivos. Es interesante considerar que, si se establece que la decisión es de la máquina, el atacante humano queda libre de responsabilidad. Hay documentos⁸ que establecen pautas éticas para la aplicación de la IA en la defensa. La duda que surge inmediatamente es: ¿qué es la ética de la guerra? Al parecer, estas aplicaciones de la IA, sumándose a otros mecanismos existentes de ocultamiento de las responsabilidades de quienes toman las decisiones, están profundizando el proceso de naturalización de la guerra.

La lectura de los trabajos de este volumen permite tener una idea actualizada de las distintas visiones y aplicaciones de la IA en un amplio abanico de actividades, y particularmente la dimensión ética del desarrollo de sus aplicaciones. Tal vez, permiten concluir que debería asignarse “a las máquinas lo que es de las máquinas y a las personas lo que corresponde a las personas”.

7 S. Berger y Francesca Rossi, *The Future of AI Ethics and the Role of Neurotechnology*, AIOAI'21: 1st Workshop on Adverse Impacts and Collateral Effects of Artificial Intelligence Technologies, Montreal, CA, 2021

8 Zoe Stanley-Lockman, *Responsible and Ethical Military AI, Allies and Allied Perspectives* CSET Issue Briefing, 2021

INTELIGENCIA ARTIFICIAL

UNA MIRADA
MULTIDISCIPLINARIA

La revolución de las nuevas tecnologías digitales en ciencias agropecuarias

Cantet Rodolfo, Carrillo Bernardo, Carugati Alberto, Casas Roberto, Crisci Jorge, Errecalde Jorge, Frank Rodolfo, Gimeno Eduardo, Gomez Nélida, Hall Antonio, Leotta Gerardo, Miguens Luciano, Oesterheld Martín, Palma Eduardo, Portiansky Enrique, Reca Lucio, Sadir Ana María, Salamone Daniel, Sanchez Rodolfo, Satorre Emilio, Schnack Juan, Schudel Alejandro, Valle César.

Introducción

Las nuevas tecnologías digitales (NTD) están dando lugar al crecimiento de la capacidad productiva de la humanidad toda. Entre las nuevas tecnologías podemos mencionar: Internet de las Cosas (*IoT*, por sus siglas en inglés), datos abiertos, análisis de macrodatos (*Big Data*), banda ancha móvil, computación en la nube, *software* robótico, *blockchain*, biometría para identificación y autenticación e inteligencia artificial (IA), entre otras.

La difusión de las NTD nos deposita en las puertas de una “Cuarta Revolución Industrial”. La revolución digital que actúa como un revulsivo para generar nuevas oportunidades y respuestas para los emprendedores y empresas, dará lugar a la reingeniería, reinicio o lanzamiento de procesos novedosos.

La magnitud de las cadenas alimentarias en el mundo y, particularmente en nuestro país, otorga a la digitalización un rol crítico e impostergable, que seguramente actuará como potenciador del proceso todo. No obstante, las NTD impactan en todas las disciplinas más allá de las vinculadas con la alimentación. Los programas de Educación, Investigación, Extensión, Servicios, Salud, Medio Ambiente, entre otros, irán siendo reformulados y adaptados a las NTD.

Tecnologías digitales e inteligencia artificial en la agricultura

Los alcances más simples de la IA, aquellos en los que las máquinas han podido reemplazar a las personas en sus cálculos, ha estado en el estudio e investigación de distintas ramas de la ciencia y procesos de la agricultura argentina desde mediados de la década de 1980. El primer paso podría identificarse en la modelización matemática de procesos biológicos, en el campo de la bio-ecología de malezas y en el de crecimiento y desarrollo de cultivos. Desde entonces, han alcanzado amplio uso en el país y el mundo los Modelos de Simulación Agronómicos (MSA).

Aplicaciones de Inteligencia Artificial, entendida como la capacidad de la máquina de imitar el razonamiento humano, identificando el cambio de escenario o de procesos de *Machine learning* o *Deep learning* como aplicaciones a la solución de procesos en la agricultura son aún incipientes. El reconocimiento de patrones en imágenes o datos que se utilizan luego automáticamente para tomar decisiones son los pocos ejemplos que se pueden reportar de aplicaciones al agro en la actualidad. Procesos de *Deep learning* en los que se “autoriza” a la máquina a aprender y razonar por sí misma, generando resultados y predicciones automáticamente, diferenciándose, a modo de ejemplo, de aquellos modelos matemáticos de simulación de aplicación agronómica en que no hay que programarlos específicamente para cada escenario, no han aún llegado al agro, aunque seguramente pronto lo harán. Una limitante para estos desarrollos es la cantidad y calidad de la información disponible para el entrenamiento de los algoritmos. Las empresas de Agtech, que lideran el mercado, identifican la necesidad de un esfuerzo colectivo y coordinado para poder acceder, en tiempos breves, a la cantidad y calidad de información que se necesita. Así como la conectividad representa una barrera a los desarrollos digitales, la calidad, homogeneidad y cantidad de información lo es, en la actualidad, para la expansión de la IA en los procesos de la agricultura.

A partir de principios de la década de 1990, los MSA se incorporan como sistemas expertos de apoyo a la toma de decisiones en agricultura y alcanzan aplicaciones prácticas, permitiendo explorar interacciones novedosas entre factores que no eran evidentes, o que previamente no habían sido identificadas experimentalmente, contribuyendo a motorizar transformaciones de impacto en el agro. La generación de experimentos virtuales a partir de las rutinas integradas en los MSA, permitió explorar aspectos tales como (i) los rendimientos alcanzables y su variabilidad frente a la expansión de los cultivos hacia nuevas regiones pobremente exploradas por la agricultura extensiva; (ii) el impacto sobre la producción de cultivos de po-

sibles cambios en el clima asociados al Cambio Climático Global; y (iii) la potencialidad productiva de diferentes regiones en el país y el efecto de modificaciones en las tecnologías usualmente utilizadas por el productor. Esta tecnología digital, reuniendo amplios conocimientos de la ecofisiología vegetal, la dinámica del agua y los principales nutrientes y sus relaciones con distintos tipos y propiedades de los suelos y el clima, serviría de base para acelerar cambios relevantes de la agricultura extensiva entre los años 1990 y 2010.

Los MSA han sido usados en Argentina para desarrollar aplicaciones que brindan apoyo a distintos procesos de toma de decisión. Usados en conjunto con los datos climáticos de una larga serie de años, son una herramienta útil para el análisis de estrategias de manejo y para caracterizar y cuantificar el riesgo asociado a distintas opciones de manejo del cultivo susceptibles de ser aplicadas a planteos de producción. En Argentina, modelos de la familia DSSAT (por sus siglas en inglés, *Decision Support System for Agrotechnology Transfer*) fueron calibrados y demostraron ser lo suficientemente robustos como para reproducir el comportamiento de cultivos de trigo, maíz, girasol y soja sobre diferentes tipos de suelo y condiciones climáticas de nuestra región productiva. Un importante esfuerzo de investigación, desarrollo y transferencia integró el uso de modelos a la investigación y experimentación convencional a campo, liderando su aplicación para guiar al productor en la resolución de un importante número de las complejas interacciones e incertidumbres que dificultan la toma de decisión e interpretación de las respuestas de los cultivos al manejo. Así, estas herramientas digitales contribuyeron a desarrollar modelos tecnológicos para el manejo de los cultivos de trigo, maíz, girasol y soja, fundamentalmente en las nuevas áreas sobre las que se expandió rápidamente la agricultura desde mediados de la década de 1990. Así también, contribuyeron a promover y consolidar tanto manejos novedosos, tales como la siembra tardía de maíz, que hoy alcanza cerca del 50 % de la superficie de este cultivo en Argentina, como a identificar los márgenes de mejora de productividad alcanzable por los cultivos extensivos en las distintas regiones productivas del país.

En los últimos años, sin embargo, estas aproximaciones relativamente simples de las aplicaciones atribuibles a la digitalización dieron paso a procedimientos más complejos, que incluyeron el registro de datos a través de sensores remotos y su aplicación en las acciones de máquinas que operan ejecutando procesos de reconocimiento, aprendizaje, e intervención en distintos procesos de la producción y comercialización de granos. De este modo, junto con los modelos matemáticos mencionados previamente, hacia fines del siglo pasado, las tecnologías digitales

comenzaron a ingresar en el agro a través de la detección de propiedades de la cobertura vegetal con sensores satelitales y la aparición de cosechadoras con monitores capaces de registrar el rendimiento y su posición espacial en tiempo real. Esto permitió desarrollar una agricultura susceptible de aplicar criterios de manejo sitio- específico de cultivos, la que se extendió en los últimos años. En la actualidad, las diferencias entre ambientes (suelos, relieve, etc.) no sólo permitieron aplicar criterios agronómicos a la siembra en densidades o dosis de fertilizantes variables en escala submétrica dentro de lotes de cultivo de decenas de hectáreas, sino también influyó en la definición de las rotaciones de los distintos sectores de esos lotes dentro de un establecimiento. Asimismo, de la mano de la información remota, originada en sensores instalados en las pulverizadoras y con redes neuronales de decisión sujetas a procesos de entrenamiento y decisión, han permitido que cada pico de una pulverizadora en una barra de hasta 50 m pueda actualmente realizar aplicaciones de un agroquímico sólo en las áreas indicadas, por ejemplo, con presencia de malezas. El gran potencial para la utilización de tecnologías geoespaciales, de sensores, de información y comunicación es una realidad que ya permite la planificación y realización de tareas en múltiples establecimientos del país, a través de numerosas empresas de servicios de base nacional e internacional. En pleno proceso de expansión, estas tecnologías y las vinculadas a la robótica, ya permiten la ejecución de labores en el agro con máquinas autónomas; tractores, sembradoras, pulverizadoras y cosechadoras se encuentran actualmente realizando tareas en forma autónoma sobre los cultivos agrícolas extensivos e intensivos (Tabla1). La eficiencia y reducción del riesgo asociado a las técnicas de aplicación de productos agroquímicos posibilita reducir al máximo su utilización y la de combustibles fósiles, ajustándose a las necesidades reales de cada situación y protegiendo los recursos ambientales y la salud de las personas.

Tabla 1- Tecnologías digitales en maquinarias utilizadas en agricultura. Número de equipos en 2010 y 2019, en Argentina, con distintos componentes de una agricultura digital y su factor de multiplicación (*).

COMPONENTE	2010	2019	FACTOR
COSECHADORAS CON MONITORES DE RENDIMIENTO	7400	16140	x 2,18
SEMBRADORAS CON DOSIFICACIÓN VARIABLE	1801	4608	x 2,56
SEMBRADORAS CON MONITORES DE SIEMBRA	12160	30800	x 2,53
BANDERILLEROS SATELITALES EN PULVERIZADORAS	12298	21018	x 1,71
EQUIPOS CON GUÍA AUTOMÁTICA	1150	17174	x 14,9
PULVERIZADORAS CON CORTE POR SECCIÓN	640	4351	x 6,80
SEMBRADORAS CON CORTE POR SECCIÓN	25	319	x 12,76
EQUIPOS CON TELEMETRÍA	50	1877	x 37,54
PULVERIZADORAS CON CONTROL SELECTIVO DE MALEZAS	SD	328	

SD: Sin datos

(*) *Adaptado de: Villarroel, D; Scaramuzza, F. y R. Melchiori (2020). Estimación de la Evolución en la adopción de componentes de agricultura de precisión de cara al inicio de una década de agricultura digitalizada. Informe conjunto de EEA INTA Manfredi y EEA INTA Paraná, 8 pg. <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/9513>.*

Simultáneamente con el desarrollo de tecnologías aplicables a campo, en los últimos quince años aparecieron aplicaciones digitales orientadas a la mejor gestión de los recursos y a la reducción de costos y pérdidas de rendimiento. Comenzaron a difundirse sistemas para el monitoreo de los cultivos que guardan los datos en aplicaciones y plataformas accesibles remotamente (tabletas o celulares). La mejora en la conectividad y la amplia difusión de dispositivos móviles resultaron estratégicos para la expansión de estas herramientas digitales en el agro, que se encuentra en plena expansión y crecimiento. De la mano de estas tecnologías, la gestión de insumos y la logística, transporte de mercaderías y cosechas se han convertido en aliados necesarios de los productores, mejorando la eficiencia de los múltiples procesos ejecutados dentro de una empresa durante el planeamiento, gestión productiva y comercialización de los productos del agro moderno.

La Argentina ha expandido rápidamente el desarrollo digital y la creación de empresas innovadoras que buscan solucionar las diferentes necesidades y demandas de un sector agropecuario muy diverso. Hay emprendimientos que incorporan sen-

sores de todo tipo, algoritmos, redes neuronales e inteligencia artificial. Un trabajo reciente enumeró cerca de sesenta empresas o emprendimientos locales que incluyen aplicaciones digitales en distintos procesos del manejo o de la toma de decisión en el proceso productivo. Muchos de ellos han alcanzado el mercado local y ya se han expandido a otros países en el mundo. Sin embargo, los datos del último Censo Agropecuario y reportes recientes sobre empresas de tecnología agraria (“Agtechs”), muestran la existencia de una brecha importante entre las múltiples tecnologías digitales disponibles y su adopción o uso efectivo por parte de productores.

A través de lo resumido en los párrafos anteriores puede evidenciarse que la digitalización está haciendo una contribución de relevancia en la agricultura y se proyecta su crecimiento sostenido en las próximas décadas. La IA acompaña este proceso y, seguramente se acelerarán sus aplicaciones en los próximos años.

La revolución de las nuevas tecnologías en el agro recién está comenzando. Sus nuevos aportes continuarán impactando en distintas escalas en el amplio número de publicaciones académicas que dan cuenta de investigaciones y aplicaciones en vías de desarrollo. Por un lado, el impacto de tecnologías de IA en las ciencias se puede proyectar a partir de trabajos que exploran mecanismos fundamentales, los que podrían ser de gran relevancia en el mejoramiento genético, en el aumento de la productividad de los cultivos o en su adaptación a los nuevos escenarios. Esto podría repercutir en diversas áreas, incluyendo el cambio climático (Ver apartado 1, abajo). Por otro lado, en los numerosos trabajos de universidades y centros de investigación de Argentina y el mundo explorando las aplicaciones de la IA a la producción de cultivos y animales y al monitoreo de los ambientes en que estos se desarrollan. A modo de ejemplo, tecnologías de IA están siendo evaluadas para la protección de cultivos extensivos e intensivos, a campo y en invernáculos. Aplicaciones ligadas al reconocimiento de plantas o áreas de cultivo enfermas o enmalezadas son estudiados para optimizar el uso de pesticidas y reducir el impacto ambiental y mejorar la calidad y seguridad de los alimentos.

El manejo del agua y los suelos es crucial en los sistemas de producción agrícolas. La estimación precisa de la evapotranspiración resulta importante para el manejo del riego de los cultivos y la mejora de la eficiencia del uso del agua, particularmente en regiones áridas y semiáridas. Modelos computacionales ELM (*Esemble Learning Models*) integran datos diarios de distintas variables y sensores meteorológicos para predecir la demanda de agua de los cultivos y optimizar su uso, dónde este recurso es escaso. Estas líneas de desarrollo, vinculadas al monitoreo del ambiente de los cultivos se complementa con métodos de *Machine Learning* aplicados al seguimiento del desecamiento de los suelos, al monitoreo de sus

características incluyendo, humedad y temperatura, para tomar decisiones sobre su manejo y evaluar su impacto en el funcionamiento de los agroecosistemas.

En conjunto, a partir de las aplicaciones existentes y de aquellas que surjan de las investigaciones en marcha, se espera que de la mano de la revolución digital y la IA se contribuya a una agricultura más precisa y a aumentar los rendimientos y la eficiencia de uso de los recursos que será necesario alcanzar antes del 2050, para mejorar la calidad de los productos del campo y reducir el impacto de la actividad sobre el ambiente y la sociedad.

Apartado 1: Posible nueva aplicación de la IA a la agricultura

Las proteínas son componentes esenciales para la vida. Comprender su estructura y las funciones derivadas de ella puede ayudar a una mejor comprensión de los mecanismos a través de los cuales las proteínas operan en los organismos y en la naturaleza. La predicción de la estructura tridimensional de las proteínas, de las que depende su función biológica, a partir de una secuencia de aminoácidos, que son sus piezas fundamentales, ha demandado mucha investigación en las últimas décadas. Llevar a cabo esta tarea ha sido una actividad laboriosa y costosa, sólo aplicada al momento a unos pocos casos. El desarrollo de un método computacional que pudiera predecir la estructura atómica y espacial de las proteínas con mínimo error permanecía como una posibilidad lejana.

Sin embargo, los tiempos de la ciencia se acortan y el equipo científico de la empresa *DeepMind* desarrolló una nueva versión de un modelo basado en una red neuronal que denominaron *AlphaFold*, que llevó a cabo exitosamente la predicción de estructuras de proteínas conocidas y el de otras 100.000 estructuras no identificadas con los métodos convencionales. *AlphaFold* aplica el principio de *Machine learning* a una amplia base de conocimientos físicos y biológicos sobre la estructura de las proteínas, lo que le permite usar un procedimiento de *Deep learning* al razonamiento y predicción de la estructura y función de las proteínas.

En el campo de las ciencias agronómicas estos avances podrían proyectarse a la posibilidad de desarrollar (crear) proteínas que tengan funciones específicas a distintos objetivos tales como aumentar la resistencia de las plantas al cambio climático o acelerar un proceso biológico como la descomposición o reciclado de un plástico en la naturaleza.

Adaptado de: Jumper, J., Evans, R., Pritzel, A. et al. Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold. Nature (2021). <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03819-2>

Impacto de las nuevas tecnologías digitales (ntd) en ciencias veterinarias

Muchos son los aspectos que abarcan las Ciencias Veterinarias y, concomitantemente, muchas son las áreas en donde la inteligencia artificial (IA) puede participar, aportando, positivamente, al desarrollo de la actividad profesional. Dentro de las grandes áreas de las Ciencias Veterinarias, la producción pecuaria de las diferentes especies domésticas, la sanidad animal y el manejo clínico de especies domésticas de compañía, y la producción y control del procesamiento alimenticio destinado a la población humana o animal son los ejes fundamentales que nuclean a la gran mayoría de los profesionales veterinarios. Es en estas áreas donde se han desarrollado, se encuentran en desarrollo o se impulsará la producción de sistemas de IA que contribuyen o contribuirán con el mejor desempeño de estos profesionales. Sin embargo, no debe olvidarse que tanto la formación educativa de estos profesionales como el trabajo de investigación científica básica o aplicada de estos actores es de total relevancia para lograr una sinergia entre el saber veterinario y el aporte de las NTD.

La automatización de los sistemas de crianza intensiva es algo que viene aplicándose y evolucionando desde hace tiempo. Sin embargo, esa evolución hacia sistemas “inteligentes”, permitirá un control mucho más preciso de todas las variables, incluso la completa o, al menos, parcial autonomía de los sistemas. Los robots ordeñadores fueron introducidos en los tambos hace años, sin embargo, su evolución y sofisticación lleva a un nivel de manejo que únicamente las NTD hacen posible.

La IA incluye sistemas expertos que integran conocimientos adquiridos a través de repeticiones de datos, que son respaldados por modelos matemáticos y de cómputos. Se apoya, además, en sistemas periféricos, como sensores físicos y mecánicos. En este punto, los sistemas de registro óptico se han convertido en una herramienta indispensable para el avance de esta nueva ciencia en desarrollo.

Actualmente existen empresas que desarrollan tecnologías para integrar la IA a la producción animal. Muchas de estas tecnologías están orientadas a la producción bovina. Uno de los principales objetivos es el monitoreo exterior e interior del animal. Para implementarlo, es necesario contar con sensores ubicados en collares que registren parámetros externos del animal o que se introduzcan por vía oral, para que, al ser deglutidos, se alojen dentro del retículo (proventrículo), donde permanecerán por el resto de la vida del animal. De esta manera, es posible controlar la temperatura corporal, el movimiento y la acidez estomacal, entre varios de otros

parámetros. Exteriormente, estos sensores pueden establecer la geolocalización del portador, así como detectar cambios de comportamiento a campo y determinar el ritmo cardiorrespiratorio, así como la frecuencia de ingesta y rumiación. La descarga de todos estos datos se produce cuando el animal se acerca a un detector inalámbrico. Asimismo, los animales pueden ser monitoreados mediante cámaras de video convencionales y térmicas, que permiten su reconocimiento individual, proceso que se lleva a cabo mediante análisis digital de imágenes. Los datos aportados por los sensores, sumados a los registrados en los videos son analizados, estadísticamente, a través de sistemas informáticos diseñados para tal fin.

Todos estos datos pueden ser utilizados para encontrar patrones de comportamiento y de salud. El monitoreo constante de los animales mediante IA permite prevenir enfermedades incluso días antes de ser detectadas por el profesional, permitiendo, de ser necesario, el aislamiento del animal. De esta manera, se evita la propagación de la enfermedad al resto del rodeo. Asimismo, favorece el tratamiento temprano y, por consiguiente, es beneficioso para el bienestar animal, ya que recibe una atención personalizada y se reduce la cantidad de fármacos y otros insumos a ser administrados.

El constante monitoreo sin restricciones de horarios genera un significativo beneficio. Si los datos registrados por los sensores se combinan con el monitoreo del uso de bebederos y comederos automáticos, esta tecnología se puede utilizar para determinar la eficiencia de la conversión basada en la evolución del peso del animal, la producción láctea directa (o indirecta a través de la variación del peso de los terneros al pie), entre otros indicadores productivos. En conjunto, estos datos también pueden servir para establecer una selección genética. Al seleccionar los animales más productivos se podrá reducir el impacto ambiental.

En lo que hace particularmente a la mejora genética, el aprendizaje automatizado (ML; del inglés: *machine learning*) es una colección diversa de tecnologías que podrían impactar sobre la cría, en la medida que la información genotípica no estructurada y la fenotípica se expandan. Adicionalmente, se observa que las técnicas y potenciales del ML y del análisis de las grandes masas de bases de datos (*big data*) no han sido adecuadamente apreciadas en la comunidad científica de la mejora genética animal, donde su reconocimiento es fragmentario. Las razones de las limitaciones de uso se pueden hallar en el sustento teórico de la disciplina frente al empirismo del ML y *big data* y la ausencia de bases de datos apropiadas para el análisis de técnicas con ML y *big data* en la mejora genética animal, debidas al costo de las tecnologías genómicas que generan bases de datos astronómicas.

Ciertamente, la limitación a la expansión de las tecnologías genómicas, generadoras de una desbordante cantidad de información, es el costo para el criador comercial de animales. El proyecto de los “1000 genomas de toros” ha permitido generar conocimientos trascendentes sobre el determinismo genético de caracteres reproductivos, en especial, pero los costos de secuenciación son todavía muy superiores al precio de los animales. Por otra parte, el empleo de ML tiene sus limitaciones particulares para su difusión en la mejora genética, específicamente la inmensa cantidad de datos necesarios para aprender en profundidad. Se espera, en un futuro, que el esfuerzo y precio a pagar para alcanzar el mismo nivel de precisión en las predicciones que alcanzan los modelos teóricos que siguen procesos estocásticos (econometría, epidemiología, genética cuantitativa, entre otras), justifiquen el cambio paradigmático. Esto podría alcanzarse cuando descendan significativamente los costos de las tecnologías “ómicas” (fenómica, proteómica, etc.).

El uso de IA en la producción animal podría favorecer la certificación de bienestar animal de los alimentos de consumo humano, dada la enorme cantidad de datos posibles de recolectar. Esto permitirá que los consumidores sepan cuáles son las condiciones de vida de las vacas lecheras o de carne y cómo fueron tratadas durante todo el proceso productivo. Todos los datos acerca de la higiene, nutrición y salud de los animales, así como las actividades que realizan al aire libre, podrán estar disponibles al consumidor en el momento que lo requieran.

Las estaciones meteorológicas inteligentes pueden advertir cambios en las condiciones climáticas. Estas estaciones, asociadas con el monitoreo del desarrollo de los forrajes y los datos personalizados de los animales podrán realizar ajustes precisos de la carga animal.

Entre las grandes ventajas de la implementación de IA se podría mencionar la detección temprana de mastitis en vacas lecheras, enfermedad que genera cuantiosas pérdidas económicas y afecta el bienestar animal. En reproducción animal se podrían utilizar algoritmos de aprendizaje automático para determinar el momento del celo en los animales o detectar los primeros signos de parto hasta con 15 horas de anticipación.

La IA también podría ser aplicada al resto de los animales de explotación pecuaria que, si bien tienen una vida productiva mucho más limitada que la de los bovinos, no por ello tienen una importancia menor, tanto en lo que hace a su bienestar, como en el beneficio del alimento que producen para el consumo humano.

Como se mencionó anteriormente, la IA puede ser implementada en las prácticas clínicas de nuestros animales domésticos. Así, en nuestro país se desarrolló un modelo de entrenamiento de un sistema experto en diagnóstico clínico veterinario

de tumores mamarios. Para la construcción de este algoritmo se tuvieron en cuenta: datos de la reseña e interrogatorio, características morfológicas del tumor, compromiso de linfonódulos locales y a distancia y la presencia de metástasis en otros órganos. Asimismo, se consignaron los resultados de los métodos complementarios (laboratorio e histopatología) de cada paciente. Los datos recogidos fueron relevados localmente, a los que se sumaron los provistos por otros bancos de datos nacionales e internacionales. Este modelo permite identificar la existencia de tumores mamarios en animales de compañía, en base a los datos ingresados por el usuario. Los nuevos datos ingresados permitirán incrementar la base de datos inicial y aumentar la precisión de la respuesta. Este algoritmo se encuentra disponible para la realización de consultas por parte de docentes y alumnos.

Como método complementario para el estudio de los tumores, la histopatología tradicional también está siendo apoyada por la IA. En la conceptualización actual de la IA, las decisiones que los sistemas informáticos buscan dentro del área incluyen, entre otras, la interpretación de datos de imágenes para definir e identificar estructuras, tejidos y cambios anormales dentro de estas imágenes. Mediante Aprendizaje Profundo (del inglés: *Deep Learning*), los algoritmos también tienen el potencial de unificar múltiples tareas en patología digital y análisis de imágenes de tejidos, ya que generalmente son buenos para detectar mitosis, clasificar tejidos y analizar tinciones inmunohistoquímicas. Específicamente, ya se encuentra desarrollado un clasificador *Deep Learning* para la detección automática de cáncer de mama con receptor de estrógeno positivo, que examina numerosos campos de gran cantidad de estos tumores para medir la relación entre el número de núcleos tumorales sobre el total de núcleos de la muestra. De esta manera, establece la correlación de esta relación con la categoría de diagnóstico de oncotipos. De la misma manera, se pueden estudiar otros parámetros morfométricos, tales como el perímetro nuclear y la excentricidad, para arribar al diagnóstico.

Varios otros estudios muestran que los algoritmos de ML funcionaron a la par que los profesionales patólogos en la detección del cáncer. Estos algoritmos no solo eran precisos para detectar y clasificar un subtipo de cáncer, sino que también podían predecir un cáncer específico o mutaciones genéticas basado en imágenes de patología. Dichos algoritmos tienen el potencial de aumentar la sensibilidad diagnóstica al tiempo que reducen el tiempo de respuesta de la muestra, la variabilidad entre las interpretaciones clínicas, la carga de trabajo de los patólogos y el costo total por diagnóstico.

Los avances en Sanidad Animal tanto en las aéreas de Diagnóstico, Epidemiología, Vacunología, Farmacología, entre otras, se han visto impulsadas tanto por el

uso de técnicas bioinformáticas como de IA. Particularmente, tanto en Vacunología como en Farmacología, el uso de la IA, el *Machine Deep Learning* y el *Machine Soft Learning* no son expresiones de deseo futurista, sino que, en muchos casos, son herramientas tecnológicas que ya se están siendo aplicadas por empresas y/o laboratorios de investigación más avanzados.

La Vacunología Reversa (VR), ha cambiado y acelerado la producción de vacunas contra diferentes agentes etiológicos. A diferencia de los métodos tradicionales que utilizan patógenos atenuados o modificados, la VR usa la información genética de estos organismos y, mediante secuenciación genómica, genera una batería de epitopes (péptidos más inmunogénicos). Mediante el uso de algoritmos bioinformáticos, se determinan las proteínas y epitopes con mayor probabilidad de ser candidatos para la producción de vacunas.

La predicción de la estructura secundaria y terciaria (3D) de una proteína a partir de una secuencia genómica, tiene su regla de oro en la crio microscopía electrónica de alta resolución, que usa algoritmos bioinformáticos para el procesamiento y selección de imágenes. Utilizando aprendizaje reiterativo (*Deep Learning*), se predijeron estructuras proteicas con altísima eficacia, similares a las obtenidas por cristalización de rayos X o crio microscopía electrónica (ver apartado 1 arriba). Este tipo de tecnología está siendo actualmente utilizado en el desarrollo de vacunas contra el SARS-CoV 2.

Las tecnologías basadas en la producción de vacunas utilizando plataformas de vectores virales, subunidades proteicas o mRNA entre otras, usan estas nuevas tecnologías y, en algunos casos la IA, para analizar el impacto y nuevas alternativas frente a la selección de variantes virales. La rápida respuesta en el desarrollo de vacunas para Covid-19 es un ejemplo. No fue necesario desarrollar un nuevo algoritmo para Covid-19, ya que las empresas lo habían hecho para la tecnología de mRNA en general.

Agencias especializadas pertenecientes a diferentes países del mundo, así como organismos internacionales, han desarrollado “programas inteligentes” para predecir brotes de enfermedades infecciosas, en respuesta a la emergencia y re-emergencia de enfermedades del hombre y de los animales (UNA SALUD). Estos programas se basan en el manejo de cuantiosos datos e información sobre los patógenos emergentes y re-emergentes, la respuesta del hospedador a esos agentes y datos del medio ambiente en tiempo real. Su objetivo es contar con “alertas tempranas” que faciliten la preparación de la humanidad para una eventual contingencia. La pandemia del COVID-19 y las emergencias de la Influenza Aviar de Alta Patogenicidad (HPAI), la Fiebre de Ebola y Marburg, la Fiebre del Nilo del Oeste (WNF),

la Peste Porcina Africana y otras, están siendo escrutadas en forma permanente, a fin de mantener actualizados los análisis de riesgo de emergencias que alimentan a los tomadores de decisiones.

Al establecer ese monitoreo estas organizaciones están abordando una necesidad crítica de mejorar la capacidad de los gobiernos para pronosticar y modelar las amenazas emergentes para la salud humana y animal, expandiendo la colaboración a través de la interoperabilidad, la accesibilidad y un mayor énfasis en el apoyo a las decisiones de los responsables de la formulación de políticas y la comunicación hacia el público.

En el campo farmacológico, hacia la década de 1980, con el advenimiento de las primeras computadoras, se comenzaron a modelar fármacos y sus receptores, y componerse las primeras bibliotecas farmacológicas informatizadas. En poco tiempo se comenzó a trabajar en el diseño de nuevos fármacos. En base a estructuras definidas, se avanzaba en modificaciones espaciales adaptables a receptores conocidos, se las modificaba y se las seleccionaba, en etapas previas a su introducción al laboratorio. A comienzos de la década de 1990, se comenzó a utilizar una nueva metodología, el *screening* de alto rendimiento (tamizaje virtual). Era capaz de testear varios miles de compuestos en pocos meses. Era revolucionario. Se determinaba, a través de una reacción muy simple, rápida y de claro punto final, el efecto que ejercían diversos fármacos sobre determinado paso metabólico, unión a receptor, etc.

El *screening* de alto rendimiento evolucionó. Dado que las grandes compañías farmacéuticas cuentan con bibliotecas de cientos de miles de compuestos químicos, el perfeccionamiento de esta metodología permitió analizar millones de compuestos en pocos días. Esta metodología, que se desarrolla literalmente al azar, puede ser guiada, en algunos casos, por la selección computarizada de compuestos, basada en el conocimiento de la estructura de los receptores blanco o dianas. De esta manera, se identifican fármacos, considerados como cabezas de serie, para su posterior transformación en candidatos para el desarrollo clínico, validación de dianas para su uso terapéutico, etc.

Estas metodologías no son revolucionarias. Solo representan la evolución de tecnologías que ya llevan años de práctica y que se vuelven más poderosas con el aumento del conocimiento y del armamento científico y computacional disponible. La incorporación de la robótica a estos sistemas de *screening* los transforma en laboratorios integralmente automatizados, con capacidades cada vez mayores. La velocidad y capacidad de estos sistemas ha permitido, no solamente el descubrimiento de nuevos fármacos en poco tiempo, sino que ha dado lugar al proceso de

reposicionamiento de viejas moléculas para nuevos usos, o fármacos con indicaciones concretas para los que se descubren nuevos usos.

El uso de aplicaciones basadas en IA ha ido creciendo en los últimos años. Tal es así que, actualmente, hay departamentos especializados en estas tecnologías e incluso compañías que se basan en sistemas informatizados inteligentes en forma exclusiva para el descubrimiento y desarrollo de nuevas moléculas con actividad farmacológica. Es indiscutible el impacto que la innovación y la evolución en la búsqueda de nuevos fármacos tiene y tendrá, cada vez más, en la salud y calidad de vida de los seres humanos y animales y, en definitiva, en la salud del planeta.

La inteligencia artificial en la administración de las empresas agrarias

La ejecución de las tareas usuales en la administración de la empresa agraria ha evolucionado a lo largo del tiempo pasando de la realización manual a la mecánica, luego de ésta a la digitalización y quedaría una última etapa, que llamaríamos inteligente, con el empleo de la IA. Dos ejemplos para ilustrar y clarificar esta evolución. En primer lugar, la contabilidad de doble partida, desarrollada por el matemático italiano Luca Pacioli a fines del siglo XV, cuyos principios básicos han permanecido inalterados a lo largo del tiempo. Sólo hubo precisiones en su empleo y ajustes a nuevas situaciones, así como adaptaciones a las prestaciones que fueron ofreciendo los nuevos medios.

ETAPA	TÉCNICAS	MEDIOS	USO ACTUAL
Manual	Anotaciones manuales en papel.	Libros contables	En desuso
Mecánica	Introducción manual de datos a máquinas.	Máquinas de contabilidad	Obsoleta
Digital	Introducción manual de datos a archivos, lectura de datos de los archivos por la computadora.	Computadoras con software de contabilidad (luego ampliado a tareas asociadas como facturación, control de inventarios, etc.)	En uso
Inteligente	Búsqueda autónoma de datos, análisis de resultados, toma de decisiones.	Computadoras con software que usa IA	En proyecto?

Etapas de la evolución de la contabilidad de doble partida

El otro ejemplo es el planeamiento de la empresa, que desde mediados del siglo XX ha tenido una evolución notable. Las principales innovaciones fueron la incorporación de métodos provenientes de la investigación operativa adaptados a la empresa agraria, la aplicación de métodos estadísticos en el tratamiento de datos (principalmente la econometría) y análisis de resultados. Las amplias capacidades de cálculo de las computadoras permitieron realizar operaciones que antes no estaban al alcance del cálculo manual.

Etapas de la evolución del planeamiento de la empresa agraria

ETAPA	TÉCNICAS	MEDIOS	USO ACTUAL
Manual	Presupuestos (cálculos manuales)	Cálculos sobre papel. Estimaciones mentales con pocos indicadores (precios, rendimientos, etc.)	En uso, principalmente en pequeñas empresas
Mecánica	Presupuestos y cálculos de márgenes brutos (calculadoras)	Calculadoras mecánicas y electrónicas	En uso
Digital	Cálculo de márgenes brutos, programación lineal, simulación, análisis de datos y resultados	Computadoras con software apropiado	En uso
Inteligente	Búsqueda autónoma de información, determinación de nuevas alternativas para la empresa.	Computadoras con software que usa IA	En proyecto?

La administración de una empresa agraria puede considerarse como un proceso circular en el cual en cada instante hay un futuro para el que se debe planear y decidir, un presente en el que se debe ejecutar y controlar, y un pasado del que se obtienen resultados que se deben registrar y analizar, y que a su vez alimentan los datos empleados en el planeamiento. Desde luego, el peso de cada una de estas acciones o tareas varía a lo largo del tiempo. En una empresa predominantemente agrícola con cultivos anuales, que se caracteriza por la estacionalidad de sus actividades, el planeamiento es una tarea importante en otoño, una vez obtenidos los resultados de los cultivos estivales, pues se deben tomar decisiones sobre la próxima campaña, mientras que en primavera y verano la administración se centrará en la ejecución y

el control. En un tanto, en cambio, debido a la continuidad más o menos uniforme de sus tareas a lo largo del año, la ejecución, el control y la registración serán las acciones más frecuentes, mientras que el planeamiento se centrará, principalmente, en la alimentación animal (cadena forrajera, cálculo del alimento balanceado de mínimo costo, etc.) y otros insumos (programa sanitario, etc.). Sólo ocasionalmente habrá planeamiento a largo plazo, cuando se estudia la introducción de una innovación que requiere inversiones en bienes durables.

En el proceso administrativo, la IA es inexistente, o al menos no se han conocido al presente aplicaciones difundidas que la emplean. En cambio, hay una buena cantidad de *software* en la etapa de la digitalización (de acuerdo con la definición empleada aquí) que usan algoritmos altamente automatizados que pueden calificarse de linderos con la IA. Una orientación acerca de la etapa en que se hallan las diferentes acciones del proceso administrativo se esquematizan en la siguiente Tabla.

ETAPA	ACCIONES	TÉCNICAS	ETAPA
Futuro lejano	Planeamiento a largo plazo.	Evaluación de inversiones (mejoras, máquinas). Planificación del desarrollo de la empresa.	Digital
Futuro cercano	Planeamiento a corto plazo.	Presupuestos, simulación, programación lineal, otras técnicas de investigación operativa.	Mecánica (presupuestos) y digital
Futuro en general	Toma de decisiones	Consideración de datos provenientes del planeamiento, del entorno de la empresa y subjetivos del empresario.	Posible aplicación de la IA, con ciertas limitaciones
Presente	Ejecución	Aplicación de las técnicas propias de cada actividad productiva.	Manual y mecánica. IA?
Pasado inmediato	Control	Inspección. Monitoreo mediante software específico,	Manual, digital
Pasado cercano	Registración	Planillas (hoja de cálculo). Contabilidad	Digital
Pasado lejano	Registración. Análisis	Contabilidad. Informes. Datos para el planeamiento.	Digital

El proceso administrativo y la etapa en que se hallan sus técnicas

Es muy probable que en el futuro la IA asuma un rol mayor en el proceso administrativo. Esto le permitirá al empresario ir delegando más y más acciones en la IA. Una situación parecida se está dando actualmente, en especial, en explotaciones pequeñas y medianas, en la creciente contratación de servicios ejecutados por terceros en lugar de ser realizados personalmente por el productor y su personal. Buenos ejemplos son los contratistas de maquinaria agrícola, los profesionales que realizan tareas de monitoreo de cultivos y controles sanitarios de los animales, los contadores que toman a su cargo las intrincadas y cambiantes declaraciones impositivas, etc. Todas estas tareas se realizan sobre situaciones objetivas y por consiguiente delegables en terceros. Sin embargo, hay una acción que en principio es indelegable: la toma de decisiones. Es así porque la facultad del empresario de tomar decisiones en su empresa implica asumir las consecuencias de esas decisiones, y entre ellas, asumir el riesgo inherente. La posición de las personas frente al riesgo es claramente subjetiva. Hay quienes tienen aversión al riesgo y prefieren aceptar un resultado algo menor pero más seguro. Otros, los que tienen preferencias por el riesgo, priorizan un resultado más alto aunque sea más riesgoso. Por ejemplo, el productor que asegura su cultivo contra granizo tiene aversión al riesgo pues el pago del seguro es un costo adicional (y por lo tanto un ingreso menor), a cambio de un ingreso más seguro (una compensación por parte de la compañía de seguros en caso de pérdidas por granizo). Todo esto lleva a preguntarse si en el futuro la IA también puede hacerse cargo de la toma de decisiones, pues la solución de problemas nuevos puede llevar inherente el desconocimiento del riesgo de la solución hallada.

El proceso administrativo sólo se refiere al ámbito interno de la empresa, pero la misma está insertada en el medio externo con el cual hay una comunicación constante. Además, muchas otras interacciones como por ejemplo transporte (de insumos y productos), trámites (ante proveedores, compradores y autoridades), etc.

Solamente considerando las comunicaciones hay una enorme diversidad: desde consultas de precios de insumos y productos hasta el estudio de pronósticos meteorológicos, desde lecturas de informes técnicos hasta pagos a proveedores mediante transferencias bancarias, desde la atención del correo electrónico hasta comunicaciones telefónicas. Intervienen muy diferentes técnicas en estas comunicaciones y tratar de conocer en qué etapa se encuentran y por consiguiente en qué medida interviene la IA excede totalmente las posibilidades de este informe. Aun así, puede estimarse razonablemente que en pocos casos se recurre a la IA.

Concluyendo, se puede decir que en la administración de la empresa agraria la IA juega, en el mejor de los casos, un papel escaso o casi nulo. Las máquinas han reemplazado los brazos y las manos del hombre en muchas tareas que exigen precisión o que pueden automatizarse. Han reemplazado sus piernas cuando necesita trasladarse a distancias mayores. Ha reemplazado sus músculos cuando una tarea requiere cierta fuerza. Ha reemplazado su memoria cuando es necesario almacenar muchos datos. ¿La IA reemplazará su inteligencia?

Conclusiones

Con el avance de las ciencias informáticas, el concepto de IA y las NTD se fue modificando hacia la capacidad de las computadoras de tomar decisiones propias a partir de la introducción de millones de datos que proveen información. Es posible, que una vez que se alcance el nivel deseado de independencia por parte de las computadoras, el concepto de IA y NTD se traslade a otros objetivos.

La IA es consistentemente superior a los humanos para realizar tareas repetitivas y detalladas de forma rápida y precisa. La IA llegará a desempeñarse de manera similar a lo que puede realizar el profesional, pero es de esperar que sea una herramienta de ayuda al profesional, al que difícilmente pueda reemplazar. Diversos estudios han demostrado que el rendimiento de ciertos algoritmos es comparable con el de un profesional experto, y sin limitaciones de tiempo. Sin embargo, es importante remarcar el alto nivel de conocimientos que proporciona el profesional frente a las ventajas computacionales de la IA. Tal vez, pensando en el futuro, lo ideal sería establecer un sistema mixto que compatibilice las ventajas del procesamiento informático con los conocimientos profesionales.

Sin dudas que las tecnologías que incorporan IA en distintos niveles, han llegado para quedarse, desarrollarse, evolucionar y transformar los campos de acción de las ciencias Agronómicas y Veterinarias. Está en los diferentes profesionales del área la tarea de orientar estos desarrollos en pro de una transformación sustancial para mejorar la alimentación de una población mundial creciente, que la demanda en cantidad y calidad, en un marco de cuidado ambiental.

Bibliografía sugerida

Andreas Kaplan; Michael Haenlein. 2019. Siri, Siri in my Hand, who's the Fairest in the Land? On the Interpretations, Illustrations and Implications of Artificial Intelligence, Business Horizons, 62(1), 15-25.

BID (2018) "La Revolución Agrotech en Argentina". <https://publications.iadb.org/es/la-revolucion-agrotech-en-argentina-financiamiento-oportunidades-y-desafios>

Breiman, L. 2001. Statistical modeling: the two cultures. *Stat.Sci.* 16:199–231.

Morota,G., R.V. Ventura, F. F. Silva, M. Koyama, Samodha, C.F. 2019. Machine learning and data mining advance predictive big data analysis in precision animal agriculture. *J. Anim. Sci.* 96:1540–1550

Perez-Enciso, M. A. 2017. Animal breeding learning from machine learning. *J. Anim. Breed. Genet.* 134:85–86.

Keane J. 2019. La nueva era de la revolución de las máquinas. Letras libres. <https://www.letraslibres.com/espana-mexico/revista/la-nueva-era-la-revolucion-las-maquinas>.

Villarrol, D; Scaramuzza, F. y R. Melchiori. 2020. Estimación de la Evolución en la adopción de componentes de agricultura de precisión de cara al inicio de una década de agricultura digitalizada. Informe conjunto de EEA INTA Manfredi y EEA INTA Paraná, 8 pg. <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/9513>.

Efectos de la Inteligencia Artificial (IA) en la economía y el análisis económico

Dres. Rinaldo Antonio Colomé, Víctor J. Elías y Fernando Navajas
Contribuciones de los Académicos Dres. Hildegart Ahumada, Omar Chisari, Juan Carlos De Pablo, Víctor J. Elías, José María Fanelli, Leonardo Gasparini, Daniel Heymann, Luisa Montuschi y Fernando Navajas.

Introducción

Los aportes de los Sres. Académicos de la ANCE evalúan los efectos de la Inteligencia Artificial (IA) en la economía y en el análisis económico. Con respecto al impacto de la IA en la economía, se brindan estimaciones en las inversiones en infraestructura, en el empleo en general y en sectores que utilizan procesos automáticos, en diversas ocupaciones, en la distribución del ingreso personal, y en el crecimiento económico. Se brindan estimaciones de salarios del personal dedicado en el proceso de registro y uso de datos con el objeto de medir el alcance actual del uso del “Machine Learning” (ML) y “Big Data”. Se hace un aporte a la utilización de datos y métodos automáticos de estimación y pronóstico económico.

Con respecto al análisis económico, se discute el impacto de la IA en el proceso de las decisiones, en la dinámica macroeconómica, del mercado laboral, del crecimiento económico, la organización industrial y competencia, y de la educación. También se muestran avances de la medición de la innovación.

Una descripción de los grandes cambios que se observaron en la economía mundial ayuda a la evaluación de los impactos de la innovación y a ver como la economía pudo ajustarse a los mismos, destacando el rol crucial de los efectos precio e ingreso.

Leonardo Gasparini (2021) menciona que “Muchos afirman que en las últimas décadas del siglo XX se inició otra revolución, impulsada por el uso masivo de nuevas tecnologías de procesamiento y comunicación, que están transformando una vez más las formas de producción. La mecanización y automatización, inicialmente en el agro y en la industria manufacturera, pero ya extendida a mucho

sectores de servicios, ha ido transformando la estructura de empleo y de ingresos; primero en los países desarrollados y progresivamente en el resto del mundo. A ese proceso de cambio tecnológico acelerado, en los últimos años, se ha sumado un nuevo fenómeno de características inéditas: la inteligencia artificial, IA” ... “Lo inédito de la IA respecto de cambios tecnológicos anteriores es que esta vez la tecnología desarrollada es capaz de realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana en lugar de reemplazar actividades manuales y rutinas mecánicas o tareas básicas repetitivas” ... “A diferencia de la gran mayoría de los temas, donde la investigación económica se nutre de evidencia empírica sobre hechos pasados, el análisis de la IA es en gran parte aún prospectivo, y por lo tanto necesariamente más especulativo y menos riguroso”.

Luisa Montuschi (2021) destaca que existen tres tipos de IA: IA débil, IA general e IA fuerte. Habitualmente se trabaja con las dos primeras, pero se señala que el futuro de la IA habrá de ser la IA fuerte ... Otro desarrollo habitualmente analizado en conexión con la IA se refiere a la “robótica”. Los desarrollos observados en esta disciplina han llevado a muchos a identificarla con la IA. Pero no es así. Ambas pueden coincidir en pequeñas proporciones. La robótica es la rama de la tecnología que se ocupa de los robots físicos. Y los robots son máquinas programables que pueden llevar a cabo una serie de acciones autónomas o semi-autónomas. Los robots son artificialmente inteligentes ... muchos robots no son inteligentes. Solo una pequeña proporción lo es. La robótica se orienta a diseñar, construir y programar robots físicos que puedan interactuar con un mundo físico, y la IA implica programar la inteligencia.

Víctor Elías (2021) destaca que “la innovación y los bienes (productos y servicios) pueden definirse de diversas maneras. En el caso de la innovación, el economista la define como todo aquello que produce una baja del costo de producir los bienes. Con ello se cubre todo tipo de innovación tecnológica y organizativa. Esta definición ayuda al análisis de las fuentes del crecimiento que responden a inversiones estimuladas por la baja en los precios de los servicios de los insumos. Una forma alternativa dual, es considerar el cambio en la productividad de los insumos de la producción. También para analizar su impacto en la economía (tamaño y dinámica), se la clasifica de diversas formas: ahorrador de trabajo, ahorrador de capital, objetivos generales, objetivos específicos, entre otros. En lo referente a la IA, se pone énfasis en el componente GPT (tecnologías con propósitos generales) que incluye la robótica y la automatización, y el componente de “machine learning”. Esta clasificación sirve también para generar una teoría tratando de explicar qué tipo de innovación es la que surge y cual se desarrolla más. Para los bienes una forma más

flexible de definirlo, es en base a los servicios que prestan. El servicio transporte, por ejemplo, puede ser prestado por diversos tipos de bienes, como ser: automóviles, bicicletas, trenes, aviones, ómnibus, camiones, comunicación telefónica, entre otras. Ello permite una medición continua del bien y para analizar el impacto de la innovación, incorporando los cambios en calidad de los bienes”.

De acuerdo a Jose M. Fanelli y Ramiro Albrieu (2021) (Fanelli y Albrieu, 2021) “la continua acumulación de cambios está produciendo una revolución de facto en las organizaciones heredadas de lo que Carles Boix llamó el “capitalismo de Detroit”, en referencia a la ciudad manufacturera norteamericana. La forma de organizar la cooperación entre capital y trabajo del capitalismo de Detroit favorecía la cohesión social porque: (a) la producción en masa de bienes estandarizados generó una demanda de empleo muy dinámica que pudo ir absorbiendo el fuerte crecimiento de la población en edad de trabajar. (b) se establecieron relaciones laborales de largo plazo y se creó una cultura de carrera dentro de la empresa; esto permitió la implementación de políticas públicas orientadas a administrar los riesgos que las personas enfrentan a través de su vida (vejez, desempleo, salud). (c) buena parte de los trabajos eran relativamente rutinarios y poco desafiantes en términos cognitivos: repetición de tareas manuales específicas, procesamiento de datos e información, seguimiento de secuencias o procesos dentro de la empresa. Al tratarse de habilidades y conocimientos para el trabajo que se podían codificar, fue posible que la factoría educativa para la acumulación de capital humano se desarrollara junto con la gran factoría productiva”.

“En los países emergentes, si las oportunidades lucrativas de recurrir a la IA fueran aprovechadas, impulsarían la productividad de las organizaciones. Pero los obstáculos para que ello se traduzca en un incremento de la productividad media de toda la economía no son menores porque el contexto es muy diferente al de las economías avanzadas. Los mercados laborales y las organizaciones han seguido sólo parcialmente las huellas de Detroit y de las TICS en los países avanzados. Junto a algunas grandes factorías y servicios de alta productividad, la cooperación entre capital y trabajo toma muy frecuentemente la forma de contratos informales, autoempleo y contratos de corto plazo con mínima administración de los riesgos. En la India, por ejemplo, Bangalore encontró suelo fértil en una economía donde el 80% de los puestos de trabajo son de tipo de informal. Son economías duales. Es lo que podríamos llamar el capitalismo de Bombay. En este tipo de capitalismo, el modelo de Detroit y las firmas en el campo de las TICs sólo son una porción del mercado de trabajo; típicamente la porción formal, con acceso al sistema de seguros de salud, vejez y desempleo. El resto de los trabajadores accede, en el mejor de

los casos, a mecanismos como las transferencias condicionadas. Los sistemas de aprendizaje también están segmentados y los bienes públicos no son de calidad, lo que afecta la acumulación de capital humano. En un contexto así, la cohesión social es más difícil de lograr, como también lo es consolidar un buen clima de negocios.

Las economías latinoamericanas de ingreso medio combinan en diferentes proporciones y matices los capitalismos de Detroit y de Bombay; ya en los setenta Bacha decía que Brasil era Belindia, una combinación de Bélgica y la India”.

“Se siguen, entonces, dos conclusiones generales. La primera es que se necesitan élites en la política y la economía con incentivos para promover reformas que generen un marco institucional funcional para innovar en la tecnología y las organizaciones y para velar, simultáneamente, por una distribución de los recursos que viabilice la acumulación de capital humano, un mínimo de cohesión social y una economía política que sea un aliado y no un obstáculo para el crecimiento. La segunda es que la capacidad de diseñar un proceso de transición para adaptarse de forma de crear las condiciones requeridas para adoptar la IA va a ser un factor tan determinante para el crecimiento como el hecho de que existan proyectos para los que resulte potencialmente rentable adoptar la IA. La rentabilidad es una condición necesaria, pero no suficiente” (Fanelli y Albrieu, 2021).

Víctor Elías (2021) destaca que “A diferencia de la física, que tiene cuatro fuerzas fundamentales que explican los fenómenos físicos (electromagnética, gravitatoria, nuclear fuerte y nuclear débil) la economía tiene solo dos: el precio y el ingreso (efectos precios y efectos ingresos). Ello nos indica que para estudiar los cambios o efectos que puedan producir en la economía la irrupción de la IA tenemos que ver primero qué efectos tiene la IA en los precios y en el ingreso. En términos técnicos, al ver los procesos de producción a través del tiempo, en realidad la automatización registró un proceso continuo, no es solo un salto.

En el espíritu del ML de la IA hubo muchos esfuerzos relacionados que algunos economistas incursionaron. En el siglo 18 François Quesnay trataba de aprender del funcionamiento de la economía asimilándolo al funcionamiento del cuerpo humano. Irving Fisher y William Phillips, en el siglo 20, diseñaron máquinas para que generen la dinámica de la economía. Herbert Simon a su vez, con la cibernética, se orientaba hacia la IA para entender el proceso de decisión de los agentes económicos, y mejorarlo con el uso de mayor información. Por su lado, Guy Orcutt generó una computadora que permite el cálculo de los estimadores de mínimos cuadrados ordinarios”.

Estimaciones del impacto económico de la IA IA e infraestructura

Con el uso de simulaciones de Equilibrio General Computado (EGC), Omar Chisari (2021) estima el impacto de la aplicación de métodos de IA (IA automatizada e IA asistida) en los sectores de infraestructura (Electricidad, Gas, Agua, Transporte y Comunicaciones). Ello se hace para seis países de América Latina y el Caribe: Argentina, Bolivia, Chile, Jamaica, Costa Rica y Perú. Se mide por separado las ganancias en la calidad de los servicios de la infraestructura.

A partir de estudios del BID se presentan los costos y beneficios de los métodos de digitalización en infraestructuras tales como medidores inteligentes para controlar el consumo de electricidad a nivel residencial, aplicaciones digitales para auditar los consumos de los electrodomésticos, sistemas digitales remotos de macro-medición para mejorar el manejo de la presión del servicio de agua potable, y pantallas en las paradas de ómnibus que indiquen la demora de la llegada de la próxima unidad. Estas técnicas digitales permiten a los proveedores ahorrar insumos o incrementar sus capacidades para ofrecer los servicios, pero para ello debe invertirse en medidores y teléfonos inteligentes e infraestructura incrementando la cobertura de redes 5G.

Un 15% de mejora en la eficiencia en el uso de insumo y un incremento similar en la productividad a lo largo de 10 años, beneficiándose de la implementación de tecnologías digitales, se generan ganancias vía reducción de precios, y a su vez, requiriendo un aumento del 10% de capital de los proveedores de los servicios de infraestructura. Las ganancias promedio con respecto a la trayectoria base al cabo de 10 años en puntos porcentuales del PIB varían del 4 al 9% para los 6 países considerados. Cuando este beneficio se desagrega por nivel de ingreso de los consumidores, se estima que los de menores ingresos se benefician en 1 punto porcentual del PIB adicional con respecto a los de mayores ingresos.

En este mismo ejercicio surgen otros dos efectos. El primero es una ganancia inesperada de calidad en los servicios de infraestructura del orden de 1% del PIB (con mayor efecto en los tramos de ingresos bajos). El otro efecto es del tipo “dutch disease”, al requerir a toda la economía el uso de tecnologías más capital intensivas, generando una pérdida aproximada al 1.5% del PIB.

IA y el empleo

Víctor Elías (2021) describe estimaciones realizadas por diversos investigadores sobre el efecto de la automatización en el empleo. Los resultados son diversos dependiendo de la metodología utilizada. Cuando se utiliza la cantidad de robots como medida de la automatización, el efecto en el empleo es negativo (un robot adicional en la zona produce una pérdida de 6 empleos en EEUU y de 11 empleos en el caso Francia). También produce una baja en el salario por hora y afecta más a los de menor cantidad de años de educación. Cuando se utiliza la metodología que mide la automatización por empresas en base al consumo de energía eléctrica de las máquinas que forman parte de procesos automáticos, el efecto en el empleo es positivo. Un 1% de aumento de la automatización hace aumentar el empleo un 0.25% al cabo de 2 años, y el 0.40% al cabo de 10 años.

Luisa Montuschi (2021) destaca que “la rápida e impactante expansión de la IA ha originado un cierto temor relativo a una eventual pérdida de empleos que la misma puede generar (como señalaba Keynes en 1930, “A new disease is technological unemployment”)” ...” Es cierto que la evolución de la IA ha eliminado muchos puestos de trabajo, pero simultáneamente, ha creado y transformado otros, y el balance para algunos aparece como positivo”.

Montuschi (2021) destaca que, mirando los desarrollos tecnológicos del pasado que se tradujeron en incrementos en la demanda de trabajo y en los salarios, que no hay razón para suponer que en el presente los cambios habrían de ser sistemáticamente distintos y desfavorables para el trabajo humano. Por otro lado, parece que “ya está asumida la existencia potencial en la IA y en la robótica para reemplazar actividades antes ejecutadas por los trabajadores humanos con un importante efecto desplazamiento en el empleo, que también habría de afectar los ingresos asalariados. Pero también habrá de generarse un potencial de demanda de nuevas habilidades en el mercado de trabajo generadas por la IA que se habrán de reflejar en nuevas y ampliadas demandas de educación”.

Leonardo Gasparini (2021) describe que “Es muy probable que en el corto plazo la incorporación de tecnología impacte negativamente sobre la demanda de trabajo en aquellas ocupaciones desafiadas, y en consecuencia afecte el nivel y la estructura de empleo. En cambio, los efectos de equilibrio general sobre el empleo y los salarios en el largo plazo son más difíciles de determinar y no necesariamente negativos”.

“Las máquinas desplazan a los humanos, incluso en tareas que hasta hace poco parecían a salvo de la ola tecnológica ... a este efecto desplazamiento se le opone un efecto reincorporación”. “El balance entre los efectos es incierto y depende del

plazo que se considere, de las rigideces del mercado laboral y de la velocidad en cerrar el mismatch generado por la demanda de nuevas habilidades”.

En un estudio en nuestra región, Gasparini (2021) encuentra que en las últimas décadas el crecimiento del empleo fue significativamente menor en las ocupaciones más fáciles de automatizar. En otro trabajo “encuentran que los distritos más expuestos a la adopción de robots tuvieron un peor desempeño en relación con los menos expuestos en términos de desempleo, informalidad e ingresos. La incorporación de tecnología es inicialmente un proceso traumático”.

“La determinación de ganadores y perdedores naturalmente depende del cambio de tecnología puntual bajo estudio. El proceso de mecanización de la producción de la industria manufacturera de las últimas décadas del siglo XX fue claramente sesgado en contra de la mano de obra no calificada. En cambio, al menos para muchos países desarrollados, los avances más recientes en automatización y robotización han perjudicado en mayor medida a los trabajadores semi-calificados en empleo de salarios medios caracterizados por tareas rutinarias”.

Gasparini (2021) destaca que “muchas de las tecnologías de IA están avanzando en reemplazar tareas típicamente realizadas por trabajadores calificados (ej. contadores, abogados, arquitectos). Por ahora, sin embargo, la amenaza sobre estas ocupaciones de salarios muy altos parece algo lejana. En un trabajo utiliza indicadores de perspectivas futuras de automatización por ocupación a partir de la predicción de expertos en machine learning para la próxima década, y los aplican a la estructura ocupacional de las seis economías más grande de América Latina, concluyendo “que al menos por ahora, y de acuerdo a estas proyecciones, es probable que los trabajadores no-calificados y semi-calificados sigan asumiendo la mayor parte de los costos de ajuste ante el cambio tecnológico”.

Efectos sobre la distribución del ingreso

Gasparini (2021) destaca que “las nuevas tecnologías tienen efectos asimétricos sobre la demanda de los distintos factores de producción, por lo que el impacto sobre la desigualdad puede ser significativo y perdurable”.

“La predicción más usual es que las nuevas tecnologías reforzarán una tendencia iniciada hace décadas hacia el aumento de la participación del capital y la reducción de la participación del trabajo en el ingreso nacional. Desde la mayor concentración de la propiedad del capital en los percentiles superiores de la distribución del ingreso, el impacto esperado es desigualador. En esa misma dirección opera el incremento de las rentas de los innovadores, esperable en un contexto

de mercados para la innovación no perfectamente competitivos. Las predicciones sobre el aspecto asimétrico sobre los distintos tipos de trabajo son más inciertas. Algunos prevén la continuación del sesgo pro-trabajo calificado, que ha resultado significativamente desigualador. Otros, en cambio, sostienen que los factores de cambios tecnológicos asociados con la IA afectaron más a los trabajadores de mediana y alta calificación, con el impacto distributivo”.

“Es esperable que no solo la distribución del ingreso interno de cada país, sino también la distribución del ingreso entre países se vea afectada por el desarrollo de tecnologías avanzadas de IA. En particular los países “off shore”, dado que el costo laboral se vuelve menos relevante. Las nuevas tecnologías tienden a ahorrar mano de obra y recursos naturales, los factores de producción más abundantes en los países en desarrollo. Adicionalmente muchas de las nuevas tecnologías implican una dinámica del “ganador se lleva todo”, en la que los países en desarrollo tienen menos chances de competir.

Gasparini (2021) concluye que “las consecuencias distributivas de las innovaciones tecnológicas suelen ser entonces muy relevantes, hasta el punto de, incluso, amenazar su sustentabilidad. Los avances en la IA suponen un cambio tecnológico de magnitud y consecuencias todavía impredecibles. Los próximos años serán seguramente fértiles en la investigación sobre estos temas, a medida que las tecnologías se expandan y generalicen, y comiencen a generarse datos que permitan estudiar sus efectos con menor conjeturas y más seguridad”.

Medición de las innovaciones y sus efectos en el crecimiento

Elías (2021) enfatiza que “Para poder cuantificar el impacto de las innovaciones en la economía, es necesario poder medirlas como un insumo más en el proceso económico. Los especialistas en Cuentas Nacionales, tienen como prioridad generar mediciones razonables del proceso innovativo (ver Jorgenson, 2021: The Advisory Committee in Measuring Innovation in the 21st Century Economy, 2008), incluso midiendo los que se generan en los hogares, y los que tienen que ver con aspectos organizativos. Para Estados Unidos, en el 2010, se estima en 20.2 miles de millones de dólares los R&D de los hogares (que surge de valorar 14.7 días por innovación, 1.9 proyectos por año, y 16 millones de innovadores, lo que representa un 52% de los R&D que gastan las empresas en productos de consumo). Estas innovaciones incluyen “DIY Artificial Pancreas”, “Phone App that identifies colors”, “New sport or equipment”, “New craft and shop tools”. A su vez, estiman las inver-

siones en intangibles que se adicionan a las tradicionales inversiones tangibles (activos físicos). En Estados Unidos, el componente intangible alcanzó a representar la mitad del total de inversiones. Los estudiosos del proceso innovativo, apelaron a distintos indicadores entre los que se destacan la cantidad de patentes generadas por los innovadores, y las inversiones que realizan las empresas y el sector público que se denominan R&D (Research & Development). También se la aproxima midiendo el componente de capital que incorpora los avances tecnológicos como el caso de la tecnología informativa (TIC) y la IA. En el sub-periodo 1989-2004, el capital tipo TIC contribuyó con 0.46 al crecimiento mundial anual del 3.78%, o sea un 12% del crecimiento y un 35% de lo que contribuye todo tipo de capital (el capital TIC incluye hardware, software, computadores, equipos de oficina, componentes electrónicos, telecomunicaciones)”.

Según Fanelli y Albrieu (2021) “como ocurre con toda tecnología de uso difundido, la IA promueve el crecimiento al influir en la productividad de un conjunto amplio de actividades y aumentar así la productividad media. Para García Zaballos, el verdadero potencial de la IA está en su capacidad para complementar y enriquecer los factores de producción tradicionales. Se trata de un híbrido entre capital y trabajo que permite realizar, por un lado, tareas laborales a mucha mayor velocidad y escala, así como tareas imposibles para las personas y, por otro, en cuanto capital, puede incrementar su valor en el tiempo, gracias al autoaprendizaje y las mejoras. Dos canales fundamentales para el incremento de la productividad son los vehículos autónomos y sistemas de inteligencia asistida e inteligencia aumentada y, también, el incremento del consumo, resultado de la aparición en el mercado de nuevos productos y servicios perfeccionados y personalizados. La rentabilidad potencial de la IA, que es esencial para su aplicación, se refleja en el hecho de que, según el McKinsey Global Institute, el 70% de las empresas del mundo habrá adoptado algún tipo de IA hacia 2030”.

“Otro factor que podría debilitar la productividad es la falta de insumos complementarios por fallas en las organizaciones o escasez de capital humano. Citando el efecto Baumol, Aghion llama la atención sobre el hecho de que el crecimiento no es determinado por aquello en lo que la economía es mejor sino por la oferta de lo que es esencial pero difícil de mejorar”.

Impacto en el análisis económico Aspectos macroeconómicos

De acuerdo a Daniel Heymann y Pablo Mira (Heymann & Mira, 2021), “la ventaja comparativa en la construcción y operación de los modelos pasa del restringido ámbito académico a entidades privadas (además de públicas) con gran obtención de datos y masas de información procesable, y que pueden tener un interés especial para la elaboración de instrumentos destinados a representar y proyectar la evolución macroeconómica”. Por otro lado, “se puede conjeturar que los esquemas de análisis subyacentes en los productos macroeconómicos de IA tenderán a diferir de las representaciones de equilibrio general donde los comportamientos de los agentes se postulan a partir de problemas óptimos, y se moverán hacia modelos de múltiples agentes”.

Por otro lado “tenderían a producirse o acentuarse asimetrías en la calidad de las decisiones entre quienes tengan acceso a los sistemas artificiales y quiénes no. Al mismo tiempo, la velocidad de cambio del contexto económico podría acelerarse debido a los procesos colectivos de aprendizaje y adaptación de los sistemas de IA, sobre todo si estos son más responsivos que los “agentes humanos”. La influencia de la IA puede repercutir significativamente en el desempeño macroeconómico, que depende crucialmente de las percepciones y expectativas de los actores. En particular surge la pregunta sobre cómo puede afectar la IA a la emergencia de crisis sistémica” ... “No habría garantía de que no emerjan en el cambio errores colectivos con implicancias macroeconómicas, como ha ocurrido en varias oportunidades con decisores humanos, especialmente en períodos de transición económica y tecnológica. Es decir, sería difícil esperar que la IA convierta a las crisis en hechos del pasado”.

Procesos decisorios y decisiones económicas

Juan Carlos De Pablo (2021) y Heymann y Mira (2021) brindan diversos posibles efectos de la IA en los procesos decisorios y específicamente las decisiones económicas. De Pablo (2021) se pregunta si la IA puede mejorar la toma de decisiones y por consiguiente los resultados.

Heymann y Mira (2021) establecen que es natural que sistemas dedicados al procesamiento de información se apliquen a procesos de decisión económica. “Existen fondos de inversión que se publicitan como manejados por la IA ... se ha veni-

do explorando el uso de la IA como instrumento para mejorar el diseño de mecanismos de transacción y contratación ... La utilización de algoritmos por empresas a efectos de la determinación de precios de venta ha venido tomando importancia, no siempre con resultados exitosos ... El avance de la sofisticación de los sistemas y de los alcances de su aplicación podría derivar en una creciente delegación de aspectos centrales de las decisiones del usuario humano. En contextos económicos, estas circunstancias dan lugar naturalmente a problemas de principal-agente, aunque con un “agente artificial” la interacción adopta características peculiares. En una relación típica, el principal se vincula con un agente con intereses y objetivos propios, que además cuenta con información y conocimientos superiores en los ámbitos relevantes para la interacción. Estas condiciones podrían condicionar la difusión de “contratos inteligentes”.

De Pablo (2021) enfatiza que “la decisión humana comete errores con mayor frecuencia, y el costo del que cabe imaginar ... sesgo y ruido son componentes del error humano”. El comportamiento humano varía por y durante el día, y su grado de percepción depende del tamaño del error. También es afectado por lo social y manifiestan un exceso de confianza. También destaca que los pronósticos de los modelos no son notablemente superiores al de los humanos, y que los modelos simples frecuentemente son mejores.

Un algoritmo que se utiliza para pronosticar puede estar sesgado y aun así ser menos imperfecto que el discernimiento humano. También es importante distinguir entre reglas y normas especialmente en las decisiones judiciales. Los algoritmos pueden ayudar bastante en el diseño de ellos.

Luego considera alternativas para la reducción de los ruidos que complican las decisiones. Para ello encuentra importante la auditoría del ruido y la llamada higiene decisional, la cual tiene 6 principios: objetivo, criterio estadístico, por etapas, tiempo, independencia, y relatividad, sin olvidar la “sabiduría de la multitud”.

De Pablo (2021) finaliza destacando que la economía del comportamiento ya es un instrumento incorporado al análisis económico. Los algoritmos mejoran la decisión humana, porque no son perfectos, pero están libres de sesgos y ruidos, y por consiguiente deben ser tomados en serio. Ignorar la IA es una tontería.

Análisis del mercado laboral

Heymann y Mira (2021) destacan que la IA abrirá complementariedades con las habilidades personales, sea con individuos encargados de “asistir” al algoritmo (ya sea por entrenamiento o calibración), o bien utilizando sus servicios. También

esperan una considerable sustitución de mano de obra. Señalan que es probable que la presencia ubicua de la IA se vea acompañada por una considerable asimetría en las maneras que las personas se vinculan con ella.

“En el ámbito específico del uso de la IA en la producción, se han distinguido categorías de ocupaciones como los “entrenadores” de sistemas, los “comunicadores” de tecnología que explican las salidas de los sistemas de IA a los clientes, y los “verificadores” para monitorear el rendimiento de los sistemas de IA y el cumplimiento de estándares predeterminados”.

“La difusión de la IA también afectará por canales diversos la división internacional del trabajo”. Habría efectos de escala de calibración y de externalidades de conocimiento. Ello podría generar la concentración geográfica de la actividad de punta, algo que ya ocurre en EEUU, China y Europa.

También destacan “que refugiarse en el rol de consumidores pasivos de innovaciones empaquetadas es una opción poco atractiva e incluso riesgosa, porque implicaría acotar capacidades de adaptación en entornos probablemente inestables.”

Víctor Elías (2021) propone un esquema conceptual para analizar el posible impacto de la IA en el empleo. Este impacto se produce vía los efectos en los salarios que es uno de los determinantes de la demanda laboral. La respuesta de la cantidad de demanda de trabajo, ya sea en las empresas o al nivel agregado de la economía, depende de la participación de los salarios en el producto, de la elasticidad de sustitución entre trabajo y capital, de la elasticidad de demanda del producto, y de la elasticidad de oferta del capital. También combina este enfoque con el de las fricciones que existen en la búsqueda de trabajo, y con las expectativas de un nuevo empleo que tienen los trabajadores, en este caso asociado al nivel de desempleo.

Según Fanelli y Albrieu (2021), “como la IA modifica la “división de tareas” entre las personas y las máquinas, la creación de entornos ricos en datos implica para una empresa en particular digitalizar buena parte de los procesos que eran realizados en forma analógica y por personas. Esto desafía a un conjunto amplio de puestos de calificación baja y media, usuales en el capitalismo de Bombay, pero también a la C-Suite. Al respecto, Andrew McAfee y Erik Brynjolfsson estudiaron cómo la aplicación de sistemas de IA en los modelos de negocios genera una fuerte competencia entre las estrategias que se desprenden de los datos y las que surgen de las opiniones de las personas mejor pagadas de las empresas (HiPPO por sus siglas en inglés). Existe, por ende, el temor de que la IA produzca un gran “desempleo tecnológico”. Sin embargo, Daron Acemoglu y Pascual Restrepo mostraron que el efecto sobre el desempleo es complejo. Según estos autores, la IA dispara dos tipos de efectos en el mercado de trabajo: uno de desplazamiento y otro de com-

plementariedad (o “reintegración” a través de la creación de nuevas tareas para las personas). En base a este enfoque, Ian Cockburn, Rebecca Henderson y Scott Stern bucearon en bases de datos sobre publicaciones científicas y patentes y detectaron un patrón interesante: los sistemas de IA se van redireccionando desde aplicaciones asociadas a robots a otras intensivas en machine learning; las primeras ponían el foco en ahorrar mano de obra, pero las segundas en complementar habilidades de las personas. Otro argumento que reduce los riesgos de desempleo tecnológico es la cuestión de la demanda. Como remarca James Bessen, si bien la IA puede reducir las tareas asociadas con cada bien que se produce, si aumenta la cantidad total de bienes que se venden, la demanda de empleo no se reducirá. Bessen encuentra que en la primera y segunda globalización no hubo caída en los niveles de empleo, incluso en los sectores donde el proceso de automatización fue más acelerado. Recientemente, el Asian Development Bank realizó un diagnóstico sobre las TICs e IA para Asia, y encontró un resultado similar: si bien la automatización avanzará, la suba en los ingresos propia de la resurgencia de China y países vecinos más que compensará ese shock negativo para el mercado laboral”.

“La adopción de la IA se asocia con incrementos en el premio por estudios terciarios debido al sesgo en favor del trabajo calificado de las tecnologías incorporadas al capital. También aumenta la participación del capital por la sustitución del trabajo. Una fuerza que actúa en sentido contrario en el caso de la IA, según Aghion, es la “enfermedad de los costos” de Baumol: el incremento de la productividad en las ramas dinámicas va acompañado por el incremento de salarios en las ramas de menor aumento de la productividad. Más allá de esto, debido a la desigualdad en la distribución en América latina, es de esperar que los sesgos redistributivos inducidos por la IA plantearán dificultades mayores que en los países desarrollados”.

IA y la organización industrial y competencia

Micaela Kulesz y Fernando Navajas (Kulesz y Navajas, 2021) discuten “en modo selectivo algunos de los efectos de la IA sobre aspectos centrales de la organización industrial y la política de la defensa de la competencia de los mercados como son la discriminación de precios y la colusión algorítmica”.

“La asimetría de la información fueron ampliamente analizados para comprender el funcionamiento de los mercados a partir de la disponibilidad y flujos de información que median entre los agentes económicos” (comprador y vendedor).

“La IA entra en esta dinámica como un tercer agente que reduce el costo de la asimetría de información ... Las nuevas empresas de tecnología -las famosas “start-

ups”- encuentran su nicho en estas asimetrías, y mediante el uso de la IA se apropian de las ineficiencias que antes se concentraban principalmente en uno de los agentes ...” Las reglas que rigen la organización de los mercados en este momento se están reformulando para alojar este nuevo integrante, y los efectos de esta nueva organización sobre el bienestar aún no se conocen por completo. Pero sin duda, van a cambiar nuestra visión convencional de la morfología de los mercados y de su regulación.

La discriminación de precios es una práctica que se utiliza en algunas empresas (energía, transporte, por ejemplo), lo cual estaba limitado por el acceso a mayor información sobre los consumidores. La capacidad discriminatoria de las empresas con la mayor información que le brinda la IA puede aplicar lo que se llama discriminación de primer grado cobrando diferentes precios por un mismo bien y poder segmentar a los consumidores en base a sus gastos y preferencias logrando que paguen el máximo precio que estaría dispuesto a pagar por un bien (caso de Uber por ejemplo). Las mayores preocupaciones sobre las prácticas algorítmicas de discriminación de precios están relacionadas con los enormes volúmenes de datos personales compartidos y procesados sin restricción”. “Varios trabajos demostraron la existencia de discriminación de precios algorítmicos como una discriminación de primer grado; pero a la fecha estamos al tanto de pocos estudios que evalúan empíricamente las consecuencias para los consumidores de que las firmas adopten perfilamientos tecnológicos”.

Kulesz y Navajas (2021) advierten que el “pricing” algorítmico puede derivar en prácticas colusivas tácitas de difícil detección. Esto puede ocurrir en mercados no concentrados o aún muy competitivos: ... los algoritmos no conocen las regulaciones, sino de restricciones ...

Los algoritmos de IA son inteligentes porque aprenden de su entorno”. Ellos presentan resultados de diversos trabajos con simulaciones que convalidan la tendencia a colusión o monopolio en diversos casos y que ese tipo de colusión no es tipificable bajo los procedimientos habituales de detección de colusión tácita.

Si bien aún no existen comprobaciones empíricas de ello, algunos resultados recientes sobre los efectos de la adopción de IA van en la dirección esperada por los resultados teóricos, como es el caso de los márgenes del mercado de gasolina en Alemania, con efectos de subas significativas en casos donde había competencia previa.

“El desarrollo de la digitalización, ahora favorecido por la pandemia del Covid-19 ha generado un rápido movimiento hacia el comercio online, algo que es sumamente útil y beneficioso para los consumidores”, pero “el mismo comercio online, al traer información y transparencia a la vista de los competidores, podría

generar efectos extraños o inesperados en la competencia hacia lo que se denomina un equilibrio de rápida respuesta”.

“La respuesta de la política regulatoria frente a estos problemas se encuentra en un estado incipiente y en la espera de mayor evidencia y conocimiento de los resultados que van a brindar importantes esfuerzos que hacia esta temática se están realizando y que van a ocupar un lugar destacado en el análisis económico en los próximos años”.

La discriminación perfecta de precios, si bien llevaría a las empresas a producir como en competencia, genera una redistribución de ingresos de consumidores a productores que pueden ir a ganancias o salarios. Las mediciones de las Cuentas Nacionales se verían afectadas ya que ahora todos los bienes y servicios se valúan a un precio único.

Fanelli y Albrieu (2021) destacan que “Coase y los institucionalistas plantearon que los límites entre la firma y el mercado no vienen dados exógenamente, sino que dependen de los incentivos que enfrentan los agentes. Con la IA, hacia dentro de las firmas los contornos entre funciones y las jerarquías se van desdibujando y rediseñando de la mano de la unificación de los datos generados por los distintos departamentos y áreas funcionales. Pero lo que se vuelve realmente borroso es el contexto exterior de la firma: no es tan sencillo detectar dónde termina la organización –con sus reglas y jerarquías propias– y donde empiezan las transacciones de mercado. Ese contorno difuso está ocupado ahora por las plataformas de intermediación laboral. Estas plataformas están proveyendo un medio ideal para pasar del esquema contractual del largo plazo –típico del capitalismo de Detroit– a otro basado en contratos cortos o por pequeñas tareas (al límite, un gig). En relación con esto, es clave para las economías emergentes generar modelos eficientes para la profesionalización del sector servicios”.

“Las organizaciones cambian con la adopción de la IA. Pero además de quién hace qué, importa en qué marco se da la cooperación entre capital y trabajo, y cómo ese marco está cambiando. Por lo tanto, habrá que adaptar el marco institucional de la economía. Por ejemplo, si bien hablamos de “mercado” de trabajo, en el capitalismo de Detroit las transacciones laborales eran principalmente mediadas por las jerarquías existentes dentro de la firma. Hoy, el contrato se usa más que la jerarquía para muchas tareas y, consecuentemente, las políticas públicas para el bienestar, el manejo de riesgos y la distribución tendrán que ser reformadas al estar muchas de las existentes asociadas directamente con la relación laboral y con las transacciones que ella genera. Las nuevas formas de contratación eliminan un “punto de entrada” para la política pública, y ello en la práctica puede derivar en pérdidas de beneficios para los trabajadores”.

Pero las reformas de las reglas de juego pueden no ser sencillas. La adopción de tecnologías crea ganadores y perdedores entre empresas, trabajadores y localidades. Esto es inherente al proceso de destrucción creativa usualmente asociado con los avances tecnológicos. Los cambios distributivos que resultan tienen efectos no sólo sobre el bienestar de los diferentes grupos sino, también, sobre la economía política que es la que determina en última instancia la viabilidad de las reformas”.

IA y pronósticos económicos

Hildegart Ahumada (Ahumada, 2021) destaca que es necesario precisar varios conceptos que comprenden desde los algoritmos, pasando de la definición de mejor modelo y hasta la definición misma de pronóstico.

“En referencia a economía y otras ciencias, IA puede pensarse como un conjunto de métodos que permitan aprender de los datos para realizar tareas a través de la adaptación. Dentro de ella encontramos desde la robótica hasta lo que más nos interesa como investigador machine learning. Así podemos describir Machine Learning (ML) como un área de IA que construye algoritmos que pueden aprender de los datos. Su relevancia no puede aislarse del advenimiento y desarrollo de Big Data en distintas disciplinas. Para estos conjuntos amplios de información como los provenientes de teléfonos celulares, transacciones online, o redes sociales, ML aparece como sumamente poderosa”.

“En ML es posible distinguir dos campos relacionados pero diferentes, ambos con potenciales usos para pronósticos: el aprendizaje supervisado y no supervisado”. En ciertos casos ambos son complementarios.

“Una diferencia notable de este enfoque con respecto a las estadísticas clásicas y por lo tanto econometría clásica, es el foco en la variable Y (a predecir) y no en la representación, muy frecuentemente paramétrica del proceso generador de datos Y.

Para ello, el investigador que utiliza un algoritmo de ML debe definir una función de pérdida que penalice el alejamiento de Y (la predicción para Y) del Y observado ...” En uno de los algoritmos de ML más usado en economía, tanto aplicados a la muestra como para hacer pronósticos, LASSO (Least Absolute Shrinkage and Selection Approach), la función objetivo de minimizar ECM (Error Medio Cuadrático) puede implicar obtener estimadores sesgados pero que la ganancia en reducción de varianza sea mayor ... Otros enfoques de ML usan esquemas de árbol como el CART (Classification and Regression Tree) donde van introduciéndose variables en función de la contribución al objetivo (e.g. menor ECM) ... En estos algoritmos es común que las observaciones sean particionadas para la estimación

y la evaluación de la función objetivo (e.g. menor ECM). Esto se realiza frecuentemente por la técnica llamada de “validación cruzada”; donde las observaciones disponibles se particionan en subconjuntos que se consideran de entrenamiento, reservando uno de ellos para la evaluación y repetición del proceso”.

“Un algoritmo que reúne aspectos de ML con la posibilidad de realizar inferencia estadística tradicional es Autometrics ... Una extensión de este algoritmo incluye el caso de Dummy Saturation de gran utilidad para el tratamiento de valores extremos, y específicamente quiebres en los modelos, el talón de Aquiles de los pronósticos económicos”.

“... el concepto de pronóstico en sentido amplio más allá del tipo (económico o de otra naturaleza) y del método que utilicemos (desde una simple extrapolación hasta el más sofisticado) necesita que: i) existan regularidades; ii) dichas regularidades sean informativas sobre el futuro; iii) tales regularidades puedan ser encapsuladas en un método; y iv) las no-regularidades puedan ser excluidas del mismo”.

“Un concepto relevante para entender la naturaleza de los pronósticos es el de predicción que es distinto al de pronóstico ... predicción depende del conjunto de información, pero también del horizonte ... predicción es condición necesaria pero no suficiente para pronóstico ... ello “nos llevan al ejercicio de validación cruzada para la selección del modelo. En pronóstico es más frecuente considerar los datos disponibles particionando en ventanas de estimación (fija o variables debido a Rolling y/o Recursive estimations) y de pronóstico (pseudo out of sample). Es importante notar que no toda partición mecánica de las observaciones de la muestra es útil para pronóstico si el horizonte que nos interesa es otro o la información no está disponible en el momento de partida. Un ejemplo de esto se da cuando se analizan el valor de los precios futuros de las Commodities para pronosticar precios spots”. ... La discusión forma parte de la literatura de quiebres “anticipados” que se complementa con la literatura de los quiebres “no anticipados” en donde desde los mecanismos naive ... los modelos tradicionales de series de tiempo univariados la corrección de la ordenada y otros métodos robustos hasta la combinación de pronósticos tienen ventajas en pronósticos. Finalmente, y no menor, es la cuestión no resuelta de las diferentes medidas de evaluación que implica basarse en diferentes funciones de pérdida y que ha llevado a arduas discusiones”.

“La mayor evidencia reciente sobre el uso de ML para pronósticos es prevista por los resultados de la M4 Competition. Esta competencia forma parte de una serie de competencias iniciadas en 1982 (con 1000 series) con el objetivo de utilizar los resultados sobre la performance de pronósticos para mejorarlos a través de hechos estilizados y así favorecer el avance de la teoría y práctica de pronósticos. M4

se diferenció de las anteriores por el mayor número (100.000) de distintos tipos de series provenientes de finanzas, industria, macro, micro, etc., de diferentes periodicidades y el uso de ML. Los principales resultados son los siguientes:

i) La combinación de métodos es el rey de M4; ii) ... los mejores pronósticos fueron híbridos, combinando métodos estadísticos y de ML; iii) el segundo mejor método fue una combinación de 7 métodos estadísticos y uno de ML; iv) los 6 métodos de ML puros tuvieron resultados muy pobres.

“Un panorama más optimista sobre el éxito de algoritmos de la IA puede ser observado en la M5 Competition. Esta competencia es diferente de las anteriores ya que está aplicada a un caso concreto, las ventas de una empresa con una estructura jerárquica de datos (agrupados) y por un mayor número de usuarios de ML. En este caso un algoritmo de búsqueda por árboles, el método Light 6BM, fue superior ... se observó también que las ventajas de combinación siguen manteniendo utilidad”.

“Los pronósticos económicos deben dar cuenta de la naturaleza dinámica y evolutiva de la economía. De allí que es difícil dar por sentado que el pasado será necesariamente como el futuro y discriminar cambios permanentes de transitorios. En otras palabras, frecuentemente habrá que lidiar con quiebres”.

La IA y la economía cuantitativa

Según Elías (2021) “de acuerdo a algunos autores el componente “Machine Learning” (ML) de la IA, es una rama de la estadística computacional que se usa como herramienta de predicción, en especial el algoritmo llamado “deep learning” (que es más IA que “data mining”, la cual utiliza más la IH -inteligencia humana). Su uso se expandió con diferentes resultados. De acuerdo a Steven Levitt una dificultad que tendría, es que ello no fue acompañado por una mayor imaginación de sus usuarios y mucho de su uso, hasta ahora, no fue muy relevante para responder desafíos claves de la economía.

La información es un elemento muy relevante en la toma de decisiones de los agentes económicos y es parte de la explicación de los diversos valores que toma el mismo producto, o insumo, al mismo tiempo y en el mismo mercado. En ello, el “deep learning” tiene mucho para mejorar.

Expertos en Cuentas Nacionales estiman que para Estados Unidos el costo laboral de la economía de los datos que utilizan ML y “Online Job Postings”, basado en las ocupaciones que trabajan con datos y en la frecuencia en que lo hacen, en el año 2015 se estima en 200.000 millones de dólares, que equivale al 1.6% del total de salarios de la economía.

La economía cuantitativa tiene diversos desafíos. Entre estos está la estimación de parámetros de diversas relaciones económicas y la predicción temporal y espacial de variables relevantes a la toma de decisiones. Para ello se desarrollaron diversos métodos econométricos paramétricos y no-paramétricos, base de datos generados cada vez más por los propios investigadores en base a métodos de búsqueda tradicionales y por experimentación (H. Varian menciona que solo Google hace unos 10,000 experimentos por año). Los métodos de interpolación para completar datos faltantes (ya sea con fórmulas matemáticas, o por series relacionadas), y el promedio móvil para tratar “outliers”, o la excesiva volatilidad en las series (a veces a las de períodos cortos) fueron muy útiles. El método Bayesiano brinda la estructura estadística-probabilística para combinar la información ya acumulada con las nuevas evidencias. Muchos de los métodos econométricos, con el desarrollo de software y algoritmos especiales, permiten ampliar notablemente la iteración que lleva a elegir los modelos y estimaciones más apropiados bajo el criterio estadístico. Los métodos más avanzados no brindan en general soluciones explícitas de los estimadores que permitan compararlos con los métodos clásicos. A pesar de ello la visión de gráficos simples siguen siendo una herramienta valiosa para el investigador. Desde ya que es muy útil comparar los resultados de ML con los métodos anteriores con mayor participación humana.

La mayor disponibilidad de datos y técnicas más rápidas para el ensayo de alternativas permiten estimaciones de características más específicas de las variables, y en un trayecto más amplio (“consumer” y “producers” “surplus”, por ejemplo).

Gran parte de los datos disponibles de las empresas surgen por la necesidad misma de ellos para la toma de sus decisiones. En general son empresas grandes. Muchos de los datos generados hoy por la tecnología informática no surgen de un motivo específico para su uso.

Debe destacarse que los indicadores coyunturales de la economía (indicadores líderes, coincidentes y atrasados) utiliza una importante base de datos y la evolución de su metodología permite evaluar las contribuciones que puede proveer el ML.

Es interesante destacar que las metodologías, como los insumos, tienen rendimientos decrecientes”.

Roles de la IA en los procesos educativos

De acuerdo a Montuschi (2021) “los procesos educativos tienen un rol preponderante para indicar cambios en la fuerza laboral. Eso puede darse por las nuevas demandas que se originan en la vigencia de la IA como por los cambios que la misma IA (y el ML y la robótica) aplicados a dichos procesos educativos generan en la educación”.

“Adoptar la tecnología de la IA en la educación habrá de transformar, de manera positiva, la forma en que enseñamos y aprendemos. Y, sin duda, habrá de mejorar el aprendizaje, extenderlo y profundizarlo. Pero, no puede dejarse de tener en cuenta que la educación también debería ajustarse a las nuevas demandas laborales generadas por la aplicación de la IA en los mercados de trabajo” ...”la IA debe ser considerada como un instrumento de indiscutible relevancia para los educadores”.

“Se ha señalado que la conexión entre la IA y la educación comprende tres áreas: 1) el proceso de aprender con IA que implica utilizar los instrumentos de IA en el aula; 2) aprender acerca de la IA (sus tecnologías y técnicas); 3) prepararse para la IA; es decir que se trata de hacer posible para todos los habitantes la comprensión del impacto potencial de la IA en las vidas humanas”.

“Debe tenerse presente que la IA no reemplaza a los educadores como muchos temían, y aún temen, y que la misma sirve de apoyo a la capacidad humana y le permite llegar mucho más lejos operando en conjunto, uno al lado del otro”.

“Una vez decidida la adopción del nuevo enfoque deberá procederse a una aplicación adecuada de la IA a fin de mejorar los procesos educativos. Para ello habrá que personalizar la educación y a la IA le corresponderá individualizar los conocimientos y necesidades del estudiante procediendo al ajuste de sus estudios e incrementando la eficiencia de los mismos. La IA habrá de generar contenidos inteligentes que se actualizarán diariamente y toda vez que lo haga la IA. También habrá de contribuir a la automatización de tareas docentes y administrativas. Ello permitirá a los docentes concentrarse en sus actividades específicas imposibles de ser delegadas a la IA. También la IA facilitará las tutorías para estudiantes ausentes, los mantendrá al día. Y a los estudiantes con necesidades especiales (reducción de audición y/o visión, y otras limitaciones) les podrá asegurar el acceso a la educación toda vez que resulta posible generar los instrumentos de la IA adecuados a tales fines”. “En definitiva, puede asegurarse que la IA habrá de resultar beneficiosa de ver facilitado su acceso al aprendizaje con un mejor nivel de compromiso y una menor presión”.

Indicadores de los impactos de las innovaciones en la economía y la sociedad

Víctor Elías (2021) enfatiza que “para poder analizar los impactos que podría tener la IA, es instructivo mencionar distintas evoluciones económicas y sociales que ocurrieron durante los últimos 200 años en nuestra economía y sociedad:

- i) La productividad de los insumos de la producción aumentaron a un ritmo del 1.5% al 2% anual.
- ii) La esperanza de vida aumentó al ritmo de 1 año cada 10 años.
- iii) El nivel educativo formal por persona aumentó a un ritmo de 1 año cada 10 años.
- iv) Las horas promedio de trabajo por persona y por día, disminuyó a un ritmo de media hora cada 10 años.
- v) La altura de las personas subió a un ritmo de 1cm cada 10 años.
- vi) El tamaño promedio de las familias bajó de 12 a 4 miembros.
- vii) En los países avanzados, la proporción de la fuerza laboral en el sector agropecuario bajó del 70% al 5%.
- viii) La población urbana aumentó del 10% al 80% de la población total.
- ix) Hubo caso de países que crecieron a tasa altas sostenidamente, y otros que crecieron a tasas altas en un cierto período y luego se estancaron (trampa del ingreso medio), y otras que se mantuvieron estancadas o con baja tasa de crecimiento.
- x) Aumentó por un tiempo el componente manufacturero del PIB, y creció sustancialmente el componente servicio.
- xi) El componente de inversiones intangibles aumentó sustancialmente, y bajó el componente de plantas en las inversiones tangibles.
- xii) Aumentó el tamaño de las firmas y la importancia de las firmas super-stars.
- xiii) En la distribución de los ingresos de las personas, mientras que bajó el índice de desigualdad de Gini, subió el “top income inequality”, y la tasa de participación de los salarios en el PIB luego de mantenerse estable en casi todo el siglo 20, comenzó a descender suavemente subiendo el “mark up”, aumentó

la movilidad social; la tasa de interés real se mantuvo estable durante gran parte del siglo 20, descendiendo en los últimos 20 años, el “wage premium” del trabajador preparado respecto del no-preparado bajó sustancialmente al comienzo del siglo 20 y permaneció constante posteriormente con algunas pequeñas fluctuaciones.

- xiv) Los movimientos cíclicos de la economía registraron una gran depresión en 1929, luego se fue suavizando, volviendo a ser preocupante a finales de la primera década del siglo 21.
- xv) La tasa de participación laboral de las mujeres casadas aumentó continuamente durante todo el siglo 20.
- xvi) La así llamada “wage profile” (salario en relación a la edad para cada nivel de educación) se mantuvo estable.
- xvii) Las recientes evidencias sobre la desaceleración de la productividad, las grandes innovaciones, y el flujo de nuevas ideas, llevaron a algunos a pensar que habría un futuro estancamiento.
- xviii) En los últimos años se observó un aumento de la varianza en la productividad entre empresas y de la varianza de los salarios en las firmas.
- xix) En el aspecto organizativo se realizaron numerosas innovaciones que bajaron mucho los costos del tiempo y las transacciones, y aumentó mucho la transparencia, como ser: el dinero como medio de pago, la partida doble contable, la llamada “colleganza”, supermercados y centros comerciales, management en las empresas, tipos de marketing, entre otros.
- xx) Aumento sostenido del comercio y la migración entre países y entre regiones en los países.
- xxi) El cambio climático con el calentamiento global provocado por las emisiones de gases de efecto invernadero (principalmente CO₂). La concentración de CO₂ en la atmósfera era estable hasta 1820, inferior a 280 ppm (partes por millón), pasando a 410 ppm en 2018.

Referencias

- Ahumada, H (2021). Inteligencia Artificial (IA) y Pronósticos Económicos, Publicación ANCE. <https://anceargentina.org/>
- Chisari, O.O. (2021). Inteligencia Artificial e Infraestructura: evaluaciones en Equilibrio General Computado para seis países de América Latina, Publicación ANCE. <https://anceargentina.org/>
- De Pablo, J.C. (2021). Inteligencias, Natural y Artificial, Publicación ANCE. <https://anceargentina.org/>
- Elías, V.J. (2021). Punto de vista de un economista sobre los efectos posibles del arribo y adopción de la inteligencia artificial (IA) en la economía de un país, Publicación ANCE. <https://anceargentina.org/>
- Fanelli, J.M. & R. Albrieu (2021). Crecimiento e inteligencia artificial: los desafíos de vivir entre Detroit y Bombay, Publicación ANCE. <https://anceargentina.org/>
- Gasparini, L. (2021). Inteligencia Artificial, Empleo y Desigualdad, Publicación ANCE. <https://anceargentina.org/>
- Heymann, D. & P. Mira (2021). Aspectos (Macro) Económicos de la Inteligencia Artificial, Publicación ANCE. <https://anceargentina.org/>
- Kulesz, M & F. Navajas (2021). Inteligencia artificial, organización industrial y competencia, Publicación ANCE. <https://anceargentina.org/>
- Montuschi, L. (2021). La Inteligencia Artificial, el Mercado de Trabajo y la Educación, Publicación ANCE. <https://anceargentina.org/>
- 30 de Septiembre de 2021

■ Desmitificando la Inteligencia Artificial

Laura Ación¹, Laura Alonso Alemany², Enzo Ferrante³, Eric Lützow Holm⁴, Vanina Martinez⁵, Diego H. Milone³, Ricardo Rodriguez⁵, Guillermo Simari⁶, Sebastian Uchitel⁷

La computación ha transformado al mundo en sucesivas olas. Las computadoras digitales, las computadoras personales, internet y los dispositivos móviles son ejemplos que la sociedad reconoció, en distintos momentos y con justa razón, como tecnologías disruptivas que estaban por cambiar nuestro mundo para siempre. La Inteligencia Artificial es, sin dudas, el área que hoy está por cambiar sustancialmente nuestro mundo, y hablamos en potencial porque aunque el impacto de la inteligencia artificial hoy es palpable e impactante, aún cuesta imaginar lo que se viene.

1 Instituto de Cálculo, CONICET/UBA.

2 Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba.

3 Instituto de Investigación en Señales, Sistemas e Inteligencia Computacional, Universidad Nacional del Litoral, CONICET.

4 Instituto de Cálculo, CONICET/UBA.

5 Departamento de Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires e Instituto de Ciencias de la Computación, CONICET/UBA.

6 Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación, Universidad Nacional del Sur e Instituto de Ciencias e Ingeniería de la Computación, CONICET/UNS.

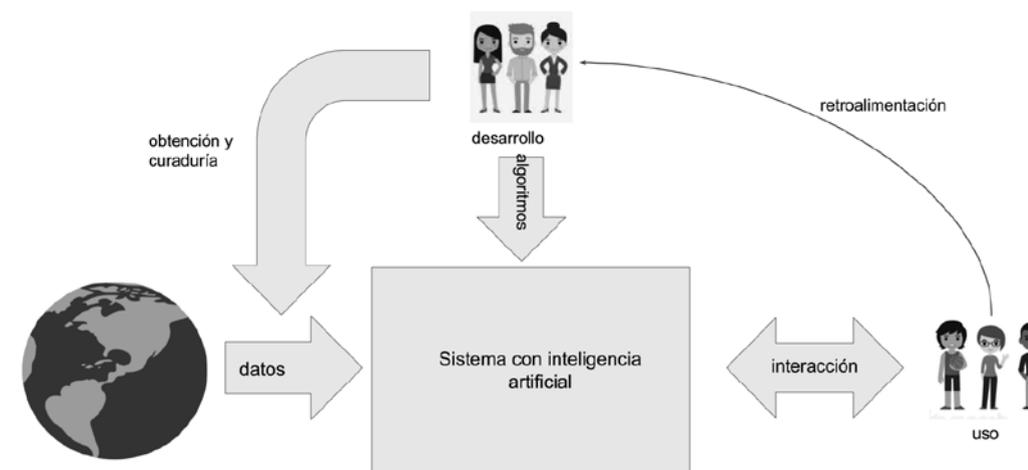
Una definición precisa del término *inteligencia artificial* admite muchos debates de interés, particularmente la referencia a inteligencia. Sin embargo, lo que es claro es que “artificial” remite al comportamiento exhibido por una máquina capaz de realizar cómputo automático. En este sentido, es fundamental, y lo hacemos en la **primera** sección, explicar cuál es la paleta de técnicas, fuertemente enraizadas en las ciencias de la computación, que hoy existen para dotar a una máquina de comportamiento que podría llamarse “inteligente”, particularizando no sólo cómo funcionan estas técnicas sino sus fortalezas y debilidades.

Una familia de técnicas que impulsa esta revolución de la Inteligencia Artificial está orientada a que un sistema aprenda a través de ejemplos, también llamados *datos de entrenamiento*, previo a su puesta en funcionamiento y/o incorporando la experiencia adquirida mientras está en uso. La forma en que se diseña este proceso de aprendizaje y los datos con que se alimenta son claves en el futuro del comportamiento del sistema. Claramente, quienes son responsables de hacer el diseño son, somos, seres humanos. Consecuentemente, y aunque pueda resultar evidente para algunos, aún no está incorporado al sentido común que el comportamiento de los sistemas que incorporan elementos de inteligencia artificial pueda tener fuertes sesgos que repitan, o incluso profundicen, los errores, prejuicios e injusticias que cometen los mismos seres humanos. Abordamos esta temática en la **segunda** sección.

Desde el reconocimiento que finalmente en el corazón de la Inteligencia Artificial están los seres humanos (ver el esquema más abajo), las consideraciones éticas son centrales. Abordamos en la **tercera** sección cómo la ética impacta en el diseño de sistemas inteligentes y cómo puede pensarse el diseño de estos sistemas para que tengan consideraciones éticas desde su construcción misma.

Finalmente, abordamos uno de los desafíos técnicos más acuciantes que la Inteligencia Artificial tiene por delante. La necesidad de que los resultados computados por un sistema de inteligencia artificial puedan ser explicados automáticamente de manera que personas, tanto expertas en el dominio de aplicación como aquellas que no lo son, puedan entender cómo el sistema llegó a una decisión particular.

Cerramos el capítulo con un llamado a fortalecer la investigación en Ciencias de la Computación en general y en Inteligencia Artificial en particular en la Argentina.



Esquema básico de la interacción entre las personas y los sistemas con inteligencia artificial. Las personas están presentes en todas las fases de la producción del sistema: desde el desarrollo hasta su uso final. Las personas encargadas del desarrollo discuten el uso que se le dará al sistema, introducen los algoritmos con los que este operará y obtienen y preparan los datos para que el sistema funcione correctamente. Los datos pueden provenir de diversas fuentes, pero son personas las que deben determinar su correcta utilización. El sistema toma los datos, los procesa en base a los algoritmos y genera salidas que son interpretadas por personas en el contexto de uso. Estas personas, a su vez, pueden incidir en el sistema y repercutir en su desarrollo o en el de otros sistemas.

No es automático: una breve introducción

En octubre de 1950, Alan M. Turing publicó un ensayo titulado “Computing Machinery and Intelligence”, *Mind*, LIX (236): 433–460, en el que discutía la posibilidad de que una máquina pudiera pensar en el sentido humano que usualmente se asocia con ese término. Al hablar de maquinaria capaz de computar, Turing se refería a los sistemas computacionales que en ese entonces se comenzaban a desarrollar; luego de analizar las posibles objeciones a lograr ese objetivo, concluía con una respuesta positiva¹. Es interesante notar que la maquinaria física (hardware) nunca fue el centro del debate salvo por su capacidad de ejecutar la programa-

¹ Una buena introducción a la historia y desarrollo de la IA puede encontrarse en: *A Brief History of Artificial Intelligence: What It Is, Where We Are, and Where We Are Going*. Michael Wooldridge Flatiron Books, 2021.

ción que produciría el comportamiento inteligente. Más tarde, en 1955, se realizó una propuesta liderada por John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester y Claude Shannon para realizar al año siguiente un taller de trabajo en Dartmouth College, New Hampshire, EE.UU.; en esa propuesta apareció por primera vez el término *Inteligencia Artificial* que se debía interpretar como inteligencia realizada en un sistema computacional. Años después, John McCarthy expresó que hubiera sido mejor emplear el término *Inteligencia Computacional* porque hubiera sido más preciso, pero el término original perduró y es el que usamos actualmente.

Resulta imposible dar una definición precisa de la disciplina Inteligencia Artificial (IA), dado que tampoco existe una definición clara de *inteligencia*. El término es usado para describir un área de trabajo amplísima a la que han contribuido todas las ramas del saber humano. Por eso, es interesante explorar el concepto a través de algunas preguntas cuyas respuestas pueden aclarar su denotación. Estas preguntas podrían ser: ¿qué es la IA?, ¿qué se espera de la IA? y ¿cómo sería posible concretarla?

La primera pregunta es por supuesto *ontológica* y ha tenido respuestas variadas a lo largo de las décadas que pasaron desde la introducción del término. Como se ha dicho, la mayor dificultad es que no existe una comprensión precisa de lo que comúnmente se considera inteligencia. Reconociendo esto, Turing propuso en el trabajo mencionado un test que podría decidir si un sistema computacional exhibe un comportamiento que fuera aceptado como inteligente. El test representa una forma de decidir por comparación con un ejemplo, que en este caso es el ser humano. Esencialmente, el test involucra por un lado dos participantes: un sistema y un ser humano; además, se agrega un interrogador que realiza preguntas a los dos participantes sin saber cuál es el ser humano, y su tarea es decidir a través del análisis de las respuestas a sus preguntas cuál es el ser humano. Si no es posible discriminar entre los dos interrogados, se reconocerá que el sistema es inteligente. Desde 2006 se realiza una competición por el Premio Loebner en el escenario descrito por Turing con resultados no definitivos pero que van aproximando la solución.

A lo largo de los años, se han ofrecido diversas descripciones de la IA; por ejemplo, si un sistema exhibe un comportamiento que se aceptaría como inteligente en un ser humano, entonces el sistema será considerado inteligente. Es claro que estas descripciones siguen el modelo del test de Turing que compara el sistema con el ser humano para decidir. Una parte importante del problema es que tenemos un solo ejemplo de inteligencia para estudiar el concepto haciendo que sea complicado separar lo superficial de lo esencial. Una distinción interesante y útil es la separación en dos tipos de inteligencia: la Inteligencia Artificial General (IAG) que sería

similar a la humana, y la Inteligencia Artificial Enfocada que sería especializada en una tarea. Si bien existen otras descripciones ofrecidas en la literatura, la gran mayoría se divide en dos posibles perspectivas. Una incluye la ofrecida por Turing: se podría decir que un sistema computacional es inteligente si es percibido como *pensando* en forma similar a la humana. La otra se limita al comportamiento sin poner limitaciones internas; aquí tendríamos inteligencia computacional si esta se *comporta* como un ser humano y ese comportamiento es considerado inteligente.

Al considerar la segunda pregunta acerca de lo que puede producir la IA, estamos apuntando a una *descripción funcional*. Crear una IAG requiere producir un sistema que pueda comportarse de manera inteligente en escenarios diversos, como lo hace un ser humano; i.e., un ser humano puede conducir un auto, jugar al ajedrez y conversar inteligentemente, probablemente alternando sucesivamente entre estas actividades y en algunos casos de manera simultánea. Por otra parte, la Inteligencia Artificial Enfocada intenta producir sistemas capaces de desarrollar una actividad inteligente particular; i.e., jugar al ajedrez, mantener una conversación o conducir un auto; estos intentos han tenido éxito variado en los últimos años y son el centro del entusiasmo actual por la IA.

La última pregunta nos lleva al análisis de *cómo* construir un sistema inteligente. Para alcanzar el objetivo de crear un sistema computacional que exhiba un comportamiento inteligente, se han desarrollado herramientas variadas siguiendo las líneas que se han trazado desde el estudio de la inteligencia humana en las diversas áreas disciplinares asociadas.

Mucho antes de que el psicólogo y economista Daniel Kahneman (premio Nobel de Economía 2002) publicara el resultado de sus investigaciones en el libro titulado *Thinking Fast and Slow*, (2011) Penguin Books, los trabajos de investigación en IA se dividieron en dos formas generales de pensar el problema de emular la inteligencia. Estos caminos coinciden de alguna manera con los resultados de Kahneman, quien postula la existencia de dos componentes en la estructura mental humana: el *Sistema 1*, que está siempre activo, realiza un procesamiento rápido, reflejo, automático, inconsciente (no observable) y en general estereotípico; y el *Sistema 2* cuyo mecanismo, que solo se activa cuando se lo requiere, es lento, lógico y consciente (observable). Es cierto que existen formas intermedias en las que el pensamiento actúa utilizando ambos sistemas en forma concurrente y colaborativa, y resulta difícil clasificarlas en una categoría precisa. El Sistema 2 usaría como insumos las contribuciones del Sistema 1, e.g., el reconocimiento de patrones del Sistema 1 produce un símbolo como subrogante, o sustituto del patrón observado y el Sistema 2 usa este símbolo para razonar sobre la situación, como sucede al

reconocer un rostro en una multitud: inmediatamente nuestros procesos mentales asociados con el Sistema 1 recurren al nombre de la persona que fue reconocida para continuar con su trabajo.

Al elaborar pensamientos se recurre a conexiones conocidas entre los símbolos considerando posibles conclusiones. Los posibles vínculos (o reglas) de encadenamiento representan relaciones: algunas son generales, e.g., conociendo la regla general que todos los mamíferos tienen pelo puedo concluir que los seres humanos tienen pelo; otras son personales, e.g., conociendo que los gatos son mamíferos puedo obtener que un gato particular, Garfield, tiene pelo por ser una característica común a todos los mamíferos. El Sistema 1 luego de muchas interacciones en situaciones parecidas reconoce la conexión y la conserva para ser usada cuando sea necesario, aunque posiblemente deba modificar el resultado cuando disponga de más experiencias. El Sistema 1 “aprende” patrones y los usa de forma refleja al reconocerlos configurando una herramienta indispensable para actuar efectivamente. Pero el acto deliberativo consciente de analizar una situación y obtener conclusiones corresponde a lo que hemos descrito como Sistema 2, y si bien es cierto que algunas de sus “habilidades” son aprendidas a través del Sistema 1, las más elaboradas han desarrollado progresivamente a partir de otras destrezas que son conocidas desde hace mucho tiempo como parte de la mente racional utilizando distintas formas de la Lógica. También es cierto que algunos procesos comienzan siendo manejados por el Sistema 2 y luego se transforman en parte del Sistema 1, como sucede por ejemplo con el aprendizaje de las operaciones aritméticas elementales a medida que adquirimos experiencias.

Como decíamos, las investigaciones más importantes en IA se han dividido en dos grupos. Por un lado, se ha buscado comprender la forma como nuestra mente “delibera” a partir de lo que “conoce”; por otro lado, se ha trabajado en producir sistemas orientados al “reconocimiento de patrones” a partir de “observaciones”.

En la primera, conocida como IA simbólica, el término “simbólico” se refiere a un sistema de representación en el que los constituyentes atómicos de las representaciones son, a su vez, representaciones. Tal sistema de representación tiene asociadas una sintaxis y una semántica. Un ejemplo de sistema simbólico es una teoría lógica interpretada. En este área se caracteriza la deliberación como un proceso de razonamiento que puede ser descrito de distintas formas representando el conocimiento en diferentes maneras utilizando algún tipo de formalismo lógico que posiblemente considere diferentes aspectos de la incertidumbre asociada con el conocimiento.

En la segunda, caracterizada como IA subsimbólica o presimbólica, una representación “subsimbólica” está compuesta por entidades que no son a su vez representaciones. Ejemplos de este tipo de representación son: píxeles, imágenes, sonidos, señales. Asimismo, las unidades subsimbólicas en las redes neuronales pueden considerarse casos particulares de esta categoría. Aquí se analizan conjuntos de observaciones (datos) buscando encontrar los patrones que permitan obtener conclusiones; los patrones generales permiten crear estructuras que reaccionan a una situación particular de manera análoga a la forma en que se reaccionó en las situaciones en que se obtuvieron las observaciones.

En el área referida como IA simbólica, conocida como Representación de Conocimiento y Razonamiento (en inglés *Knowledge Representation and Reasoning*), se busca encontrar formas de representar información acerca del entorno en el que un agente inteligente autónomo debe desarrollar su actividad resolviendo tareas complejas por sí mismo; se espera que el comportamiento del agente responda a la información con la que cuenta, pudiendo este comportamiento ser explicado en función de esa información. Las experiencias obtenidas en psicología experimental, economía, lógica, matemática y filosofía contribuyen a muchos de los intentos de modelar inteligencia por esta vía, donde la norma es el uso de formalismos lógicos. En inglés se usa la expresión *Knowledge-driven AI* haciendo énfasis en el uso del conocimiento del dominio que se utiliza para implementar los sistemas basados en conocimiento. La complejidad computacional, esto es, la forma en la que crece el tiempo necesario para computar un algoritmo y la manera en la que se expanden los requerimientos de espacio para almacenar datos, representa una gran dificultad en la creación de sistemas basados en conocimiento. Estos costos son independientes de la capacidad de cómputo de un equipo particular en un momento específico y las funciones que describen estos costos tienen factores de crecimiento que no pueden ser ignorados y limitan el “tamaño” de los problemas a resolver. También resulta problemática la elicitación del conocimiento necesario para la construcción de las bases de conocimiento que son requeridas en estas implementaciones, así como también su organización y mantenimiento a lo largo de su vida útil. Por otro lado, dado que la infraestructura cognitiva del sistema es explícita y está disponible en todo momento, las respuestas que ofrece son explicables y analizables. También se facilita el aprovechamiento de una base de conocimiento en diferentes aplicaciones y la construcción de sistemas que usan múltiples bases de conocimiento provenientes de fuentes variadas.

En el área que se mencionó como IA subsimbólica, cuyo principal representante es el aprendizaje de máquina o aprendizaje automático (*Machine Learning*), se uti-

lizan métodos de análisis de conjuntos de datos que automatizan la construcción de modelos basados en esos datos que son conocidos como “datos de entrenamiento”. Estos modelos representan patrones inferidos a partir de los datos, y así ayudan al sistema a actuar de manera inteligente por medio de diversos mecanismos y beneficiándose de las decisiones tomadas a partir de los patrones usados para crear los modelos. Es importante destacar que no existe una programación explícita para la obtención de las respuestas. En inglés se utiliza el término *Data-driven AI*, que remarca el uso de los datos del dominio a partir de los que se implementa el sistema. Los algoritmos de aprendizaje crean sistemas cuya complejidad computacional es mucho menor y su respuesta es en general inmediata, lo que representa una ventaja enorme. Esto se logra realizando el aprendizaje de forma previa (*offline*) al uso del sistema. Sin embargo, existen varias dificultades importantes con estos sistemas. La más importante, y que se propaga de varias formas en el análisis, es su fuerte dependencia del conjunto de datos usados en el entrenamiento. En algunos casos, pequeños cambios en el conjunto llevan a cambios significativos en las respuestas. También es importante reconocer la existencia de “inclinaciones” o “sesgos” (*biases*) escondidos en esos conjuntos, lo que lleva a respuestas que son disímiles a preguntas donde las respuestas deberían ser “cercanas” por razones que no pueden analizarse dada la opacidad de los sistemas que luego se despliegan. La incapacidad de explicar las razones sobre las que se fundamentan las respuestas son complicaciones adicionales que son un foco importante de investigación actualmente. Otro detalle esencial es que, si bien muchas de estas aproximaciones son *bio-inspiradas*, generalmente no se conciben con la finalidad de ser realmente un modelo biológico.

Esta división en áreas de la IA es imprecisa y existen sistemas que operan con arquitecturas mixtas variadas. Dadas las limitaciones de espacio, no sería posible en este texto hacer una descripción más detallada de las dos áreas que hemos descrito. La tendencia a combinar ambos abordajes en sistemas que aprovechan las ventajas de cada uno y disminuyen los problemas está tomando impulso en años recientes. Estas decisiones de diseño reflejan de manera bastante directa la forma en que se comprenden hoy las estructuras de la inteligencia humana. La investigación en arquitecturas que combinan diversos elementos provenientes tanto del área simbólica como de la subsimbólica ha dado lugar a sistemas que demuestran que la complejidad de la inteligencia puede ser comprendida y realizada mejor a través de componentes diversos que se integran para mejorar el desempeño de estos sistemas.

Finalmente, es interesante mencionar que existen diversos problemas éticos y sociales asociados con la puesta en servicio de los sistemas de inteligencia artificial, muchos de ellos imposibles de resolver. Comenzando por la pregunta acerca de la existencia de IAG similar a la humana y cómo sería nuestro comportamiento en relación a ella. Si es similar a la inteligencia humana, ¿el sistema tendría consciencia de sí mismo? Si fuera así deberíamos reconocer esta característica y tratarlos como si fueran humanos rechazando su uso como una especie esclavizada. Estas preguntas de índole filosófica también llevan a explorar nuestra condición humana tratando de entender qué nos hace especiales, objetivo que está claramente fuera del alcance de este capítulo. Más adelante en este texto se analizarán otros aspectos relacionados con la implementación de sistemas inteligentes que afectan a nuestra sociedad de maneras algunas veces sorprendentes².

¿Sumar no discrimina, pero dividir sí? Sesgos en inteligencia artificial

En el año 2015, el periódico estadounidense The New York Times publicó un artículo titulado “Google Photos Mistakenly Labels Black People ‘Gorillas’”³. El artículo hacía referencia a un desarrollador de software afrodescendiente que había denunciado en las redes sociales cómo la conocida aplicación de Google para la gestión de imágenes había asignado a él y sus amigos la etiqueta de ‘Gorilla’. Pero no es necesario remontarnos hasta 2015 para encontrar un ejemplo como este. Recientemente, en Septiembre de 2021, el mismo diario se hizo eco⁴ de la denuncia de un grupo de personas en Facebook, a quienes luego de mirar un video donde aparecían hombres de piel oscura, la plataforma les preguntó si les gustaría “seguir viendo videos sobre Primates”, lo que hizo que la compañía investigara y deshabilitara la función del sistema de IA que generaba el mensaje. Estos casos, en donde un sistema basado en IA comete errores sistemáticamente en detrimento de una subpoblación en particular, ilustran claramente el concepto de *sesgo algorítmico*. En este apartado intentaremos indagar sobre dicho término, sus implicancias en distintos contextos de aplicación y algunas de las razones detrás de la existencia de estos sesgos, considerando a las personas que desarrollan los sistemas, los datos que usualmente se utilizan para entrenarlos y los modelos de IA que se usan actualmente.

² Como referencia general podemos mencionar el siguiente texto utilizado como referencia principal en la mayoría de los cursos de IA: Artificial Intelligence: A Modern Approach (4th Ed.), Stuart Russell, Peter Norvig. Pearson, 2020.

³ <https://bits.blogs.nytimes.com/2015/07/01/google-photos-mistakenly-labels-black-people-gorillas/>

⁴ <https://www.nytimes.com/2021/09/03/technology/facebook-ai-race-primates.html>

Si bien no es un concepto nuevo, los estudios sobre *sesgo algorítmico* han tomado gran importancia durante los últimos años dada la masiva adopción de los sistemas de IA en la toma de decisiones, particularmente de aquellos basados en *aprendizaje automático*. Desde la asignación de puestos laborales hasta el diagnóstico médico de patologías por medio de imágenes, pasando por la traducción de textos y el otorgamiento de créditos bancarios, en todas estas áreas de aplicación se están comenzando a considerar predicciones generadas por los sistemas de aprendizaje automático para la toma de decisiones. Comencemos entonces por comprender cómo funcionan dichos sistemas y cómo se lleva a cabo su desarrollo, para identificar cuáles son los componentes y etapas que pueden dar origen a dichos sesgos.

Tal como se discutió brevemente en la introducción de este capítulo, uno de los elementos clave en cualquier sistema de aprendizaje automático son los *datos* a partir de los cuales el sistema *aprende* a llevar a cabo una tarea en particular. Dentro de lo que se conoce como el paradigma de *aprendizaje supervisado*, uno de los más utilizados actualmente, cada muestra de nuestra base de datos está acompañada por una *etiqueta*, que indica la salida ‘correcta’ para esa muestra, dado el problema que queremos resolver. Si queremos entrenar un modelo para clasificar imágenes en función de su contenido y distinguir, por ejemplo, perros de gatos, cada imagen deberá contar con la etiqueta ‘perro’ o ‘gato’, previamente asignada de forma manual (es decir, por personas). Durante el proceso de entrenamiento, la idea es ajustar el modelo para que encuentre los patrones en dicha imagen que permiten distinguir una categoría de la otra. Esos patrones están asociados en general a características de la imagen como el color, la textura o las formas. La idea es entonces alimentar el modelo con imágenes e ir ajustando sus parámetros para que la salida se comporte como lo indican las etiquetas; en nuestro caso, que sea capaz de distinguir entre perros y gatos. Claramente, tanto para este aprendizaje como para la posterior validación del modelo, es clave que los datos de entrenamiento sean los adecuados. En la actualidad, generalmente no es un problema el volumen total de datos disponibles, pero es muy común que estos grandes volúmenes de datos estén contaminados (por ejemplo, con imágenes mal capturadas o que no correspondan ni a un perro ni a un gato). También es frecuente que las etiquetas de referencia, que uno supondría a priori correctas, hayan sido asignadas con errores, por ejemplo, indicando cierta proporción de imágenes de gatos con la etiqueta ‘perro’ y viceversa. A estas contaminaciones más triviales (aunque no por eso fáciles de detectar en grandes volúmenes de datos), se les suman otros problemas que afectan fuertemente el entrenamiento, como el desbalance en las clases de salida (que haya muchos más gatos que perros), o el desbalance en algún otro atributo oculto (y sensible) de los datos, como vamos a analizar a continuación.

Dado que el modelo es entrenado a partir de una base de datos, se genera de alguna manera una dependencia entre aquello que el modelo puede reconocer y los datos observados durante el proceso de aprendizaje. Si bien dichos modelos nunca son entrenados para realizar predicciones a partir de datos que ya han sido observados (¿Qué sentido tendría, si esa misma base de datos de entrenamiento ya contiene las salidas correctas?), la hipótesis subyacente es que los datos nuevos, sobre los que se realizarán predicciones (también conocidos como ‘datos de prueba’), seguirán de alguna manera patrones similares a los observados. Pensemos el siguiente ejemplo: nuestro clasificador es entrenado con una base de datos que solo posee gatos negros y perros blancos. Un clasificador ideal para este problema se podría obtener ignorando todas las características del animal, excepto su color. Si es negro, asigna la categoría ‘gato’. Si es blanco, asigna ‘perro’. Ahora imaginemos que nuestro conjunto de prueba incluye gatos blancos. Es claro que el sistema fallará sistemáticamente en la clasificación de gatos blancos, presentando de esta forma un rendimiento inferior en dicha subpoblación, y por lo tanto resultando en un sistema sesgado.

A partir del ejemplo anterior, se torna evidente que las bases de datos pueden ser una fuente de sesgo algorítmico. Si la base de datos con la que contamos no es lo suficientemente diversa como para representar bien a la población objetivo, entonces es probable que el clasificador resultante presente un rendimiento dispar en la población subrepresentada. Pero los clasificadores de imágenes no son el único ejemplo. Tomemos por caso los sistemas de traducción basados en IA, que permiten traducir automáticamente de un idioma a otro. Abundan ejemplos en la literatura⁵ donde se ponen en evidencia casos de sesgo de género en las traducciones: al convertir palabras de un idioma con pronombres neutros como el húngaro a otro como el inglés, el sistema automáticamente perpetuaba estereotipos de género asignando el género femenino a términos como enfermero/a, panadero/a y organizador/a de bodas, pero traduciendo al masculino las palabras ‘médico/a’, ‘científico/a’ o ‘ingeniero/a’. Ciertamente este comportamiento está relacionado con la frecuencia de aparición de dichos términos en los textos utilizados para entrenar al traductor. Pero por más que dicha frecuencia sea una medición objetiva de las asimetrías propias de una sociedad como la actual, donde lamentablemente aún existen roles de género asociados a distintas actividades, un modelo sesgado por los datos de entrenamiento sólo contribuye a amplificarlas, dado que continúa incorporándolas en futuras traducciones.

5 Prates, Marcelo OR, Pedro H. Avelar, and Luís C. Lamb. “Assessing gender bias in machine translation: a case study with google translate.” *Neural Computing and Applications* 32.10 (2020): 6363-6381.

El segundo componente clave en los sistemas basados en IA es el modelo en sí mismo. Como se dijo anteriormente, en la actualidad prácticamente todos estos modelos están basados en aprendizaje automático, y particularmente en los últimos años en lo que se denominó *aprendizaje profundo* o también *redes neuronales profundas*. Para entender los fundamentos de esta reciente revolución en la IA hay que entender primero qué es una neurona artificial, y luego simplemente conectar la suficiente cantidad de neuronas para que, gracias a los grandes volúmenes de datos disponibles y los recursos de cómputo actuales, podamos entrenar una red neuronal tan ‘profunda’ como requiera el problema a resolver.

La neurona artificial se inspiró inicialmente en la forma en que las neuronas naturales procesan la información que reciben y envían un pulso de salida a través de su axón. Hoy por hoy, ya sin pretender ser un modelo de la neurona biológica, una neurona artificial es básicamente una unidad elemental de cómputo, que de forma similar a la neurona natural: recibe entradas, las procesa, y da una salida. Tanto las entradas como las salidas son números, y por lo tanto el procesamiento que realiza la neurona es de tipo numérico. Las entradas podrían ser, por ejemplo, la temperatura de una persona (37.5 o 38.3, en °C) y si tiene tos (1 si tiene, 0 si no tiene). La salida podría ser 1 para indicar que la persona tiene síntomas compatibles con determinada enfermedad, o 0 en caso de que no lo sean. Y el procesamiento que hace la neurona es muy simple: sólo multiplica y suma. Básicamente multiplica cada entrada por un *peso sináptico* (un número), suma las entradas pesadas, y si esa suma supera cierto umbral de referencia (otro número más), la neurona da 1 como salida. Por ejemplo, si la persona tiene 38 °C con tos, y los pesos sinápticos fueran 0.5 y 50, la cuenta sería $38 \times 0.5 + 1 \times 50 = 69$. Si suponemos un umbral de referencia es 60, la salida de la neurona será 1. Es decir, la neurona estaría decidiendo que los síntomas son compatibles con la enfermedad. En caso contrario, si no se supera el umbral, la salida será 0 y la neurona estaría decidiendo que los síntomas no son compatibles con la enfermedad a diagnosticar. Vale aclarar que estos valores para los pesos sinápticos y el umbral de salida no son definidos manualmente como hicimos en este ejemplo, sino que cada neurona los tiene que aprender a partir de los datos de entrenamiento.

Es claro que una sola neurona no va a poder resolver problemas de cierta complejidad, como la detección de patologías en imágenes, donde cada píxel es una entrada (un simple número que indica su intensidad) y sabemos que hay millones de píxeles en una imagen capturada por un celular. Entonces el paso siguiente consiste en *conectar* muchas neuronas y así formar *redes* neuronales, que con el tiempo se constituyeron como las principales representantes de lo que se conoce

en IA como modelos *conexionistas*. Pero ¿qué es conectar neuronas? Bueno, simplemente hacer que el número 0 o 1 que sale de una neurona sea el número que entra en la otra. De esa forma, al entrar ese 0 o 1 se multiplicará por el correspondiente peso sináptico de la neurona siguiente, se sumará con las otras entradas, y determinará así la salida de esa segunda neurona que ha sido conectada. Sin entrar en los detalles técnicos acerca de todas las formas en que podríamos interconectar a las neuronas, podemos ver entonces que estos modelos no dejan de ser simples operaciones como sumas y multiplicaciones que, al componerlas, permiten realizar tareas más complejas. Como se puede ver, los sistemas basados en IA no son creaciones ajenas a quienes las crean, que pueden tomar decisiones arbitrarias de forma independiente más allá de cómo fueron diseñadas y entrenadas. A fin de cuentas, quienes discriminamos somos las personas, ya sea en forma directa o (potenciados) con los artefactos tecnológicos que diseñamos.

En el proceso de creación de estos sistemas basados en IA, y particularmente en aprendizaje automático, además de los ya mencionados datos de entrenamiento, existen varios aspectos asociados al modelo que pueden dar como resultado un sistema de IA sesgado. Más precisamente, se trata de aspectos que si no son considerados adecuadamente en el proceso de diseño, seguramente van a generar modelos sesgados, e incluso no seremos capaces de detectar tales sesgos en el sistema. En este proceso de diseño y creación se puede identificar: i) la arquitectura, que incluye particularidades acerca de cómo computan las neuronas, cómo se conectan entre ellas y otras unidades de cómputo que pueden incluirse en el modelo; ii) el aprendizaje, que determina la forma en que se adaptan los parámetros del modelo (pesos sinápticos en el caso de las redes neuronales) para que resuelvan correctamente el problema que tienen que resolver; y iii) la selección del modelo definitivo y su puesta en funcionamiento, lo que involucra principalmente a los esquemas de validación y las medidas de desempeño adecuadas. En estos tres niveles se desarrolla actualmente una intensa tarea de investigación, proveyendo nuevas arquitecturas y algoritmos de entrenamiento robustos a los sesgos por desbalances (explícitos o implícitos) de variables sensibles en los datos, así como también metodologías que permitan validar correctamente los modelos y medir los sesgos resultantes, más allá de las tradicionales métricas de clasificación y calibración.

Cuando estos sistemas basados en IA comienzan a ser desplegados en ámbitos como la justicia, la salud o la selección de personal para puestos laborales, resulta simple imaginar las consecuencias inmediatas de dichos sesgos, especialmente cuando las asimetrías y desigualdades de nuestra propia sociedad se cuelean por medio de los datos y las decisiones de diseño (muchas veces inconscientes) de

aquellas personas que llevan adelante estos desarrollos. Los datos son entonces importantes, y construir bases de datos diversas que representen al conjunto de la población puede ser una estrategia de mitigación de sesgos. Pero como vimos, no son la única causa. A fin de cuentas, la decisión de qué incluir o excluir en una base de datos es una decisión tomada por personas. Estas personas son quienes llevan adelante no sólo la construcción y curado de las bases de datos, sino que implementan y supervisan el proceso de entrenamiento de los modelos, eligen las tareas a resolver, ponen los sistemas con IA en funcionamiento y monitorean su rendimiento a lo largo del tiempo. En todas estas etapas que constituyen el ciclo de vida de desarrollo de un sistema de IA, son las personas quienes toman las decisiones, y muchas de esas decisiones pueden generar sesgos algorítmicos, o permitir que sean detectados a tiempo y mitigar sus impactos. Como veremos en la próxima sección, medir si un sistema de IA es justo o no, no es tarea simple. Las definiciones formales de justicia algorítmica tienden a ser mutuamente excluyentes, en el sentido de que no todas pueden ser satisfechas al mismo tiempo, y por tanto nuevamente las decisiones humanas, sobre qué criterios de justicia han de ser priorizados, se vuelven relevantes. Por esa razón, contar con equipos diversos, con integrantes que manifiesten distintos puntos de vista, que puedan auditar tanto los datos como los modelos, antes, durante y después del proceso de desarrollo, constituye una herramienta fundamental en la construcción de sistemas de IA más justos. Lamentablemente, todavía estamos lejos de esta realidad. Tanto a nivel nacional⁶ como internacional⁷, las cifras reflejan que la composición de la comunidad CTIM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemática) en general, y la de informática en particular⁸, cuenta con una terrible subrepresentación de mujeres y diversidades en su composición.

6 Ana Inés Basco, Cecilia Lavena y Chicas en Tecnología: «Un potencial con barreras. La participación de las mujeres en el área de Ciencia y Tecnología en Argentina», Nota Técnica No IDB-TN-01644, bid, 2019.

7 Sarah Myers West, Meredith Whittaker y Kate Crawford: «Discriminating Systems: Gender, Race and Power in AI», AI Now Institute, 4/2019

8 Informe de la Red Disciplinar de Informática y Comunicaciones, CONICET, 2019: <https://proyectosinv.conicet.gov.ar/redes-disciplinarias/>

El ojo del amo...: ética y responsabilidad

A medida que ampliamos las funciones que involucran a los sistemas con inteligencia artificial (SIA) en asuntos prácticos, como los vehículos autónomos, los sistemas de diagnóstico y de apoyo para toma de decisiones, las consideraciones éticas surgen inevitablemente. La ética, como rama de la filosofía, pretende analizar y responder la siguiente pregunta: ¿Qué debo hacer? Permite delimitar lo “correcto” de lo que no lo es, lo “bueno” de lo “malo”, de acuerdo a un proceso de reflexión que determina las acciones de un agente, o un grupo de ellos, en base a un conjunto de valores, principios y propósitos. Uno de los principales desafíos en relación a la ética es determinar qué valores deben considerarse y cómo deben priorizarse en caso que haya interacción.

En la sección anterior vimos que los sesgos son la principal fuente de comportamientos discriminatorios, al violentar los derechos humanos y la privacidad. Por tanto los sistemas que tomen decisiones sesgadas son éticamente cuestionables. En esta sección nos ocuparemos de describir distintos aspectos sobre cómo evitar comportamientos antiéticos y de qué manera garantizar la responsabilidad en caso que a pesar de nuestro esfuerzo no puedan ser evitados. Dado que los documentos de las otras academias abordarán los fundamentos empíricos y epistémicos de la ética, aquí sólo nos referiremos a ella como un concepto sellado y para explorarlo sugerimos la lectura de esos documentos. Lo que sí consideraremos aquí es que detrás del desarrollo de cualquier SIA están los seres humanos y por lo tanto somos nosotros los responsables últimos de “asegurar” el resguardo de los aspectos éticos.

En ese sentido consideramos que los sistemas informáticos no son herramientas puras y neutras, sino productos de su contexto socio-técnico, y deben ser considerados como tales. Asumiremos que los SIA siempre pueden entenderse en un nivel superior, intensionalmente en términos de sus diseños y objetivos operativos, y extensivamente en términos de sus entradas y salidas. Concluiremos que a menos que un SIA sea auditado correctamente no debería ser puesto en funcionamiento.

Para derivar eso, plantearemos qué valores/parámetros deberían ser auditados. Al respecto cabe aclarar que si bien en los últimos años se ha desarrollado una pléthora⁹ de valores y principios que los SIA deben promover y respetar, al día de hoy existe un acuerdo amplio de que deben incluirse *justicia y equidad, transparencia, confiabilidad/confianza, explicabilidad, rendición de cuentas/justificación y responsabilidad*. Independientemente de cuál es el conjunto preciso de valores y principios que debemos tener en cuenta, hay un fuerte consenso hacia dónde dirigirnos:

9 Ver <https://ssrn.com/abstract=3518482>

el objetivo es crear y promover una IA basada en valores humanos. Esto implica por un lado un intento sistemático de incluir valores de importancia ética en todo el ciclo de vida de un SIA y por otro hacernos responsables de los artefactos que construimos. Pero para responsabilizarnos de una pieza de tecnología necesitamos comprender para qué fue diseñada, cómo fue delineada para hacer eso y por qué fue diagramada de esa manera en particular en lugar de otra alternativa. Los productos de software, y en particular los que se desarrollan en base a encontrar patrones en los datos utilizando técnicas como el aprendizaje automático, no son diferentes. Comprender cómo se diseñan y construyen los sistemas informáticos, incluida la comprensión de cuándo quienes los diseñaron, hicieron concesiones entre objetivos en competencia y por qué, permite disipar gran parte de la inescrutabilidad que pueden tener los sistemas cuando se los ve como un todo o desde la perspectiva de alguien afectado por tal situación.

Hacia una IA responsable

La realidad socio-tecnológica en la que vivimos plantea una comprensión distinta de la ética respecto al control y la autonomía. Los SIA son un producto humano, están pensados, diseñados, contruidos y usados por humanos, y por tanto, una aproximación basada en valores implica un compromiso de responsabilidad de todos los involucrados a través de todo el ciclo de vida de los SIA.

Responsabilidad implica necesariamente la habilidad de prevenir y medir.

1) Prevenir

Dignum¹⁰ propone un enfoque a la ética de la IA apuntalado en tres dimensiones: ética en el diseño, ética por diseño, y ética para diseñadores. En esta sección pretendemos mostrar cómo a *priori* desde el diseño de los sistemas de aprendizaje automático es posible despejar la creencia de que estos son necesariamente inescrutables y que es imposible revertir esa condición de opacidad.

En la sección siguiente se expondrá cómo la explicación es una forma externa para lidiar a *posteriori* con dicha opacidad. Aquí abordaremos el problema a través del concepto de *desarrollo responsable*. En particular mostraremos cómo tales sistemas de IA pueden y deben entenderse en términos de sus objetivos de diseño y los mecanismos de su construcción y operación.

10 Responsible Artificial Intelligence: Designing Ai for Human Values. Dignum, Virginia. ITU Journal Special Issue No. 1. Sept. 2017

La ética por diseño se refiere a los métodos, algoritmos y herramientas necesarias para dotar a sistemas autónomos de la capacidad de razonar sobre los aspectos éticos de sus decisiones y los métodos, herramientas y formalismos para garantizar que el comportamiento de los mismos permanece dentro de límites morales que determinamos.

Una discusión sobre la primera parte queda fuera del alcance de este artículo, por lo que nos enfocaremos en la segunda. Asegurar que se mantiene esta dimensión humana en los resultados de los sistemas autónomos implica que todos los actores en el ciclo de vida de los mismos, incluyendo investigadores y profesionales de la IA, deberán tener la capacidad de tomar en cuenta valores morales, sociales y legales. Para poder lograr este objetivo se necesita trabajar en la forma de obtener, representar y traducir estos valores en técnicas y requisitos del sistema y poder demostrar que las soluciones de diseño efectivamente verifican los valores deseados.

Esto también implica un cambio cultural en el proceso de desarrollo de estos sistemas. La concepción de un sistema de IA pensado como un sistema socio-tecnológico requiere que mejorar el desempeño no sea el único objetivo conductor del proceso de diseño y desarrollo, sino que se consideren como básicas propiedades que tienen que ver con la interpretabilidad del modelo, la transparencia de todo el proceso, la capacidad de poder explicar las acciones o decisiones que el sistema toma y el establecimiento de una cadena de responsabilidad adecuada en relación a las mismas, como medios base para la implementación sistemática de los valores y principios de la IA.

Desarrollar de manera responsable sistemas de IA requiere desarrollar e implementar, a priori, medios que permitan vincular las decisiones del sistema de IA con el uso justo de los datos y las acciones de las distintas partes interesadas involucradas, directa o indirectamente, en los resultados que el sistema ofrece.

2) Medir

Si bien el asegurar que los sistemas de IA son diseñados de manera responsable favorece la confianza que podemos tener en ellos, eso no suele ser suficiente desde el punto de vista legal.

Además, aún cuando la información sobre el proceso de diseño casi siempre existe y puede mejorar la comprensión de un sistema informático, la misma generalmente no está disponible para las personas que la necesitan para su revisión. Y aunque pueda estarlo, quizás resulta poco útil para auditar un SIA, dado que suele ser difícil predecir completamente en la etapa de diseño cómo este interactuará con su contexto. Por ambas razones, se hace imprescindible disponer de métricas

y/o herramientas que permitan valorar la confiabilidad de un sistema en funcionamiento. Como ya ha sido mencionado en el capítulo anterior los sesgos pueden generarse en cualquiera de las etapas del ciclo de vida de un SIA: recolección de datos de entrenamiento o de conocimiento del dominio, en la generación del modelo y en la utilización del mismo. Para cada una de dichas etapas existen métricas y metodologías para evaluar y mitigar los comportamientos injustos en los SIA. Recientemente, han surgido un conjunto de herramientas de evaluación de equidad que son de código abierto con el fin de hacerlas ampliamente accesibles. Lo interesante de estas herramientas es que también pueden integrarse al proceso de desarrollo, pudiendo identificar los problemas en forma temprana. Algunos de esos modelos son: AIF 360 (IBM), Fairlearn (Microsoft), What-If (Google), Audit-AI (PyMetrics), Aequitas (UChicago).

Demos un ejemplo para clarificar la cuestión central de cómo actúan estos modelos. Supongamos que una entidad bancaria desea automatizar el otorgamiento de créditos personales hasta un cierto monto. Supongamos que recaba todas las solicitudes de los últimos 10 años para generar el modelo buscado. La primera cuestión que aparece es si los distintos segmentos poblacionales están bien representados, si hay atributos sensibles o protegidos (género por ejemplo), si los propios datos tienen “encriptado” un tratamiento injusto (porque la práctica histórica incluye factores ocultos), etcétera. La resolución de la injusticia que produciría entrenar un modelo con esos datos puede ser por reducción de la discriminación (ocultando los atributos sensibles en la generación del modelo) o por generar igualdad de oportunidades (ecualizando la representación de los distintos segmentos poblacionales). En la literatura, la forma de verificar la justicia de otorgamiento del préstamo se focaliza en tres medidas: la paridad demográfica que muestra que dentro de los casos que recibieron un crédito los distintos grupos tienen la misma presencia, la paridad predictiva que señala que el otorgamiento del crédito es independiente al grupo de pertenencia, y la paridad ecualizada determina que fijados ciertos atributos “relevantes” todos los grupos tienen la misma posibilidad de obtener el beneficio. Lamentablemente, hay un resultado teórico de imposibilidad que establece que esas tres métricas son mutuamente excluyentes, lo que “imposibilitaría” garantizar la completa equidad de un SIA. Esa es una de las razones por la cual muchas de las herramientas mencionadas arriba complementan su evaluación con métodos cualitativos de completar planillas de características. En particular, esa es la base del Marco de la OCDE para su metodología de clasificación de SIA.

Volviendo al ejemplo, supongamos que después de tratar y “limpiar” la base de entrenamiento, procedemos a generar el modelo que igualmente genera decisiones

inequitativas, por ejemplo, que las mujeres son sistemáticamente relegadas a pesar que el género no fue un atributo visible durante el entrenamiento. Eso puede pasar porque otros atributos son predictores indirectos del género. A esta altura tenemos identificado un efecto no deseado (que hasta pocos años atrás era invisible) que eventualmente se puede mitigar (hay algunos métodos conocidos) o en su defecto ser consciente de su imperfección y usar el SIA con cautela.

Para terminar esta sección dejaremos algunas preguntas de investigación en torno a la revisión de sistemas diseñados de manera responsable y correctamente auditados. Por ejemplo, incluso los sistemas que sortean todo el proceso propuesto de creación y evaluación pueden, en algunos casos, equivocarse o causar resultados negativos para sus sujetos. Para estos casos, es importante desarrollar una teoría de negligencia de software para igualar los regímenes de negligencia en otros campos como la medicina, el derecho y la ingeniería civil. Es importante destacar que el mero hecho de identificar un error no es suficiente para definir negligencia; más bien, la negligencia implica situaciones en las que los malos resultados podrían haberse evitado mediante un comportamiento más responsable por parte de quienes controlan un sistema. Hasta ahora, la cuestión de qué constituye, en concreto, un comportamiento suficientemente responsable está casi por completo inexplorada.

IA: si sos tan inteligente, ¡explicámelo! Explicabilidad en los sistemas con inteligencia artificial

Los SIA son ubicuos en nuestra vida cotidiana. Sin embargo, el tamaño y la complejidad de estos sistemas muchas veces dificultan que una persona pueda entender los mecanismos por los que una máquina toma una decisión. Este problema es más preocupante en el caso de los sistemas basados en aprendizaje automático. Especialmente en casos donde los riesgos asociados son grandes, como el uso de vehículos autónomos o el diagnóstico de una enfermedad, es importante que los sistemas empleados puedan explicar sus decisiones de manera comprensible y acorde al contexto de uso.

La explicabilidad debe hacer a un modelo más predecible y controlable que si no fuera explicable y esto debe ayudar a aumentar las capacidades humanas a la hora de tomar decisiones. Cuando los SIA pueden explicar sus decisiones se puede alcanzar mayor transparencia para derivar responsabilidades hacia las personas involucradas: desde quienes los desarrollan y auditan, hasta quienes los usan, según corresponda. Especialmente en contextos de riesgo o cuando se ven afectados los derechos de las personas.

Los desarrollos de modelos de aprendizaje automático más exactos y complejos suelen priorizar su rendimiento con respecto a alguna métrica de negocio antes que su capacidad de ser explicados, basándose en la presunción de que un mayor desempeño implica mayor complejidad y, por lo tanto, menor explicabilidad. Sin embargo, hay trabajos interesantes que muestran que esta idea es infundada y que la explicabilidad puede y debe ser desarrollada a la par de los nuevos sistemas.

Aquí llamaremos explicabilidad a la capacidad de un SIA de comunicar de forma eficaz a una persona las razones por las que tomó una determinada decisión. La explicabilidad de los SIA es un área activa de investigación donde confluyen y dialogan, entre otras, la computación, las ciencias sociales y la filosofía, además de los campos específicos donde se aplican estos sistemas como medicina, economía, derecho, biología, física, etcétera. En esta sección discutiremos la explicabilidad en cuanto a sus posibles definiciones, sus problemáticas actuales y sus perspectivas a futuro.

¿Qué es la explicabilidad?

La palabra *explicar* deriva del latín *explicare*¹¹, que significa *desdoblar* o *desplegar* —un concepto, una idea, un conocimiento complejo—. El modelo que usamos en una explicación busca facilitar la comprensión de quien la recibe. Entonces, podemos decir que una explicación involucra al menos dos nociones fundamentales: una intención y una interpretación. En el campo de la Inteligencia Artificial, la intención de una explicación debe ser pensada y discutida desde el desarrollo mismo del sistema. Esta intención debe tener en cuenta el público al que apunta y el contexto en el que será usado el SIA. Por ejemplo, al utilizarse en un contexto de diagnóstico por imágenes médicas, un SIA debe explicar sus decisiones a profesionales de la salud utilizando información específica del campo de la medicina y no del campo de las matemáticas. Por otro lado, la interpretación está sujeta a la persona que recibe la explicación: sus conocimientos previos, sus propias intenciones, sus sesgos, etcétera. Los métodos de explicabilidad se suelen utilizar para generar conocimiento, encontrar fallas en un sistema, justificar y mejorar los modelos.

Así como en la vida cotidiana, los SIA pueden exhibir distintos tipos de explicaciones. Ejemplos frecuentes son reglas de decisiones, explicaciones contrafácticas y las explicaciones basadas en ejemplos. Las reglas explicitan las relaciones entre características de un caso y la decisión que se tomó para ese caso, como una serie de pasos condicionados: si se cumple esta condición, luego seguir por este paso; si

¹¹ En inglés, la traducción de *explicar* es *to explain* (del latín *ex-planare*, hacer plano). *Plain* se puede traducir como *simple, claro*; *to explain* sería simplificar o clarificar.

no, seguir por ese otro. De hecho, las reglas son un mecanismo básico para automatizar conocimiento experto y un modelo básico de aprendizaje automático. Consideramos que las reglas pueden ser buenas explicaciones si la cantidad de reglas y el detalle de las características son las adecuadas para la persona que requiere entender la decisión. Las explicaciones contrafácticas cuentan qué decisión se habría tomado de haber sido diferentes ciertas condiciones: por ejemplo, un valor de entrada diferente. Las explicaciones basadas en ejemplos resultan más fáciles de entender para cierto tipo de decisiones como las imágenes, en las que las características de los casos son presimbólicas (píxeles, conjuntos de píxeles). Entre las más efectivas, las explicaciones basadas en ejemplos adversarios nos ayudan a entender una decisión aportando casos con cambios mínimos para los que el SIA toma una decisión distinta. Al analizar las alternativas, una persona puede darse una intuición de cómo el SIA toma sus decisiones.

Interpretabilidad y transparencia

La explicabilidad está íntimamente relacionada con la transparencia (o su contraparte, la opacidad), la comprensibilidad y la interpretabilidad. En algunos trabajos, la transparencia indica la medida en que una persona puede ver o entender qué es lo que el sistema está haciendo. Un SIA completamente transparente es aquel que brinda toda la información necesaria para que una persona por su cuenta pueda llegar a las mismas respuestas a partir de los mismos datos. Dependiendo de la situación, esto en la práctica puede ser sencillo, como en un modelo simple con pocos datos (por ejemplo, si hace de 20 grados y sopla viento, me pongo abrigo), pero en la mayoría de los casos es irrealizable, por el tamaño de los modelos o su complejidad, especialmente en el caso de los modelos inferidos mediante aprendizaje automático.

En contraposición, un sistema puede ser opaco por diferentes razones: ser demasiado complejo como para que una persona lo pueda entender, o ser propietario, es decir que solo conocen y controlan su funcionamiento interno las personas a quienes pertenece. En ambos casos, para poder entender cómo el SIA llegó a la conclusión que tomó, se puede utilizar un modelo sustituto cuyo fin es explicar los pasos que tomó el primero, obteniendo así un sistema paralelo al original que resulte comprensible. Esta solución es eficaz pero puede ser problemática, ya que el segundo modelo no necesariamente es completamente fiel al primero y sus explicaciones pueden ser engañosas. En cambio, cuando el SIA por sí mismo es transparente, se dice que es interpretable.

Argumentos, responsabilidad y confianza

Otro concepto importante relacionado al de explicación es el de argumento. Mientras que una explicación intenta desplegar un fenómeno o una idea para hacerla más entendible, un argumento intenta dar razones pertinentes y convincentes por las que algo es o debe ser de determinada manera. Una explicación no necesariamente incluye un argumento en sus razonamientos o una causalidad explícita. Un SIA puede informar en su explicación qué relación hay entre los datos que usó como entrada y los que predijo como salida, pero esto no quiere decir que haya causalidad entre esas variables, ni que ese resultado sea justo o ético. En este sentido, podríamos pensar que una explicación es aceptable si se ajusta a los mecanismos de justificación que esperamos de otros seres humanos.

Tanto la comprensibilidad como la interpretabilidad se definen y adquieren su valor en la interacción de un sistema con una persona determinada, en un contexto en particular. Es decir, están sujetas a la capacidad de un individuo de entender lo que está sucediendo y de que esa explicación tenga sentido en el contexto en el que se esté usando el SIA. Sin embargo, incluso los SIA más avanzados solo procesan formas, pero no sentido. Por ejemplo, una computadora es capaz de procesar miles de libros e incluso mantener una conversación con un humano acerca de estos, pero es incapaz de entender que las palabras o las imágenes apuntan a objetos, ideas o fenómenos externos a ellos¹². Entonces, para obtener explicaciones valiosas es necesario tener en cuenta la persona y el contexto en que se va a interpretar esa explicación.

Cuándo una explicación es válida y cuándo una decisión es justa también dependen del contexto en el que estén enmarcadas, y esto debe tenerse en cuenta a la hora de emplear un SIA, sobre todo cuando los riesgos de su uso son altos. En línea con lo indicado en las secciones de ética y sesgos, la explicabilidad debe utilizarse como una manera de facilitar la auditoría de un SIA durante su desarrollo y en su uso final. Este abordaje incluye no sólo a quienes desarrollan software, sino también a organismos libres de conflictos de interés, como un comité de ética, que incluya personas expertas en el campo de uso y personas que representen a quienes consintieron el uso de sus datos para la generación del SIA, entre otras. La explicabilidad entonces no debe entenderse como una manera de adjudicar la responsabilidad solamente a quien use un SIA para asistir a la toma de decisiones.

Cuando se puede facilitar una explicación pertinente y convincente para la persona, se avanza en la confianza de esa persona en la decisión automática, que es uno de los objetivos últimos en la integración de los mecanismos de inteligencia artificial en la sociedad.

Actualidad y perspectivas a futuro

A pesar de que la explicabilidad de los SIA se investiga desde hace varias décadas, los últimos cinco años han sido explosivos, con mayor profundidad teórica, más métodos disponibles y mayor discusión de sus usos que nunca. Aún así, persiste en algunas comunidades una falsa dicotomía entre rendimiento y explicabilidad. Afortunadamente, la explicabilidad de los SIA está en vías de convertirse en un derecho a nivel internacional, pero quedan muchos desafíos por delante para garantizar un uso ético, seguro, justo y confiable de esta tecnología.

Reflexión y alerta final

En este capítulo hemos intentado desmitificar a la Inteligencia Artificial para mostrar que no se trata de una tecnología abstracta que viene dada sino que está sustentada por técnicas computacionales concretas, que aunque algunas veces pueden ser complejas, siempre están mediadas por profesionales de la informática que diseñan sistemas basados en inteligencia artificial y que codifican sesgos y consideraciones éticas con más o menos conciencia de ello.

Desmitificar es un primer paso para entender, y una sociedad que comprende de qué trata una tecnología y es capaz de dominarla (y esto difiere enormemente de ser simplemente usuaria) tiene herramientas para moldear su propio futuro, desarrollándose social y económicamente.

Y en este sentido hacemos un llamado de alerta. La comunidad académica de ciencias de la computación (disciplina que ha sido motor decisivo de la transformación de nuestro mundo en estas últimas décadas, y que apuntala muchas de las nuevas tecnologías que continuarán esa transformación, incluyendo a la Inteligencia Artificial) está debilitándose en Argentina debido a la enorme demanda del sector industrial. La capacidad de formar y retener investigadores jóvenes en ciencias de la computación viene disminuyendo principalmente por la abrumadora brecha salarial que existe con lo ofrecido por la industria local y extranjera. La pérdida de estos recursos humanos ya está afectando la disponibilidad de docentes universitarios en informática con impacto inevitable sobre la calidad y cantidad

¹² Para un ejemplo clásico, ver el argumento de la habitación china, de John Searle.

de personas egresadas de tecnicaturas, licenciaturas, ingenierías y doctorados, que puedan insertarse en la industria del software local. La falta de recursos humanos altamente capacitados ya está afectando la productividad del sector de software¹³ en Argentina, y el panorama a mediano plazo es muy desalentador.

La Argentina necesita políticas científicas diferenciadas para sostener e incrementar la actividad científica en el área de ciencias de la computación.

¹³ Reporte de coyuntura 2020 y expectativas 2021, Cámara de la Industria Argentina del Software - CESSI.

Las tecnologías inteligentes: múltiples aspectos de su impacto

Juan Carlos Ferreri

Introducción

Los sistemas inteligentes comienzan su historia oficial luego de la segunda guerra mundial, como producto de la reubicación de la mano de obra científica en el ámbito privado. El desarrollo del conocimiento que había sido estratégico cambia de rumbo hacia una producción industrial. Nacen así las tecnologías inteligentes. Esta amalgama produce un cambio profundo que comienza en algunas partes específicas de la tecnología industrial y robótica, pero a lo largo de 20 años se enraíza en la sociedad productiva y comienza a infiltrar todos los ámbitos de la vida cotidiana. Este florecer de las Tecnologías Inteligentes (TIs) da origen a una vasta cantidad de áreas, diversificándolas y colocándolas en una posición estratégica para el desarrollo de la humanidad. Entre otras, se han destacado la Minería de Datos, el Análisis de tendencias y la causalidad para la predicción de sus consecuencias y el tratamiento inteligente de grandes volúmenes de datos, conocidos como Big Data. La lista es larga y crece constantemente. Todo este cambio ha llevado a la tecnología a diseñar un futuro conocido como Industria 4.0, donde el hombre, la sociedad y la naturaleza estarán entrelazados y sostenidos por dos grandes ejes: las comunicaciones y los sistemas inteligentes. Por otra parte, surgen aspectos nuevos a considerar, en particular las cuestiones éticas vinculadas a los desarrolladores de las TIs, la preservación de los neuro-derechos de los individuos y las posibilidades reales de control y regulación del uso de las “armas inteligentes” o autónomas. La robótica-nova y las implicancias de su desarrollo, serán también objeto de análisis en este trabajo. El análisis estará centrado en las cuestiones relacionadas con los impactos sociológicos, éticos y jurídicos. Un ejemplo también relevante es el impacto en el procesamiento y creación en las artes en general. Los aspectos mencionados y otros que, por limitación de longitud, no han sido considerados, serán motivo de un volumen especial de la ANCBA.

LAS TECNOLOGÍAS INTELIGENTES: MÚLTIPLES ASPECTOS DE SU IMPACTO

Daniela López De Luise Y Carlos Alejandro Pérez[†]

Las TIs, clasificación y fronteras

En su célebre ensayo *Tesis sobre la filosofía de la historia*¹, W. Benjamin escribe una hermosa metáfora del progreso inspirado en un cuadro realizado por el pintor suizo P. Klee. Benjamin usaba esta metáfora para simbolizar la dualidad del progreso, donde el cuerpo de la humanidad (el *Angelus Novus* de su pieza pictórica) con el rostro vuelto hacia el pasado. El ángel desea restaurar ese ayer, ahora en ruinas, pero una fuerza irrefrenable (el huracán, el progreso empujado por la ciencia y la tecnología) lo arrastra hacia adelante.



Angelus Novus. (Wikimedia Commons)

La tempestad viene del Paraíso, la utopía del mundo perfecto también referido por Z. Bauman². Sin embargo, la felicidad humana se relaciona con un topos³ que es negado en el devenir del avance.

¹ B. Walter (2008) Tesis sobre la historia y otros fragmentos. ISBN 9789687943954.

² Z. Bauman (2017) Retrotopía. Paidós.

³ Topos: método normalizado de construir o tratar un tema o argumento donde se coloca el orador.

La humanidad experimenta una revolución del pensamiento que la mueve del topos, la coloca en una realidad científico-tecnológica muy compleja. La disrupción del topos exige la resolución de problemas no solo de carácter tecnológico sino también ético, sociológico y filosófico.

La denominación “*Tecnologías Inteligentes*” permite englobar de manera genérica dichos conceptos, sin importar que incluya o no ordenadores tradicionales. Los nuevos sistemas cruzan otras áreas del conocimiento que se nutren así de la aplicación de sistemas *bio-inspirados* o *Computacionalmente Inteligentes*⁴.

Las ciencias de la inteligencia

La naturaleza transversal de los sistemas inteligentes hace que día a día adquieran nuevas incumbencias. Por lo tanto, cualquier intento de exhaustividad en su catalogación y alcance está condenado a la obsolescencia mediata. No obstante, es posible listar sus principales áreas de estudio y una referencia a sus atribuciones (el detalle es ilustrativo, no exhaustivo). Las mismas versan en variantes de extrapolación y/o mímica de diferentes tipos y concepciones de inteligencia presentes en la naturaleza, sus principios y/o características peculiares. De manera no excluyente, las temáticas involucradas pueden englobarse en el detalle que sigue.

Algoritmos y Teorías en Inteligencia Computacional: comprende el estudio de las bases científicas que dan origen a las tecnologías en Inteligencia Computacional. Entre ellas *Computación cuántica*, *Sistemas de soportes de decisiones*, *Sistemas expertos*, *Algoritmos genéticos*, *Redes neuronales*, *Lógica difusa*, etc.

Sistemas robotizados y sus extensiones: *Robots de software*, *Robots de hardware* (tradicionales y blandos), *Cyborgs*, *Biónica*, *Cibernética*, *Mecatrónica* y sus implicaciones, *Interfases hombre-máquina* (implantes, asistentes virtuales, etc.), entre otros.

Sistemas de manejo de información: entre otros *Minería de Datos*, *Aprendizaje en grandes datos*, *Dispositivos inteligentes*, *Tecnologías de Almacenamientos*, etc.

Ciberseguridad y Ciberdefensa: denegación de servicios, estrategias de claves, monitoreo de transacciones cubren algunas de estas actividades.

Inteligencia computacional en la Sociedad: consideraciones específicas en el marco legal y/o regulatorio, familia, ética, responsabilidad científica y empresarial, normas sociales para las nuevas tecnologías, redes sociales y sus implicaciones, ingeniería humanitaria, TIs e inclusión, sistemas inteligentes en educación y pedagogía, etc.

Sistemas inteligentes en la ludificación: juegos serios, gamificación, transmedia y sus aplicaciones, planificación ludificada, marketing ludificado, entre otros.

⁴ Definición según IEEE CIS.

Sistemas administrativos inteligentes: e-gobernanza, control ético de la IA, e-comercio, e-justicia, firma digital, historia clínica digital, etc.

Sistemas inteligentes en salud: cuantificación de imagen médica multimodal, intervenciones asistidas por computación, sistemas de telediagnóstico, asistencia al diagnóstico, sistemas de planificación de tratamiento, guiado de intervenciones, entrenamiento por simulación, *Sistemas cirujano*, y un sinnúmero de nuevas herramientas inteligentes dentro del sector.

Sistemas inteligentes en el arte: sistemas músicos, escritores, y pintores, arte híbrido con nuevas tecnologías, y de las que algunos emergentes ponen en dilema la cuestión de los derechos de autor y el concepto de pieza única e irremplazable que solían tener las obras clásicas.

Sistemas inteligentes en la industria: transportes inteligentes, materiales inteligentes, cultivos de precisión, sistemas de autosustentación y ecología, edificios inteligentes, sistemas de redistribución automática de potencia, sistemas de mercadeo, etc.

Sistemas inteligentes en las comunicaciones: Las comunicaciones y TI tienen una simbiosis importante que permiten entre otras cosas hablar de celulares con sistemas inteligentes empotrados e interactuando con su entorno en tiempo real, con computación ubicua y una pretendida integración con el resto de una red de Industria 4.0

Conclusiones y futuro

Las tecnologías inteligentes se han convertido en una herramienta esencial y en una manera de encarar los desafíos de la ciencia. Esta nueva manera de pensar es tanto o más revolucionaria que la transformación industrial del siglo XVIII. Así es como entonces se desplazan intereses económicos, cambia la prospección del individuo, el topos íntegro de la sociedad muta hacia algo que aún hoy en día no está claro. El horizonte es lejano, pero la ciencia y la sociedad deben comenzar a comprender que son un todo sinérgico: uno determina al otro, lo limita, lo habilita. La demarcación, tal como sostienen Funtowicz e Hidalgo⁵, es un proceso dinámico que corre permanentemente este horizonte. En tanto las nuevas tecnologías, la ciencia inteligente del futuro, seguirán naciendo y diversificándose. Se integrarán todos los ámbitos conocidos por el hombre: el individuo, la sociedad, la ética, la economía, la política, la cultura, la salud, la educación, el arte, las leyes y hasta la naturaleza misma de su entorno. La sociedad ya está en un futuro que hereda y en los sistemas inteligentes hay una llave para la caja de Pandora. Abrirla o no, depende de las decisiones políticas, económicas y jurídicas que surjan en esta década.

5 S. Funtowicz, C. Hidalgo (2008) Apropriación social de la ciencia. Biblioteca Nueva.

LAS TECNOLOGÍAS INTELIGENTES: MÚLTIPLES ASPECTOS DE SU IMPACTO

ANTONIO A. MARTINO

Ética e Inteligencia Artificial

Introducción

La Inteligencia Artificial (IA) se ha introducido en toda nuestra vida, desde el uso de celulares hasta las armas autónomas, pasando por los vehículos autogobernados, la producción realizada por robots, el flujo incesante de datos como nunca en la historia de la humanidad.⁶ Como siempre cuando alguna obra humana es muy original y creativa, se puede tornar peligrosa: en el siglo pasado la energía atómica e Internet, en este la IA. Recién cuando se vuelve peligrosa se piensa en la ética que debe acompañar toda acción humana.

La Ética es una parte de la Filosofía. Para hacer Filosofía se requiere capacidad de asombro. Detengámonos un momento en esta capacidad de asombro: no es sorpresa, esta puede tenerla cualquier animal. El asombro en el diccionario de la Real Academia es gran admiración y extrañeza y aún susto y espanto. Extrañarse es ponerse fuera y hay algo de eso en el asombro: se pone uno fuera, fuera de todo lo que le es familiar y por eso lo del susto o espanto. Esta es una capacidad de la especie humana solamente, que le permite ir más allá de lo conocido, de lo familiar y exponerse fuera a lo desconocido. Y dado que la Ética es una parte de la Filosofía, es necesaria esta capacidad de asombro para hablar de Ética.

Voy a obviar los riesgos que algunos autores atribuyen a la IA, como ser que sus algoritmos rápidamente sobrepasaran (si no lo han hecho ya) a la inteligencia humana porque, en general son debidos a miedos.⁷ El robot provoca miedo y evoca miedos ancestrales. Desde el Golem de la tradición hebrea, que aparece citado una sola vez en el Antiguo Testamento, esto es, en salmo 139, verso 16, allí se dice “inconcluso o esbozado me vieron tus ojos. Tus ojos vieron mi embrión, y en tu libro

6 Es tan grande el uso de chips para todas las actividades que actualmente hay escasez de los mismos y algunas empresas deben limitar o paralizar su producción.

7 Los seres humanos tenemos miedos ancestrales. Hay 6 que son universales: a la muerte, a la falta de autonomía, al hambre, a la soledad, a las pandemias, a la mutilación física o psíquica. También a la muerte.

se escribieron todos los días que me fueron dados, cuando no existía ni uno solo de ellos”. Ese embrión, según la interpretación, es el Golem, pero para otros Adán. En hebreo, idioma original del Antiguo Testamento, se coloca el origen de la figura del Golem, de donde la Qabbal (tradición) busca sus significados.

Sí, vale la pena ocuparse de los peligros serios que han aparecido ya y que están siendo tratados; podemos llamarlos riesgos y son debidos al hecho que se trata de una metodología nueva a la cual la sociedad no ha tenido tiempo de habituarse. Los sistemas inteligentes no van a volver atrás, por lo tanto, la solución no es demonizarlos como si no existieran o fuéramos a desterrarlos sino ver cuáles son los riesgos que crean, diferenciarlos pues algunos son menores y otros mayores, colocarlos en los justos contextos, estudiar las medidas para contrarrestarlos y tener un ojo vigilante a una sociedad siempre más compleja, siempre más cruzada por todas las líneas de las nuevas tecnologías. A menudo lo que es nuevo supone riesgo y en las últimas dos décadas se han producido más novedades tecnológicas que en cualquier otro periodo de la historia.

Hay muchas teorías éticas, pero vamos a tratar solo dos contrapuestas: la teoría kantiana del imperativo categórico. Dice Emanuel Kant en *Fundamentación de la metafísica de las costumbres* “Obra sólo según aquella máxima por la cual puedas querer que al mismo tiempo se convierta en ley universal. Obra como si la máxima de tu acción pudiera convertirse por tu voluntad en una ley universal de la naturaleza” (AA IV:421) y la de un autor inglés Charles Ross, quien en su libro *Fundamentos de ética*, dice “que tenemos un deber prima facie de ayudar a los demás, otro de mantener nuestras promesas, otro de devolver los actos de amabilidad anteriores v otro de no defraudar a las personas que confían en nosotros”. Y habla de deberes prima facie porque nuestros deberes cambian con el cambio de informaciones que tenemos⁸.

Casos

El domingo 18 de marzo de 2018, a las 21.59 h en Tempe, Arizona, Elaine Herzberg fue embestida y muerta por un auto autónomo de prueba, de la firma Uber, conducido por los sistemas desarrollados para ese fin, con una conductora de seguridad llamada Rafaela Vásquez. A partir de ese hecho comenzaron las preguntas que tal vez habría que haberse hecho antes del experimento sobre la eticidad de comportamiento y volvió al ruedo un viejo dilema que Filippa Foot había enunciado en los años sesenta del siglo pasado: el dilema del tranvía.

⁸ Ross, David, *Fundamentos de ética*, Eudeba, Buenos Aires, 2003. El original inglés es de 1930

Los vehículos aéreos no tripulados (UAV) son ahora una herramienta central de antiterrorismo. Más específicamente, los vehículos aéreos no tripulados armados se han demostrado altamente valiosos para el ejército de los Estados Unidos al llevar a cabo asesinatos selectivos en regiones remotas del Oriente Medio y el Sahara, África. Las armas autónomas letales tienen algoritmos cognitivos que permiten identificar, seleccionar y eliminar un objetivo (humano o no) sin necesidad, o más bien con escasa, presencia humana. Drones, misiles de crucero, bombarderos y tanques están ya dotados de sensores, cámaras y radares que permiten el control remoto.

El art. 36 del Protocolo adicional a los acuerdos de Ginebra obliga a los estados a revisar si el uso de armas que producen o adquieren respetan las reglas del derecho internacional. Se empieza a considerar que las decisiones de herir, matar o traumatizar seres humanos no debe ser aprendido por sistemas autónomos bélicos. Se va afianzando la idea que en la ciberguerra también el control humano significativo sea la piedra angular de todo el desarrollo. Esta es una tarea necesaria e inminente.

Los métodos de reconocimiento facial dedicados a vigilancia masiva tuvieron que esperar hasta fines del siglo XX. La primera vez que se utilizó en un acontecimiento de grandes proporciones fue en la Super Bowl de 2002, que resultó, en general, un fracaso. Numerosos falsos positivos mostraron que la tecnología no estaba aún preparada para las grandes multitudes. A partir de 2015, las fuerzas policiales del Reino Unido empezaron a probarla también. El Sistema de Reconocimiento Facial de la Interpol (IFRS) almacena imágenes faciales enviadas por más de 160 países, lo que la convierte en una base de datos única en el ámbito policial. Este sistema, puesto en marcha a finales de 2016 ha logrado identificar a más de 650 delincuentes, prófugos y desaparecidos. Sin embargo, también es utilizada en países autocráticos o con tendencias autoritarias a vigilar a la población y saltar sus derechos de intimidad.

El cuestionamiento del ethos comunicacional e informativo gira actualmente en torno a temas tan variados como la privacidad, la propiedad intelectual, el acceso libre al conocimiento, el derecho a la expresión en las redes digitales, la censura, las nuevas definiciones de género, la identidad digital, las comunidades digitales, el plagio digital, la sobrecarga informacional, la brecha digital y el control social digital. El filósofo italiano Luciano Floridi distingue entre una “ética de la comunicación global” y una “ética de la información global”.⁹

⁹ Floridi, Luciano, *The Blackwell Guide to the Philosophy of Computing and Information* (editor), Blackwell, O

Un ejemplo concreto de conflicto entre las visiones económicas y éticas: la muy debatida cuestión de la pérdida de puestos de trabajo inducida por la automatización, incluida la IA. Este año el premio más interesante fue en la categoría “innovación tecnológica al servicio del periodismo” y lo ganó el proyecto realizado por un periódico canadiense, The Globe and Mail, cuyo sitio web ha sido dirigido por un sistema inteligente para elegir los artículos durante algún tiempo. Los lectores nunca se han quejado de ello; juran, de hecho, que ni siquiera lo notarían.

Documentos que imponen límites

La difusión de los sistemas inteligentes ha sido percibida y ya países, asociaciones, entidades universales y regionales han comenzado a redactar y difundir documentos de alarma y orientación sobre la necesidad de límites éticos.

La Unión Europea fue la primera en plantear el problema de la inteligencia artificial no solo desde el punto de vista ético (punto de vista que ya ha seguido el Reino Unido en 2016), sino también desde el punto de vista reglamentario, especialmente desde los mecanismos de imputación de la responsabilidad civil). Los 36 países miembros de la OCDE, junto con Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, Perú y Rumanía han suscrito en París los Principios de la OCDE sobre la Inteligencia Artificial en el marco de la Reunión del Consejo de Ministros de la Organización, con el lema “La transición digital al servicio del desarrollo sostenible”. La Unesco ha editado en 2020 un primer documento que al presente está siendo analizado por los diferentes continentes y se espera tener una declaración con valor universal en dos años.

Conclusiones

Sinceramente creo que los humanos tenemos una noción bastante clara de lo que está bien y lo que está mal de la vida en sociedad y además de su propia vida. Dicho de otro modo, que la moral social y la ética individual han acompañado al hombre desde su aparición en la Tierra. Es cierto que cambiando el mundo hay nuevos desafíos éticos. Satán o el diablo no aparecen, por lo que se, en el budismo ni en hinduismo y hasta algunos creyentes famosos tuvieron problemas con esta figura. Leibniz, cuando escribe sobre la presencia de Dios en el mundo, dice que es fácil verla: la bondad, pero cuando quiere encontrar la maldad dice simplemente que es la ausencia de Dios. A punto tal que puede indicar lo mismo apelando a números: La presencia de Dios 1 y su ausencia 0. Y agrega que con esos dos elementos puede nombrar cualquier cosa y comienza con la sucesión fundamental de los primeros ocho números que se convierten en una tira de 0 y 1, creando el sistema binario.

Nace una ética global, aparecen morales ontocéntricas, biocéntricas y antropocéntricas y es necesario informarse, reflexionar, tomar partido. Se tiene clara conciencia que nuestras decisiones no solo afectan nuestra vida y nuestro futuro inmediato sino también el largo plazo y las próximas generaciones y es por eso por lo que, a las tres reglas clásicas de Asimov, se agrega una cuarta en el cual el robot debe cuidar de no afectar la perdurabilidad de la especie humana, como el mal tratamiento del ambiente o la afectación de los recursos naturales.

La economía tiene que rendirle cuentas a la moral, no es posible que solo las leyes del mercado decidan la falta de trabajo de millones de personas, la hambruna y la angustia de muchos. Con cada situación, con cada mundo que se va creando con los sistemas inteligentes es necesario plantearse hasta donde las acciones que se generan y las consecuencias que derivan pueden traer felicidad o dolor a los seres humanos que serán implicados por las mismas porque, en definitiva, como decía Kant: la moral no es realmente la doctrina de cómo hacernos felices, sino de cómo debemos hacernos dignos de la felicidad.

¿Cuál es el marco para una IA confiable? Al menos pueden considerarse: la Acción y supervisión humana; la solidez técnica y seguridad; la gestión de la privacidad de los datos; la transparencia; la no discriminación y equidad; el bienestar social y ambiental y la rendición de cuentas y las responsabilidades. La Unesco pone así los cimientos de una declaración universal sobre ética en la IA.

Para terminar nada mejor que la paradoja de Fermi: él se preguntaba cómo era posible que cuando se buscaban vidas inteligentes estos siempre aparecían en la Tierra cuando era estadísticamente improbable que no hubiese vida inteligente en el vasto universo. Su hipótesis era que cuando la tecnología va más rápido de la razón, la vida inteligente se destruye a sí misma. Que nos sirva de advertencia.

LAS TECNOLOGÍAS INTELIGENTES: MÚLTIPLES ASPECTOS DE SU IMPACTO

LILIAN DEL CASTILLO

Tis, Neurociencias Y Neuroderechos

La neurociencia como parte de la Biología es la “ciencia que se ocupa del sistema nervioso o de cada uno de sus diversos aspectos y funciones especializadas,”¹⁰ que como parte de la medicina estudia “el funcionamiento del sistema nervioso y cómo los diferentes elementos interactúan y dan origen a la conducta de los seres humanos.”¹¹ Como parte de las neurociencias, la neurotecnología ha desarrollado métodos para registrar, interpretar o alterar la actividad cerebral, así como sus funciones cognitivas, que se producen por la interacción de los circuitos neuronales.¹²

Específicamente la imagenología, o sea el “estudio y utilización clínica de las imágenes producidas por los rayos X, el ultrasonido, la resonancia magnética” (RAE) y otros medios, permite observar la actividad del cerebro, observación que permitiría predecir lo que se está pensando. Sin duda, esto podría ser, o es, una invasión de la privacidad individual al poseer la capacidad de intervenir el cerebro.

En el centro de la neurotecnología se encuentra la interfaz cerebro-computadora (BCI’s), es decir el plan, procedimiento, o técnica que conecta el cerebro de una persona a una computadora o a otro instrumento fuera del cuerpo humano, ya sea un teléfono celular o una computadora. Estas interfases¹³ permiten una comunicación bidireccional entre el cerebro y el mundo exterior, exportando datos del cerebro o alterando la actividad cerebral, operando de manera invasivas o no invasiva.

10 Diccionario de la RAE

11 Manes, F. y Niro, M., Usar el cerebro, Ed. Paidós, 2015, Barcelona, España, 21.

12 Manes, F. y Niro, M., El cerebro del futuro ¿Cambiará la vida moderna nuestra esencia? Ed. Planeta, 2019, España, 51.

13 Interface: the place at which independent and often unrelated systems meet and act on or communicate with each other; RAE: Interfase: biol. Período entre dos divisiones sucesivas de una célula; fis. y quim. Superficie de separación entre dos fases. Interfaz: 1. Inform. Conexión, física o lógica, entre una computadora y el usuario, un dispositivo periférico o un enlace de comunicaciones; 2. Conexión o frontera común entre dos aparatos o sistemas independientes.

La necesidad de sistematizar gran cantidad de datos y el refinamiento de la programación, confluyen para producir algoritmos¹⁴ que superan la capacidad del cerebro humano en muchas actividades. Es no sólo deseable, sino también necesario que la utilización de la IA, transversal a las ciencias, se realice dentro de límites éticos y legales. La IA no es una evolución científica situada más allá de la ética y del derecho, porque su aplicación forma parte de la evaluación de lo correcto o lo incorrecto de la conducta humana y delimitada por la correspondiente regulación jurídica.

La vinculación entre neurociencia y derecho surge de la nueva permeabilidad de la mente humana, que plantea desafíos radicales a la intimidad de las personas. En efecto, la libertad última es la del pensamiento.¹⁵ Acceder a ese núcleo reservado no puede ser irrestricto, porque amenaza la autonomía individual, amparada por los derechos personalísimos y los derechos humanos, que deberán ahora contemplar nuevos desafíos para resguardar la indeclinable intimidad de las ideas.¹⁶ El nuevo objeto de regulación reclamado a la ciencia jurídica se ha denominado “neuro-derecho,” una categoría normativa de la que no hay una definición comprensiva, tal vez porque no se han tipificado aún sus elementos constitutivos. Abordar los “neuro-derechos” implica entonces entrar en materia maleable pero no carente de principios jurídicos, siendo el derecho un universo autosuficiente en el que cada norma se subsume en la jerarquía normativamente superior y la norma superior valida el sistema.

El Centro de Neurotecnología de la Universidad de Columbia (USA) lleva adelante desde 2013 el Proyecto BRAIN (Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies), que busca comprender las redes sinápticas del cerebro. Esta investigación ha enunciado algunos derechos esenciales, a los que denomina neuro-derechos, que deberían ser regulados, a saber: 1. el derecho a la privacidad mental (intimidad); 2. el derecho a la identidad personal; 3. el derecho al libre albedrío, referido a la toma de decisiones, que no debe ser manipulada por neuro-tecnologías externas; 4. el derecho al acceso equitativo al aumento de la neuro-cogni-

14 Algoritmo: secuencia de operaciones; conjunto de instrucciones, reglas o serie metódica de pasos que puede utilizarse para hacer cálculos, resolver problemas y tomar decisiones (Cosentino, Patricio M., MJDOC-15982-AR / MJD 15982, Microjuris.com)

15 Yuste, R., Genser, J., Hermann, S., “It’s Time for Neuro-Rights”, Horizons, CIRSD Center for International Relations and Sustainable Development, Winter 2021, No. 18.

16 Yuste, Rafael, et al., idem n.5.

ción; y, 5. el derecho a la protección de sesgos algorítmicos.^{17 18} Chile tiene un proyecto de ley y un proyecto de reforma constitucional aprobados este año (2021) para incorporar los neuroderechos a su legislación.

En el derecho argentino, el Artículo 19 de la Constitución Nacional es el marco jurídico susceptible de amparar los neuro-derechos, los neuro-datos y la privacidad e inviolabilidad de las ideas, porque consagra el *derecho a la privacidad o intimidad mental y a la identidad personal*. La neurotecnología podría estar en condiciones de vulnerar el derecho a la privacidad y a la intimidad del pensamiento. También el Código Civil y Comercial de la Nación contiene disposiciones que protegen de diferentes circunstancias la libertad individual (Artículos 23, 31(d) (f), 52, 55, 56, 260,958). Podría también aplicarse la Ley 25.326 de Protección de Datos Personales.

El cerebro humano es una gran base de datos. Los neuroderechos buscan protegerla aún en aquellos casos en que exista consentimiento, y determina el alcance que puede tener ese consentimiento.

Por último, es necesario tener presente que mientras la ética es inmanente, el Derecho no lo es. A nivel internacional, declarar un derecho pone en marcha del camino hacia su vigencia, pero no lo hace inmediatamente aplicable.

LAS TECNOLOGÍAS INTELIGENTES: MÚLTIPLES ASPECTOS DE SU IMPACTO

MARCELO URBANO SALERNO

Presente y Futuro de la Robótica

Posiblemente haya en la actualidad quienes consideren que la robótica es un producto de la IA. En cambio, los antecedentes permiten afirmar que es fruto de la imaginación de mentes iluminadas. Robótica deriva de la palabra robot, tomada del idioma checo, la cual significa trabajo. Esa palabra la introdujo en la literatura

¹⁷ Goering, Sara et al, *Recommendations for Responsible Development and Application of Neurotechnologies*, Neuroethics, <https://doi.org/10.1007/s12152-021-09468-6>, on line 29April2021

¹⁸ Ienca, Marcello & Andorno, Roberto, "Towards new human rights in the age of neuroscience and neurotechnology," *Life Sciences, Society and Policy* (2017)

de ficción el escritor Karel Capek el año 1921, en una pieza teatral: describió a una cosa con las características de un individuo del género humano. Se anticipó a su época -vivió entre las dos guerras mundiales- para proyectarse al futuro. Lejos de ser la fantasía de su intelecto, indagó sobre la posibilidad de hacer funcionar un aparato mecánico autogenerado mediante la energía surgida de la conexión entre el trabajo y el calor causantes de fuerza motriz. Era un transgresor a las reglas de la naturaleza sobre el origen de los seres vivientes, reglas estudiadas por la biología. De modo que Capek planteó una hipótesis absurda, como es crear un humanoide, y así contradujo a Luis Pasteur, quien afirmó que nada puede llegar a existir por generación espontánea.

Esta idea se fue desarrollando a "posteriori" en el campo de los cuerpos físicos, pues constituyó un desafío para los investigadores poder realizar una máquina autopropulsada apta de trasladarse de un lugar a otro sitio, moviéndose por sí misma. Han existido progresos científicos en ese sentido. Durante la Segunda Guerra Mundial, se emplearon bombas voladoras autónomas para atacar la ciudad de Londres, bombas de tres tipos según su alcance: la V1, la V2 y la V3. El lugar de lanzamiento era una localidad francesa al borde del Canal de la Mancha. El primer satélite artificial fabricado por la Unión Soviética fue puesto en órbita por un cohete R-7; ese robot recibió el nombre de Sputnik 1. Estados Unidos de Norte América lanzó hacia Marte el robot explorador "Perseverance" a cargo de la NASA (sigla de la "National Aeronautics and Space Administration"). Los ejemplos dados ya integran el cuadro de la robótica, tecnología que se aplica hoy día entre otras actividades en la industria automotriz, la industria aeronáutica y la industria naval.

Desde el punto de vista jurídico en la actualidad se plantean algunos interrogantes, aunque en el caso de la navegación surcan las aguas los buques sin tripulación. ¿Existen normas específicas para cosas animadas que se asimilen a los seres humanos? La respuesta debe ser negativa por definición legal: la persona humana es un ser concebido que nace con vida y está dotado de voluntad para poder actuar con discernimiento, intención y libertad. Esta definición nos traslada a la noción del sujeto de derecho, una persona que tiene derechos innatos y que también tiene deberes que cumplir. Su base es un principio fundamental del derecho argentino: el principio de centralidad de los seres humanos. Desde otra perspectiva, la ley atribuye personería -es decir, la considera persona jurídica- a la organización de un grupo de individuos del género humano unidos por la "affectio societatis". Este tema puede enfocarse con una visión económica, a propósito del concepto de patrimonio, los bienes y las deudas que tiene una persona humana o jurídica. Una tendencia aislada intenta demostrar que el patrimonio podría objetivarse, en razón de la finalidad que persigue, pero aún no tiene consagración legislativa.

El robot, aunque tuviese forma semejante al de un ser humano, no es considerado persona. Según el derecho no es responsable de los daños que ocasionare con su accionar. Todo el régimen de la responsabilidad civil se estructura en torno a la noción del sujeto de derecho, porque no existen derechos sin sujeto, ni las cosas responden por los perjuicios que causen. El legislador atribuye la responsabilidad objetiva al dueño y al guardián de sus bienes materiales, solo cuando intervienen cosas riesgosas o viciadas a su cargo.

Los mares y los ríos se pueden navegar con buques sin tripulación a bordo, transitando cerca de la costa en viajes cortos por rumbos establecidos mediante tecnologías inteligentes (a veces son “ferries”). Los dirigen desde tierra por control remoto y todas las maniobras son tomadas por el sistema aplicando sensores. Algunos astilleros ya los fabrican, porque existe una demanda, debido a que hacen incrementar las ganancias, reducen los costos, y operan con más flexibilidad. La Organización Marítima Internacional se encuentra analizando cómo regular este tipo de navegación y establecer una normativa especial a ese efecto que contemple tres aspectos: el jurisdiccional, el técnico y el de la responsabilidad por daños. Es indispensable brindar seguridad y orden, al extremo que será necesario que las balizas y boyas sean de tipo activo. Se encuentran en etapa de elaboración las soluciones concretas a los complejos problemas que suscita la navegación “inteligente”.

Toda innovación tecnológica produce un impacto en el sistema jurídico, apegado a criterios anticuados que se van adaptando a la realidad por obra de la judicatura, puesto que los fenómenos novedosos primero pasan por el tamiz judicial. La robótica ya está instalada en nuestro mundo en varias actividades y el legislador no tardará en regular los efectos que cause. Recién después que se unifiquen los criterios, el derecho se ocupará de desmenuzar los numerosos problemas que suscitan sin las clásicas citas de autoridad que suelen respaldar a los juristas. El presente desafía al futuro progreso de la investigación científica.

LAS TECNOLOGÍAS INTELIGENTES: MÚLTIPLES ASPECTOS DE SU IMPACTO

JULIÁN PUCHETA

Modelos para el manejo de epidemias¹⁹

Un modelo es una representación simplificada de la realidad, donde se propone establecer la evolución de la pandemia a lo largo del tiempo y del espacio mediante relaciones matemáticas. Cada modelo tendrá en cuenta variables que son relevantes para la representación de la evolución de la pandemia, con el fin de establecer mecanismos que puedan evaluar y mitigar el daño que ésta provoca en la sociedad. Las epidemias han sido objeto de estudio de la ciencia desde 1760, cuando apareció la propuesta de Bernoulli²⁰. Luego, en 1911 se aplicó dicha propuesta para la prevención de la malaria²¹. A partir de 1927 se empezó a tomar el tópico desde la matemática por parte de Kermack²² que formalizó resultados. Aquí se va a detallar este modelo pionero orientado a la pandemia Covid 19 descrito en²³, y se van a comentar las nuevas variables que se le han agregado, incluyendo propuestas de aprendizaje automático e inteligencia artificial para modelar la pandemia Covid 19.

¹⁹ Los contenidos son por cuenta del Autor. Colaboradores: Carlos Salas, Martín Herrera, Héctor Patiño y Cristian Rodríguez Rivero

²⁰ Bernoulli, D. (1760). *Essai d' une nouvelle analyse de la mortalité causée par la petite vérole, et des avantages de l'inoculation pour la prévenir*. *Mém Math. Phys. Acad. Roy. Sci.*, 1-45.

²¹ Ross R. *The prevention of malaria*. London: John Murray; 1911. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2302055/pdf/brmedj07224-0010.pdf>

²² Kermack, W. O. y McKendrick, A.G. (1927). “Contributions to the Mathematical Theory of Epidemics”. *Proc. Roy. Soc. A*. vol. 115, pp. 700-721.

²³ Amster, Pablo, <https://www.youtube.com/watch?v=7XKPydEnDjA&feature=youtu.be>

Modelo SIR

El modelo de Bernoulli y de Kermack proponen transiciones de un grupo susceptible a un grupo infectado, y de éste a un grupo recuperado, donde se asume que la suma de las funciones temporales sea una constante,

$$S_t + I_t + R_t = N \quad (1)$$

donde N es el total de la población y es constante, S_t representa a los susceptibles, I_t a los infectados, R_t a los recuperados, asumiendo que para $t=0$ se tiene que $S_0 > 0$, $I_0 > 0$ y $R_0 = 0$.

El ritmo de cambio de los susceptibles dada la transición a infectados, depende del tamaño de los susceptibles y del tamaño de los infectados²⁴ y se describe mediante la fracción β ,

$$\dot{S}_t = -\beta S_t I_t \quad (2)$$

donde \mathcal{K} es el promedio de contactos por persona por unidad de tiempo y p es la probabilidad de contagio. La disminución por unidad de tiempo de los susceptibles S_t es

$$\dot{S}_t = -\beta S_t I_t \quad (3)$$

El paso del grupo de infectados a recuperados por unidad de tiempo se hace con una fracción γ de los infectados,

$$\dot{R}_t = \gamma I_t = \frac{1}{D} I_t \quad (4)$$

24 Hamer, W.H. (1906) The Milroy Lectures on Epidemic Disease in England—The Evidence of Variability and Persistence of Type. The Lancet. Volume 167, Issue 4305, 3 March 1906, Pages 569-574. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(01\)80187-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(01)80187-2).

donde γ es la velocidad de remoción y D es la duración media de la enfermedad. Para hallar los infectados, se tiene en cuenta los nuevos casos, y se le restan los recuperados, es decir,

$$\dot{I}_t = \beta S_t I_t - \gamma I_t = (\beta S_t - \gamma) I_t \quad (5)$$

Para el modelo completo, se obtiene el sistema de ecuaciones (3)-(4)-(5), especificando las condiciones iniciales para $t=0$ con $S_0 > 0$, $I_0 > 0$ y $R_0 = 0$.

Como acciones posibles para mitigar la pandemia, se puede observar que en general I_t crece si $\beta S_t - \gamma > 0$. Entonces, definiendo:

$$R_0 = \frac{\beta}{\gamma} S_t = S_t \frac{\mathcal{K}}{N} p D \quad (7)$$

se busca que $R_0 \leq 1$. Para ello, se pueden realizar diversas acciones, como por ejemplo reducir D con vacunas antivirales, y reducir la transmisibilidad p con medidas de higiene, barbijos, e incluso reducir \mathcal{K} con medidas de aislamiento entre los individuos disminuyendo la concentración de personas por superficie.

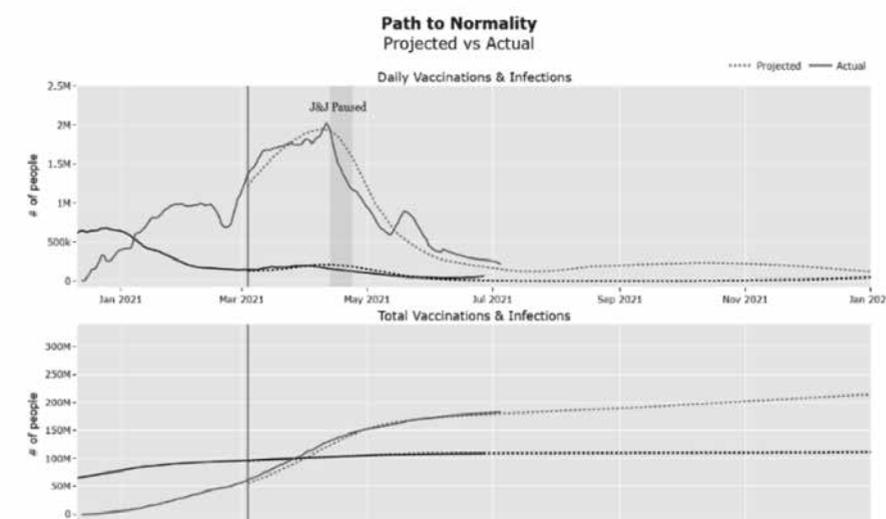


Fig. 1. Datos generados por un modelo de pandemia basado en inteligencia artificial, obtenido de: <https://covid19-projections.com/path-to-herd-ummunity/>

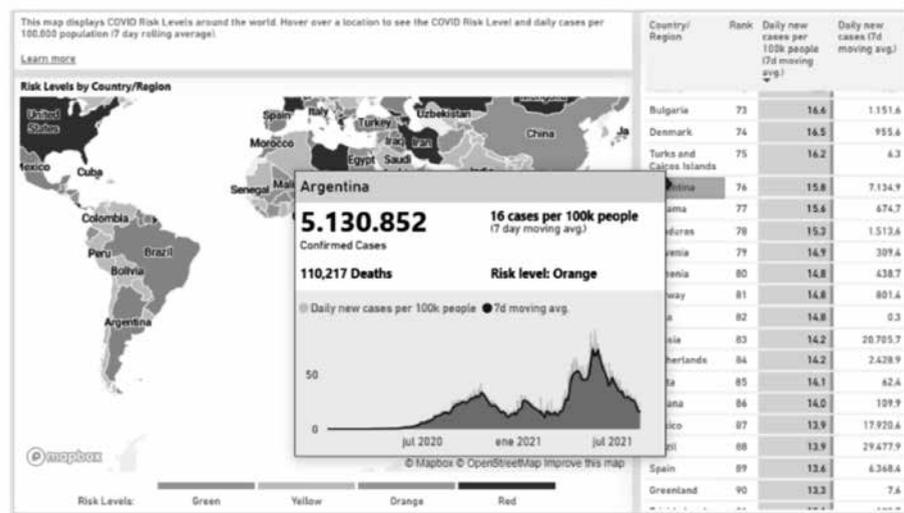


Fig. 2. Mapa de color de la situación de pandemia en casos cada 100.000 individuos, extraída de: <https://globalepidemics.org/key-metrics-for-covid-suppression/>

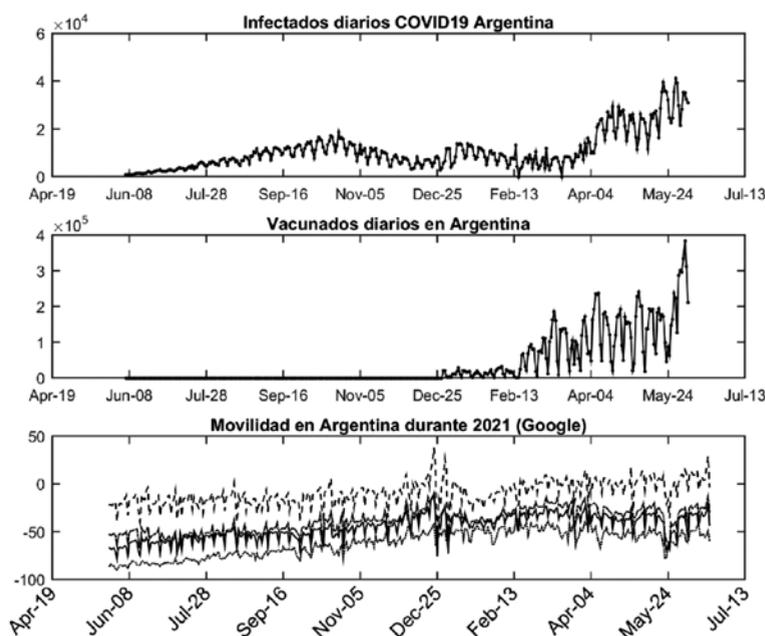


Fig. 3. Análisis de la evolución de los casos positivos de COVID19 diarios, del proceso de vacunación en Argentina y de la movilidad de las personas provista por Google para el período de junio de 2020 a junio de 2021. La movilidad mostrada aquí tiene cuatro categorías: Tiendas y espacios de ocio (-), Supermercados y Farmacias (--), Parques (:), Estaciones de transporte (-.).

Otros modelos

Al modelo SIR se le han agregado variables, como por ejemplo sujetos Expuestos, Fallecidos, testeos de sujetos asintomáticos y presintomáticos donde se muestra su uso para un control automático de la pandemia²⁵. Hay modelos que incorporan IA para realizar las proyecciones de los infectados y el paso a la normalidad (ver 25) detallados en la Fig. 1, y también sobre la situación global automatizada con un día de latencia en la actualización del tipo mapa de color (ver 26) como muestra la Fig. 2. También hay modelos que consideran la movilidad de las personas²⁶ y allí pueden incorporarse datos como el proceso de vacunación, donde se observa que el modelo descrito por la Ec. (7) no lo va a poder ajustar correctamente, como se observa en la Fig. 3. En el caso de incorporar la movilidad de las personas en el modelo se tiene un resultado similar al mostrado en la Fig. 3 donde la movilidad es descrita por un sistema automatizado provisto por Google²⁷ que ofrece seis categorías (aquí se muestran cuatro) de medición. La medición es la movilidad relativa a Febrero 2020, cuando comenzó a publicarse esta información. Nótese que, aunque la movilidad relativa no ha aumentado en los últimos meses, sí lo ha hecho el número de infectados diarios y también el número de vacunados diarios.

Conclusiones

Se han mostrado algunos modelos de pandemia, donde se ilustró el producto que se puede esperar de cada uno y qué decisiones pueden tomarse. Sin embargo, como se observa en las gráficas de la Fig. 3, cuando comenzó el proceso de vacunación y según se vio en el modelo en la Ec. (7) que la duración media de la enfermedad disminuye, esto no se refleja directamente en la curva de contagios diarios. Es por ello por lo que no se habla de inmunidad de rebaño sino de retorno a la normalidad (ver 25) y en la Fig.1. También debe considerarse que la efectividad de las vacunas, ante la variante Delta presenta una baja en su efectividad cayendo a un rango de 20-30% cuando se tiene una dosis aplicada y a un 60-70% con las dos dosis aplicadas.

25 H. D. Patiño, S. Tosetti, J. Pucheta and C. R. Riveros, "Control of COVID-19 Outbreak for Preventing Collapse of Healthcare Capacity based on Social Distancing, Confinement and Testing-Quarantining", 2020 IEEE Congreso Bional de Argentina (ARGENCON), 2020, pp. 1-6, DOI: 10.1109/ARGENCON49523.2020.9505448. (2020).

26 J.Pucheta, C. Salas, M. Herrera, H. D. Patiño and C. R. Riveros, "Análisis y Modelado de Procesos Dinámicos para Medir el Cambio de Conducta Social en el Marco del COVID-19", 2020 IEEE Congreso Bional de Argentina (ARGENCON), 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/ARGENCON49523.2020.9505520. (2020).

27 <https://www.google.com/covid19/mobility/>

LAS TECNOLOGÍAS INTELIGENTES: MÚLTIPLES ASPECTOS DE SU IMPACTO

MARIO SOLARI

TIs e Industria 4.0

Las tecnologías “inteligentes” están revolucionando a la industria. El impacto es tan profundo que se considera que entramos en una nueva etapa del proceso de transformaciones socioeconómicas conocido como la “Revolución industrial”²⁸. La primera etapa de la revolución industrial (1.0), que comenzó alrededor de 1750, se basó en la máquina de vapor. La segunda etapa (2.0) se extendió desde fines del siglo XIX hasta mediados del siglo XX, impulsada por la energía eléctrica, generada por carbón, hidroelectricidad, y petróleo, los métodos de producción en masa y la división de tareas. Esta etapa incluyó el telégrafo, teléfono, radio y televisión. Así como la industria automotriz y aeronáutica. El rol de la ciencia fue ampliamente reconocido y valorado por la sociedad. Sin embargo, las tensiones entre capital y trabajo provocaron dramáticos cambios y desigualdades en la sociedad, que contrastaron con la denominación de “progreso” con la que se la caracterizó.

La tercera etapa de la revolución industrial (3.0) comenzó a mediados del siglo XX y continúa hasta la actualidad. Se inicia con la revolución electrónica, a partir del desarrollo del transistor y los circuitos integrados. La introducción de la automatización y control permitió el desarrollo de la robotización. Se impulsó el dominio de la energía nuclear y la industria aeroespacial. Se incluyen dentro de este período la revolución digital, con la difusión de la computación, internet, biotecnología, nanotecnología.

La aplicación de las técnicas surgidas de la ciencia computacional, permitieron a partir de los años 70 cambiar radicalmente los sistemas de manufactura. Los nuevos sistemas inicialmente designados como FMS (Flexible Manufacturing System) o CIM (Computer Integrated Manufacturing), este último basado en el CAD (Computer-aided Design), dieron origen a los FCIMS (Flexible Computer-Integrated Manufacturing Structure). La clave de los FCIMS fue el procesamiento interrelacionado de materiales e información que confluyen en una estación, isla o celda de trabajo. La consolidación de las tecnologías PLC, CIM, IT, FMS, FCIMS, automatización y robótica terminaron de configurar en los 90' lo que hoy se denomina tercera etapa (3.0) de la revolución industrial.

²⁸ Mario Solari, “El cambio tecnológico y la sociedad del futuro”, VII Encuentro Interacadémico, “Academias, conocimiento y sociedad”, Buenos Aires, 7 de noviembre 2018.

El gran desarrollo de las TIC's permitió, en el siglo XXI, la convergencia de la Manufactura Integrada por Computadora (CIM) y la automatización junto con la Robótica avanzada y colaborativa, Smart Manufacturing, el análisis de datos Big Data, la inteligencia artificial, Web 2.0, Internet de las Cosas (IoT-Internet-of-Things), tecnologías 4G y 5G, comunicaciones móviles, la nube, la comunicación máquina a máquina, las plataformas sociales, la fabricación aditiva o impresión 3D, la realidad aumentada, y la simulación computacional.

El Big Data y la inteligencia artificial (IA) conectan los mundos físicos y digital. Se entiende como Big Data al conjunto de datos que se producen en forma digital y se pueden analizar a través de herramientas computacionales^{29, 30}. El volumen total de datos que se produjeron en el mundo en 2020 fue estimado en 50,5 ZB (Zettabyte 10²¹ bytes). Estos números son imposibles de entender para el sistema cognitivo humano. Requieren de algún tipo de análisis automatizado.

Se define a los sistemas de inteligencia artificial (IA)³¹ como sistemas de software (y posiblemente también hardware) diseñados por humanos que, dado un objetivo complejo, actúan en la dimensión física o digital percibiendo su entorno a través de la adquisición de datos, interpretando los datos estructurados o no estructurados recopilados, razonando sobre el conocimiento o procesando la información, derivada de estos datos y decidiendo la mejor acción a tomar para lograr el objetivo dado. En IA, en lugar del término “inteligencia”, se emplea el término “racionalidad”, asociado con la capacidad de elegir la mejor acción posible para alcanzar un objetivo determinado.

La integración de estas tecnologías permite facilitar una producción industrial de mayor valor agregado, altamente flexible y capaz de la individualización de los productos. La seguridad informática y las normativas para el intercambio de datos resultan un gran desafío aun por resolver.

²⁹ Leonelli, Sabina, “Scientific Research and Big Data”, The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Summer 2020 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <https://plato.stanford.edu/archives/sum2020/entries/science-big-data/> .

³⁰ David J.C. MacKay, “Information Theory, Inference, and Learning Algorithms”, Cambridge University Press 2003.

³¹ “A definition of AI: Main capabilities and scientific disciplines”, High-Level Expert Group on Artificial Intelligence, European Commission, B-1049 Brussels, Document made public on 8 April 2019.

En 2013, acatech³² presentó la iniciativa estratégica *Plattform Industrie 4.0*³³, con un diagnóstico de la industria alemana, y recomendaciones para que el gobierno alemán considerara a esta iniciativa como política de Estado, con el objeto de dar forma a la cuarta revolución industrial. Así surgieron las Smart Factory, donde los sistemas físicos cibernéticos, toman decisiones autónomas mediante el aprendizaje de las máquinas y el análisis de datos (Big Data).

Otros países también elaboraron planes para aprovechar las nuevas tecnologías para beneficio de la sociedad a la que pertenecen. Por ejemplo, China apostó en 2015 al Plan *Made in China 2025*, y recién estima alcanzar a Japón, Alemania y Estados Unidos en el 2049.

En Japón y Suecia reconocieron, a comienzo de los 90' que a pesar de la creciente automatización y robotización de la manufactura el concepto de FCIMS (Flexible Computer- Integrated Manufacturing Structure) debía estar orientado hacia el ser humano (Human-oriented FCIS), resultando parte de una idea aún más amplia denominada HIBM (Human-Intelligence-Based Manufacturing)³⁴.

A fines del siglo XX, aparece en la sociedad una creciente conciencia respecto de los riesgos manufacturados, y de las limitaciones para lograr un desarrollo integral sostenible, que incluya las dimensiones social, ambiental y ética. El “progreso” no resulta capaz de solucionar algunos de los problemas que origina. El proceso de la Revolución Industrial produjo un aumento sostenido de la renta per cápita y calidad de vida junto con un aumento de la desigualdad del ingreso³⁵.

Se percibe que la IA y el Big Data se están transformando en un artefacto ingobernable para el público general, y que contribuye a gobernar a los individuos. Tal como expresa Eric Sadin³⁶ “el individuo singular y libre plenamente consciente y responsable de sus actos es inducido por las herramientas de IA a que transfiera su responsabilidad humana a la inteligencia “fiable” de las máquinas”.

32 acatech – NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE AND ENGINEERING (Germany) The Academy's Members are prominent scientists from the fields of engineering, the natural sciences and medicine, as well as the humanities and social sciences.

33 “Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0”, Final report of the Industrie 4.0 Working Group, 2013 Hannover Messe.

34 M.J. Kolar, “Culture and Success in Manufacturing”, Human-Intelligence-Based Manufacturing, London, Ed. Yoshimi Ito, Springer-Verlag, 1993, p.171.

35 Robert E. Lucas, Jr., “The Industrial Revolution: Past and Future”. The University of Chicago, September, 1996

36 Sadin, Eric, “La Silicolonización del Mundo: la irresistible expansión del liberalismo digital”, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Caja Negra Editora, 2018.

En la evolución de los seres vivos resultan esenciales tanto la selección natural, como la comunicación, interacción, cooperación y simbiosis³⁷. La humanidad esta reforzada tecnológicamente y se encuentra interconectada de manera global. La humanidad y sus máquinas no son algo extraño a la evolución, son extensiones a nuestras capacidades, producto de nuestra evolución como seres vivos. Más que tener temor a la “máquinas” deberíamos conocerlas, aprovechar sus capacidades, y procurar mantener el control.

Considerando la aceleración del cambio tecnológico podemos pensar que las tecnologías inteligentes, que hoy nos desvelan por sus tremendos éxitos y por las amenazas que representan, serán reemplazadas en un mediano plazo. Las computadoras y la IA cuánticas, potenciadas entre sí, tendrán en ¿2030? un impredecible impacto sobre las ciencias, los negocios y sobre toda la sociedad. Puede ser el comienzo del fin de la era del silicio y de la digitalización tal como la conocemos hoy.

Conclusiones

La etapa actual del proceso de transformaciones socioeconómicas iniciado en 1750, aún se sigue asociando con la industria (Industria 4.0), aunque el elemento más importante actualmente es la información. Estamos dentro de la revolución de la información, o de la sociedad de la información.

A pesar de que los logros alcanzados brindan grandes beneficios para la sociedad actual, seguimos sin resolver muchas de las evidentes contradicciones y amenazas que han acompañado el proceso de la revolución industrial desde sus inicios, y que hoy se han profundizado de la mano del Big Data y la IA.

Es hora de impulsar un cambio de rumbo, promoviendo una nueva sociedad, centrada en el ser humano, que equilibre el avance económico con la resolución de problemas sociales por medio de un sistema que integre altamente el ciberespacio y el espacio físico. Con lineamientos similares a los propuestos por Japón en 2015, en el proyecto Sociedad 5.0³⁸, aunque adaptados a la cultura de nuestra sociedad.

37 Lynn Margulis, Discurso para su investidura como doctora honoris causa, Claustro de la Universidad Autónoma de Barcelona, Servicio de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra (Barcelona), 6 junio 2007.

38 5º Plan Básico de Ciencia y Tecnología (December 18, 2015) https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5_0/index.html

Se debe establecer una visión compartida por la sociedad que integre valores éticos y morales, con el mundo de la ciencia y técnica y de las empresas. En nuestro país es necesario implementar políticas de desarrollo integral³⁹ capaces de crear empleos, asegurar la salud y la seguridad, hacer las vidas más prósperas y contribuir al desarrollo global.

LAS TECNOLOGÍAS INTELIGENTES: MÚLTIPLES ASPECTOS DE SU IMPACTO

NATASCIA ARCIFA

Armas inteligentes ¿limitación y control?

En el nuevo milenio, la IA y el aprendizaje automático se utilizan en muchos ámbitos mediante servicios capaces de controlar las cosas y las personas, produciendo efectos en el conjunto de la sociedad.

En particular, en el mundo de la robótica militar el uso de la IA ha empujado, en muchos países⁴⁰, a implantar un nuevo sistema de armas, programando máquinas que pueden identificar y alcanzar objetivos por sí solas, sin ninguna intervención humana directa, porque se ha consolidado la idea que las máquinas, eliminando los errores, pueden actuar mejor que los hombres.

Las leyes internacionales no son plenamente capaces de proteger los derechos humanos y la mayor crítica es la moralidad de la acción llevada a cabo por el arma autónoma.

Muchos expertos se preguntan: ¿Deben limitarse y controlarse las armas autónomas letales? Para comenzar el análisis es necesario establecer algunas precisiones.

39 El desarrollo integral está destinado a satisfacer las necesidades humanas, tanto materiales como espirituales; con especial atención a las necesidades no satisfechas de las mayorías poblacionales con bajos ingresos, consiste en una serie de políticas que trabajan conjuntamente para fomentar el desarrollo sostenible del país.

40 Adrian Willings, Ed, 61 armas interesantes e increíblemente futuristas y vehículos de combate modernos, Junio 2021: <https://www.pocket-lint.com/es-es/gadgets/noticias/142272-28-increibles-armas-futuristas-que-muestran-el-poderio-militar-moderno>

¿Qué son los sistemas de armas autónomas letales?

Los sistemas de armas autónomas letales (LAWS) son aquellas armas que utilizan IA para identificar, seleccionar y matar objetivos humanos sin control humano directo, a través de algoritmos⁴¹.

A lo largo de los años, la comunidad internacional ha apoyado el debate⁴² sobre la correcta calificación de las armas autónomas, sin que por ello se encuentre una definición común. Sin embargo, se han seleccionado los siguientes elementos para definir un arma como autónoma: a) la autonomía con respecto al control humano; b) la selección; c) el ataque a un objetivo que se produce sin ninguna aportación y d) la intervención humana directa no necesaria o ausente. Estos elementos se prestan a diferentes interpretaciones y a las consiguientes definiciones.

Según el Foro Económico Mundial, la mayoría de los Estados están promoviendo la investigación para desarrollar y probar armas autónomas letales (como por ejemplo Inglaterra, China, Estados Unidos, Israel, Rusia y Corea del Sur⁴³); los Estados, a partir de 2013, debatieron públicamente sobre Derechos Humanos celebrado en la Convención sobre Ciertas Armas Convencionales (CCW). Además, teniendo siempre presente el objetivo de evitar que los civiles se vean sometidos a situaciones peligrosas y evitar posibles efectos desestabilizadores, las Naciones Unidas con motivo de la CCW 2016 identificó un grupo de expertos gubernamentales para actuar mejor en la gestión de sistemas de armas autónomas letales⁴⁴.

41 El Comité Internacional de la Cruz Roja (CICR) ha dado una definición de arma autónoma: "Cualquier sistema de armas con autonomía en sus funciones críticas. Es decir, un sistema de armas que puede seleccionar (detectar, identificar, rastrear) y atacar (usar la fuerza contra, dañar) o destruir objetivos sin intervención humana".

42 P. Scharre y M.C. Horowitz, An introduction to Autonomy in Weapon Systems, Documento de trabajo, Centro para una nueva seguridad americana, 2015

43 Para más información, visite <<https://www.weforum.org/reports/>>.

44 La documentación relativa a las reuniones informales y a los trabajos del Grupo de expertos gubernamentales puede ser consultado: <<https://www.unog.ch>>

Las reuniones en del 2021: CCW Group of Governmental Experts on lethal autonomous weapon systems <<https://meetings.unoda.org/meeting/ccw-gge-2021/>>

28 Junio - 5 Julio 2021 (un intercambio informal convocado en línea); 3 Agosto - 13 Agosto 2021 (reunión en persona en Ginebra) <<https://indico.un.org/event/35882/>>; 27 Septiembre - 1 Octubre 2021.

¿Por qué son problemáticos?

Muchos expertos consideran el uso de los sistemas de armas autónomas letales como intrínsecamente amorales y un riesgo para la seguridad nacional y mundial. En efecto, el Secretario General de las Naciones Unidas ha declarado que “las máquinas con el poder y la discreción de quitar vidas sin la participación humana son políticamente inaceptables, moralmente repugnantes y deberían estar prohibidas por el derecho internacional”⁴⁵.

Ante la evolución de las LAWS, la idea de guerra de nuestra sociedad se modificará, con el riesgo de que pueda considerarse moralmente aceptable. Por lo tanto, los Estados podrían, en la conducción de las hostilidades, evitar menos fácilmente un conflicto armado. De ahí la necesidad de que se empiecen a promulgar normas éticas y la importancia de preservar el libre albedrío humano en las decisiones de uso de la fuerza. Las consideraciones éticas y legales pueden requerir restricciones en la autonomía de los sistemas de armas, para mantener un control humano significativo⁴⁶.

Muchos creen que las decisiones de matar, herir y destruir no deben delegarse al aprendizaje de las máquinas y que los humanos deben estar lo suficientemente presentes en este proceso de toma de decisiones, con el fin de vincular la acción y la intención humanas a las eventuales consecuencias de un ataque. Esto es posible en presencia de la supervisión humana y la capacidad de intervenir y desactivar el sistema, así como de la necesidad de establecer requisitos técnicos de previsibilidad y fiabilidad de los algoritmos utilizados. También es necesario determinar las limitaciones operativas del uso del arma, el tipo de entorno operativo, tiempo de funcionamiento y amplitud de movimiento.

45 Ver También: Convention on Prohibitions or Restrictions on the Use of Certain Conventional Weapons Which May Be Deemed to Be Excessively Injurious or to Have Indiscriminate Effects, Report 2019 GGE on LAWS, CCW/GGE.1/2019/3

46 Naciones Unidas, Informe del Grupo de Expertos Gubernamentales sobre “Sistemas de armas autónomas letales” (LAWS), CCW/GGE.1/2017/CRP.1, 20 de noviembre de 2017, p.7: “La importancia de considerar los LAWS (sistemas de armas autónomas letales) en relación con la participación humana y se subrayó la interfaz hombre-máquina.

Qué se puede hacer: una perspectiva jurídica

La comunidad internacional tiene una oportunidad histórica para reflexionar sobre las ventajas y los aspectos negativos de los nuevos tipos de armas, identificando pautas para su uso. Basado en las directrices para la aceptabilidad ético-jurídica de las armas autónomas, se está construyendo el marco normativo gracias al debate que se está llevando a cabo en Ginebra en el marco de la Convención sobre Armas Convencionales⁴⁷.

Durante la Conferencia de Expertos Gubernamentales celebrada en la CCW 2019⁴⁸, los expertos exploraron los posibles retos tecnológicos emergentes en el ámbito de las LAWS en materia de derecho internacional humanitario, con el fin de promover un entendimiento común de los conceptos, permitiendo así un equilibrio entre las necesidades humanitarias y militares y someter el desarrollo de las armas al derecho internacional humanitario. Se evitaría así los efectos traumáticos excesivos e indiscriminados sobre la población civil.

En particular, hay dos elementos clave centrales para la regulación global de armas autónomas letales, la obligación positiva del control humano y las prohibiciones sobre sistemas fuera del alcance del control humano.

Recientemente, el Parlamento Europeo redactó una especie de hoja de ruta⁴⁹ sobre los objetivos que los usuarios de armas robóticas en entornos militares deben seguir y ha creado un grupo de expertos de alto nivel con la tarea de definir las directrices de la disciplina de los sistemas de inteligencia artificial.

47 Informe de la sesión del Grupo de Expertos Gubernamentales en Tecnologías Emergentes en el Área de Sistemas de armas autónomas letales, 2018 (UN Doc. CCW/GGE.1/2018/3).

48 Convention on Prohibitions or Restrictions on the Use of Certain Conventional Weapons Which May Be Deemed to Be Excessively Injurious or to Have Indiscriminate Effects, Report 2019 GGE on LAWS, CCW/GGE.1/2019/3

49 En Mayo 2020 - hoja de ruta (2007-2032): 1) los objetivos que se han marcado los fabricantes y usuarios de armas robóticas en entornos militares son coalición no tripulada; 2) Lograr una mayor interoperabilidad entre los controles de los sistemas, las comunicaciones, los productos de datos y los enlaces de los sistemas no tripulados; 3) Aumentar la seguridad con mejoras en el control al dine operan fácilmente en todos los tipos de robots; prevenir interceptación, interferencia y secuestro; 4) promover el desarrollo de políticas, normas y procedimientos que permitan un funcionamiento oportuno y una integración eficaz de los sistemas; 5) apoyar la integración de las capacidades de combate validadas en los sistemas desplegados/distribuidos mediante un proceso de creación de prototipos, pruebas y apoyo logístico...

Además, el CICR⁵⁰ ha recomendado adoptar nuevas normas jurídicamente vinculantes para regular los sistemas de armas autónomos a fin de garantizar que se mantenga el suficiente control y juicio humanos en el uso de la fuerza. Estas propuestas reflejan puntos de vista ampliamente compartidos: un reconocimiento de la necesidad de garantizar el control y el juicio humanos en el uso de la fuerza; un reconocimiento de que asegurar tal control y juicio requiere límites efectivos en el diseño y uso de sistemas de armas autónomos; y una confianza cada vez mayor en que esos límites pueden articularse a nivel internacional.

LAS TECNOLOGÍAS INTELIGENTES: MÚLTIPLES ASPECTOS DE SU IMPACTO

JUAN CARLOS FERRERI

Consideraciones finales

Se han ofrecido diferentes visiones de varios aspectos del impacto de las Tecnologías Inteligentes sobre la actividad humana y como preservar la esencia de los derechos de las personas y favorecer la salud pública. Las cuestiones relativas a: i) los neuro-derechos; ii) la responsabilidad civil de los robots que no es atribuible a las máquinas; iii) la regulación del uso de las armas letales autónomas; iv) los efectos sociales del reemplazo de las personas por los robots; v) la eventual aceptación de formas de guerra novedosas y otros aspectos que no han sido considerados aquí, están en pleno desarrollo en la actualidad. La confusión habitual de inteligencia con consciencia habilita, lamentablemente, a que sea posible avanzar soslayando los aspectos esenciales de la vida humana. Es imprevisible todavía cuando será evidente que una máquina inteligente ha adquirido un grado elemental de consciencia y si se logrará algún día, generándose así la posibilidad de justificación de acciones carentes de moralidad. Notemos que la guerra, en esencia inmoral, es hoy aceptada

50 El CICR entiende que estas prohibiciones y restricciones propuestas están en consonancia con la práctica militar actual en el uso de sistemas de armas autónomos. Declaración del Comité Internacional de la Cruz Roja emitida en la Convención sobre ciertas armas convencionales (CAC) ante el Grupo de expertos gubernamentales sobre sistemas de armas autónomas letales - 3 a 13 de agosto de 2021, Ginebra <<https://www.icrc.org/en/document/autonomous-weapons-icrc-recommends-new-rules>>

y, si es escasa en costo de vidas para los atacantes, podría tener justificación en una nueva Ética de los victoriosos, sobre todo porque serán las naciones dominantes de la tecnología. Esa Ética, ¿será utilitaria? y, si lo es, ¿que significará? Será, por ejemplo, para la guerra limitada: ¿maximizar el número de muertos enemigos? ¿no tomar prisioneros? ¿cuál será la opción en esa perspectiva entre matar un combatiente aislado y escondido o muchos disimulados en una escuela?

Es posible que la IA sea regulada. Iniciativas no faltan a nivel global. Sin embargo, las aplicaciones al reconocimiento facial para el control de etnias, las muertes selectivas vigentes desde hace tiempo y la guerra con drones ya inaugurada hacen difícil una rápida acción global que vaya más allá de las declaraciones formales y la declamación.

Aplicación del Aprendizaje Automático (Machine Learning) a la ecología y otras ciencias ambientales

Marcelo R. Cabido

“Las máquinas tendrán sentimientos, se enamorarán”

Geoffrey Hinton¹

Introducción

La ecología y otras ciencias ambientales requieren aproximaciones integradas para entender y predecir problemas como los cambios en el clima y en el uso de la tierra, la crisis de la biodiversidad, la seguridad alimentaria, la contaminación del suelo y los mares, las invasiones biológicas y otros problemas relacionados con el ambiente (Bullock *et al.*, 2017; Díaz *et al.*, 2019). Para enfrentar esos desafíos, es cada vez más necesario recurrir a grandes bases de datos, muchas veces obtenidos de manera no convencional como, por ejemplo, a través de *ciudadanos científicos* o de colecciones de datos automatizadas (Isaac *et al.*, 2014; Kim y Park, 2009). Desarrollos recientes en la tecnología de la información han ampliado la capacidad de análisis y modelado, permitiendo a los científicos maximizar la utilidad de esas grandes bases de datos (*big data*) (Cortés, 2000; Lokers *et al.*, 2016).

Un conjunto de herramientas que aparece como prometedor para enfrentar esos desafíos ambientales, es el que ofrece la Inteligencia Artificial (IA). Se trata de un marco interdisciplinario que promueve el uso de la tecnología computacional avanzada con el propósito de revelar y predecir patrones y procesos en diferentes niveles de complejidad de los ecosistemas (Recknagel, 2001). La IA está adquiriendo una importancia creciente en las ciencias, los negocios y en la vida corriente de individuos y sociedades (Rupesh y Choudaiah, 2019; Zheng *et al.*, 2021). En el

ámbito de la ciencia, la IA tiene un impacto significativo en un amplio espectro de disciplinas como la ecología (Acevedo *et al.*, 2009; Bell, 1999; Chon *et al.*, 1996; Guisan *et al.*, 2013), la geología (Bewley, *et al.*, 2015; Wang y Morra, 2020), la hidrobiología (Dedecker *et al.*, 2004; Park *et al.*, 2003; Zhang y Stanley, 1997), las ciencias planetarias (Yang *et al.*, 2003) y áreas relacionadas, como así también en otras ramas de las ciencias de la vida y biomédicas (Karrar y Sun, 2018).

La IA puede definirse como la disciplina científica relacionada con la automatización de actividades que asociamos al pensamiento humano (Russell *et al.*, 2010). Para muchos autores representa el estudio de artefactos y sistemas computacionales que pueden ser inducidos a actuar de una manera tal que nos inclinaríamos a llamar inteligente (Karrar y Sun, 2018). El término IA fue acuñado hacia 1956 (Fielding, 1999) y desde entonces ha evolucionado como parte de las ciencias de la computación, pasando por períodos de popularidad variable (Zheng *et al.* 2021). Esta evolución ha estado relacionada a la capacidad de procesamiento de datos por parte de la computación y a la facilidad de acceso a los principales algoritmos utilizados en la actualidad (Fielding, 1999; Grant *et al.*, 2018). Una de las sub-disciplinas más difundidas de la IA es el Aprendizaje Automático (AA) (en inglés, *Machine Learning*), que se refiere a un conjunto de técnicas involucradas en el manejo de bases de datos grandes y complejas a través de algoritmos que “aprenden” sin un conocimiento explícito previo (Grant *et al.*, 2018). Una premisa básica del AA es que una máquina (por ej., un algoritmo o un modelo), sea capaz de hacer nuevas predicciones basadas en datos (Thessen, 2016). El AA es un área de la IA con rápido crecimiento y se relaciona a la identificación de estructuras complejas, frecuentemente de datos no lineales, y a la generación de modelos predictivos (Olden *et al.*, 2008).

El AA registra una larga historia, de al menos tres décadas, en las ciencias naturales (Fielding, 1999). Específicamente, en ecología y ciencias ambientales, el AA ha tenido diversas aplicaciones, que varían desde la prueba de hipótesis ecológicas, biogeográficas y evolutivas, hasta el modelado de patrones de distribución de especies y elaboración de planes de manejo y conservación de la biodiversidad. Algunos ejemplos pueden encontrarse en Ferrier y Guisan (2006), Fielding, (1999), Olden *et al.* (2008), Park y Chon (2007), Recknagel (2001), Thessen, (2016) y muchos otros autores.

En este capítulo se presenta una síntesis de algunas aplicaciones del AA en ecología y ciencias ambientales. A tal efecto, se exponen características propias de los datos ecológicos y ambientales, para luego resumir los principales métodos del AA que han sido utilizados en estas disciplinas. Finalmente, se presentan algunos ejemplos de aplicaciones de estos métodos.

¹ Reportaje de Ana Tagarro. <https://www.xlsemanal.com>, consultado el 11 de setiembre de 2021

Datos ecológicos y métodos alternativos de análisis

Los sistemas ecológicos (ecosistemas) se componen de individuos de diferentes especies que interactúan e intercambian energía de muy diversas maneras y, más aún, se relacionan con el medio físico a diferentes escalas espaciales y temporales. Se trata de sistemas complejos, con numerosos componentes interactuando, de manera tal que el comportamiento colectivo es muy difícil de predecir; al mismo tiempo, surgen propiedades emergentes que dan origen a patrones, algunos aparentemente simples, aunque rara vez lineales (Mitchell, 2009). Por lo tanto, la ecología está dominada por resultados idiosincráticos, y la mayoría de los procesos ecológicos dependen de la escala a la cual se analizan (Cardoso *et al.*, 2020). Todo esto dificulta la identificación de patrones recurrentes, con el agregado de que no siempre un proceso es identificado a través de un patrón (Lawton, 1996; Passy, 2012).

En ese contexto, se estudian esas complejas interacciones entre sistemas bióticos y abióticos con el propósito de entenderlos, predecir su funcionamiento (Anand *et al.*, 2010; Cardoso *et al.* 2020) y tomar decisiones de manejo. Para que esas decisiones estén basadas en planes de desarrollo sustentable, es necesario contar con información eco-ambiental. Esta información básica incluye la diversidad, abundancia y distribución de la biota, como así también información de calidad sobre el medio físico. Además, se requiere que esa información esté ligada a un contexto geográfico, preferentemente en la forma de mapas. Los avances en la tecnología de Sistemas de Información Geográfica (SIG), la digitalización, la disponibilidad de datos en línea, el legado de registros históricos, los sensores remotos, la recolección de observaciones sobre la distribución de especies animales y vegetales, etc., han dado origen a bases de datos enormes y complejas (*big data*). Esto ha sido descrito por Han y Kamber (2001) como una situación de “datos ricos pero información pobre”. La principal razón por la cual la minería de datos (*data mining*) ha atraído la atención en los últimos años, es debido a la amplia disponibilidad de enorme cantidad de datos y la inminente necesidad de convertirlos en información y conocimiento útiles (Han y Kamber, 2001). Como resultado de esta profusión de datos, los ecólogos tienen la oportunidad de acudir a técnicas de AA para modelar las complejas relaciones inherentes a esas bases. Sin embargo, estas bases frecuentemente son caóticas y de difícil interpretación.

Con el desarrollo de la tecnología de la computación y de la información, la minería de datos es ahora más popular, debido principalmente a su capacidad para predecir información desconocida utilizando datos de entrenamiento de información previamente conocida de un sistema de interés (Han y Kamber, 2001). La

minería de datos implica un proceso de búsqueda y extracción de información útil, patrones y tendencias previamente desconocidos, a partir de grandes cantidades de datos existentes (Lek y Guégan, 1999). En el abordaje a través de la minería de datos, las técnicas de AA (redes neuronales artificiales, árboles de decisión, algoritmos genéticos, máquinas de vectores de soporte, etc.), facilitan el razonamiento ecológico y ambiental. El impacto inmediato de la tecnología de AA se observa en la forma en que los investigadores organizan, desarrollan e implementan los modelos (Rykiel, 1989)

Por todo lo expuesto en los párrafos precedentes, analizar y modelar los sistemas ecológicos rara vez es simple y directo. Muchos de los datos recolectados por los ecólogos exhiben una serie de problemas: no-linealidad, muchos ceros (por ej., en matrices de abundancias de especies), multi-colinealidad, falta de independencia de las observaciones (por ej., pseudo-replicación, autocorrelación espacial y temporal), incluyendo distribuciones de frecuencia inusuales (por ej., multimodales) (Kent, 2012; Legendre y Legendre, 1998). La aproximación tradicional de los ecólogos a la hora de analizar este tipo de datos ha sido ignorar los problemas señalados y descansar en la robustez de los métodos estadísticos, a pesar de las violaciones a los supuestos subyacentes (Fielding, 1999). El tamaño de las bases de datos ecológicos suele ser un problema adicional. Como se expresó anteriormente, estas bases se están expandiendo continuamente como consecuencia del aporte de nuevos datos sobre monitoreo y distribución de especies, como así también de datos registrados a través de sensores remotos.

Los análisis exploratorios más utilizados hasta hace poco tiempo (por ej., Análisis de Componentes Principales, Análisis Discriminante, Análisis de Correspondencias, Análisis Canónico de Correspondencias, etc.), y las técnicas de modelado estadístico (por ej., regresiones lineales y no lineales), son a veces insuficientes para reflejar la complejidad de los patrones y procesos ecológicos, y muchas veces no alcanzan a establecer relaciones significativas en los datos. De acuerdo con Chatfield (1995), si se aceptan las restricciones impuestas por una buena parte de los datos ecológicos, es posible que deban considerarse nuevas aproximaciones para su análisis. Un enfoque alternativo es el que ofrece la IA a través de las técnicas incluidas en el AA. Básicamente, el AA trata de extraer información y conocimiento de bases de datos caóticas y complejas (Humphries, 2018), y es difícil pensar en una disciplina con bases de datos más complejas que las que estamos discutiendo. Mientras los métodos tradicionales de análisis de datos y los experimentos de laboratorio y de campo serán siempre esenciales, es necesario explorar nuevas herramientas que permitan interpretar la avalancha de datos ambientales que provie-

nen de satélites, drones, trampas cámara, aparatos de monitoreo acústico, animales marcados, relevamientos de vegetación y muchas otras técnicas. Los métodos basados en el AA ofrecen algunas ventajas en el estudio de estos sistemas, ya que tienen la habilidad necesaria para modelar datos no-lineales y multidimensionales con interacciones complejas (Knudby *et al.*, 2010) y son capaces de inferir datos faltantes (Thessen, 2016). Algunos estudios comparativos han demostrado que las técnicas de AA pueden superar a los métodos tradicionales en una amplia variedad de problemas en ecología y ciencias ambientales. Por lo tanto, la adopción de métodos de AA en esas disciplinas tiene el potencial de acelerar el ritmo de avance y la calidad de la ciencia (Bhattacharya, 2013; Zhao *et al.*, 2011). Sin embargo, la división exacta entre las técnicas de AA y las de los métodos estadísticos tradicionales no siempre es clara y las primeras no necesariamente son más apropiadas que la estadística tradicional (Thessen, 2016). El método a utilizar debe, en última instancia, ser seleccionado dependiendo del problema a resolver. En la próxima sección se presenta una descripción sintética de las técnicas del AA más frecuentemente utilizadas en ecología y ciencias ambientales.

Algoritmos del Aprendizaje Automático más usados en ecología y ciencias ambientales

El término AA se refiere a tópicos que abordan la creación y evaluación de algoritmos que facilitan el reconocimiento, la clasificación y la predicción de patrones, siempre basados en modelos derivados de bases de datos existentes (Bhattacharya, 2013; Tarca *et al.*, 2007). Como se expresó anteriormente, una condición básica del AA es que un algoritmo o modelo tenga la capacidad de realizar predicciones basadas en datos complejos. El primer paso al aplicar el AA es “enseñar” al algoritmo a utilizar un conjunto de datos de entrenamiento. Ese conjunto de datos es una colección de variables independientes con las correspondientes variables dependientes (Thessen, 2016). El algoritmo utiliza los datos de entrenamiento para “aprender” cómo las variables independientes (*input*) se relacionan con la variable dependiente (*output*). Luego, cuando el algoritmo es aplicado a nuevos datos, puede hacer uso de la relación detectada anteriormente y devolver una predicción. Después de que el algoritmo es “entrenado”, necesita ser probado para obtener una medida de qué tan bien puede hacer predicciones a partir de nuevos datos. Esto requiere otro conjunto de datos de variables independientes y dependientes, pero las variables dependientes no son provistas al algoritmo (Kotsiantis *et al.*, 2006). Gracias a su

versatilidad, el AA se ha aplicado a un amplio rango de problemas en las ciencias biológicas con la pretensión de responder a preguntas significativas. Puede abordar un amplio rango de tareas, incluyendo: la clasificación de observaciones en conjuntos de datos predefinidos (Kabra *et al.*, 2013), la clasificación de datos en grupos que comparten propiedades y procesos subyacentes (Zhang *et al.*, 2015), relacionar un patrón de interés con múltiples factores e interpretar la contribución de esos factores (Chesler *et al.*, 2002), etc. Algunos algoritmos del AA son no-supervisados, es decir que pueden hacer predicciones sin contar con datos *a priori*. En el proceso de aprendizaje no-supervisado, el algoritmo “aprende” a detectar patrones a partir de los datos de entrada. En este sentido, no hay una salida definida con anterioridad, sino tan solo variables de entrada para las cuales el algoritmo determina las relaciones entre ellas (Mjolsness y DeCoste, 2001). En este caso, el objetivo es explorar los datos y descubrir similitudes entre los objetos; esas similitudes son utilizadas para definir grupos de objetos denominados *clusters*. Un ejemplo de algoritmo no-supervisado es el análisis de agrupamientos (*cluster analysis*), que consiste en el agrupamiento de variables basado en la proximidad de una a otra, y que define el número y composición de los grupos dentro del conjunto de los datos (Mouchet *et al.*, 2014). Otros algoritmos son supervisados, lo cual implica que se cuenta con datos *a priori* y luego se hacen predicciones sobre datos nuevos basados en los previos (Thessen, 2016). En este caso el usuario especifica qué variables son dependientes de otras, lo que algunas veces puede implicar causalidad (Hastie *et al.*, 2009). Un ejemplo de AA supervisado, familiar para los ecólogos, es el uso de un modelo lineal generalizado a través del cual el usuario provee una selección de variables de entradas (*input*) para predecir los valores de una salida (*output*) y el modelo lineal generalizado “aprende” a reproducir esa relación. El aprendizaje debe estar afinado a través de un proceso, como es el caso, por ej., de una regresión a pasos o escalonada (*step-wise regression*), en la cual un algoritmo selecciona el modelo más parsimonioso de ajuste (Yamashita *et al.* 2007). También existen algoritmos que resultan de una combinación entre los supervisados y los no-supervisados (Weston *et al.*, 2005; Willcock *et al.*, 2018).

Dentro de las categorías de aprendizaje supervisado y no supervisado del AA existen fácilmente más de 100 algoritmos (Fernández-Delgado *et al.*, 2014). Algunas de estas técnicas han sido promocionadas en ecología como alternativas poderosas frente a los métodos tradicionales (Olden *et al.* 2008). En general, estas técnicas incluyen aproximaciones de aprendizaje supervisado que intentan modelar las interrelaciones entre unas entradas y salidas conocidas, y pueden mencionarse las siguientes: redes neuronales artificiales (*artificial neural networks*) (Lek *et al.*, 1996),

autómatas celulares (*cellular automata*) (Hogeweg, 1988), árboles de clasificación y regresión (*classification and regression trees*) (De'ath y Fabricius, 1992), lógica difusa (*fuzzy logic*) (Salski y Sperlbaum, 1991), algoritmos genéticos (*genetic algorithms*), (Stockwell y Noble, 1992), entropía máxima (*maximum entropy*, MAXEN) (Phillips *et al.*, 2006), máquinas de vectores de soporte (*support vector machines*) (Drake *et al.*, 2006), y análisis de ondas (*wavelets analysis*) (Cho y Chon, 2006). También los algoritmos de aprendizaje no-supervisado han sido utilizados para revelar patrones a partir de datos ecológicos, incluyendo redes neuronales de Hopfield (*Hopfield neural networks*) (Hopfield, 1982) y mapas auto-organizados (*self-organizing maps*) (Kohonen, 2001), ambos autores citados por Olden *et al.* (2008). Fielding (1999), Tarca *et al.* (2007), Thessen (2016) y Willcock *et al.* (2018), entre otros autores, presentan descripciones de algoritmos del AA empleados en ecología y otras ciencias ambientales. Algunos de estos se describen seguidamente.

Métodos basados en árboles

Estos métodos incluyen los árboles de decisión, clasificación y regresión (Kampichler *et al.*, 2010) y se conocen genéricamente como CARTs (por su denominación en inglés, *Classification and Regression Trees*). Constituyen la base de otros métodos como árboles de regresión potenciados (*boosted regression trees*) y bosques aleatorios (*random forests*). Desde su origen (Morgan y Sonquist, 1963), los árboles de decisión han sido ampliamente utilizados en distintas disciplinas como la medicina, la psicología y la computación. Se trata de herramientas poderosas para analizar bases de datos ecológicas complejas, ya que ofrecen una alternativa útil a la hora de modelar datos no lineales que incluyen variables independientes que, se sospecha, interactúan de manera jerárquica. Estos métodos son una forma de partición binaria recurrente donde los árboles de clasificación y regresión se refieren al modelado de variables de respuesta categóricas y continuas, respectivamente. El término binaria implica que cada grupo de observaciones, representado por un nodo en un árbol de decisión, es dividido en dos nodos hijos (*child nodes sensu* Olden *et al.*, 2008), proceso a través del cual el nodo original se convierte en nodo progenitor. El término recurrente se refiere a que la partición puede aplicarse repetidamente; por lo tanto, cada nodo progenitor puede dar origen a dos nodos hijos que, a su vez, pueden dividirse, formando nodos hijos adicionales. El término partición significa que la base de datos es partida en secciones. Las reglas utilizadas para dividir el árbol son identificadas a través de un algoritmo de búsqueda exhaustivo (Thessen, 2016). El proceso de partición continúa hasta algún punto en que

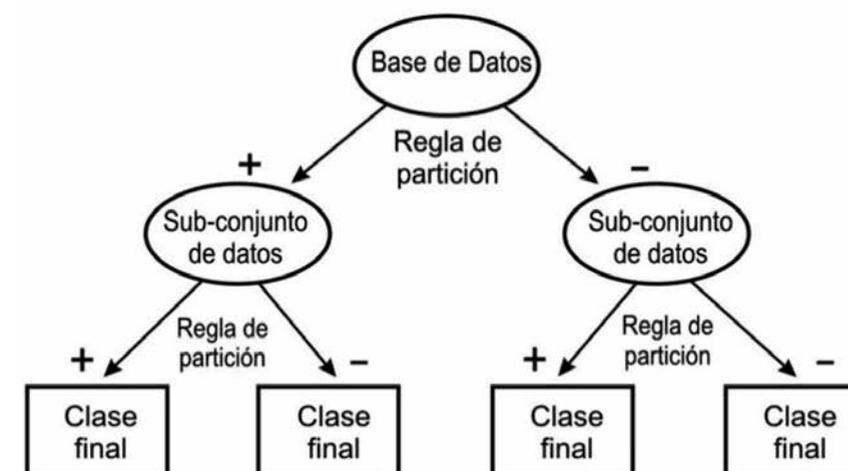


Figura 1. Esquema general de un árbol de clasificación o regresión (modificado de Olden *et al.*, 2008)

se cumple determinada condición, por ej., cuando todos los casos en una división pertenecen a un único grupo. Una vez que el árbol ha sido construido, puede utilizarse para asignar nuevos casos a una clase. En la Fig. 1 se presenta un esquema general de la estructura de los métodos basados en árboles.

Un único árbol de decisión puede dar resultados diferentes dependiendo de los datos suministrados y tiene escaso valor predictivo (Iverson *et al.* 2004). De'ath (2007) describe métodos de árboles ensamblados (*ensemble-tree methods*), que permiten incrementar el poder predictivo mediante la combinación de múltiples árboles. Entre esos métodos, el de bosque aleatorio ha tenido diversas aplicaciones en ecología. Se trata de un método relativamente nuevo, que ajusta un número de árboles seleccionados por el usuario a un conjunto de datos y luego combina las predicciones de todos los árboles (Knudby *et al.*, 2010). Este método es originado a partir de una técnica conocida como *bagging* (literalmente, empaquetado o embolsado), aplicada al CART (Beinman, 2001), y es posiblemente el algoritmo de AA más difundido en ecología. Muchos árboles, generalmente con numerosas ramas, se construyen a través de un muestreo con reposición, y el modelo final resulta de un promedio de todos los árboles. Los métodos que utilizan ensambles de árboles, especialmente el bosque aleatorio, han demostrado ser superiores a los métodos estadísticos tradicionales y a otros algoritmos del AA en algunas aplicaciones en ecología y ciencias ambientales (Kampichler *et al.* 2010; Knudby *et al.* 2010).

Redes Neuronales Artificiales

Se trata de un algoritmo del AA inspirado en la forma en que el sistema nervioso humano procesa información compleja (Olden *et al.*, 2008; Recknagel, 2001). Es la base de la mayor parte del software disponible para reconocimiento vocal y de imágenes (Humphries y Hettmann, 2018). Una red neuronal artificial consta de tres partes (capas o estratos): 1) la capa de entrada (*input layer*), 2) la capa oculta (*hidden layer*), y 3) la capa de salida (*output layer*) (Thessen, 2016). Cada capa se compone de varias

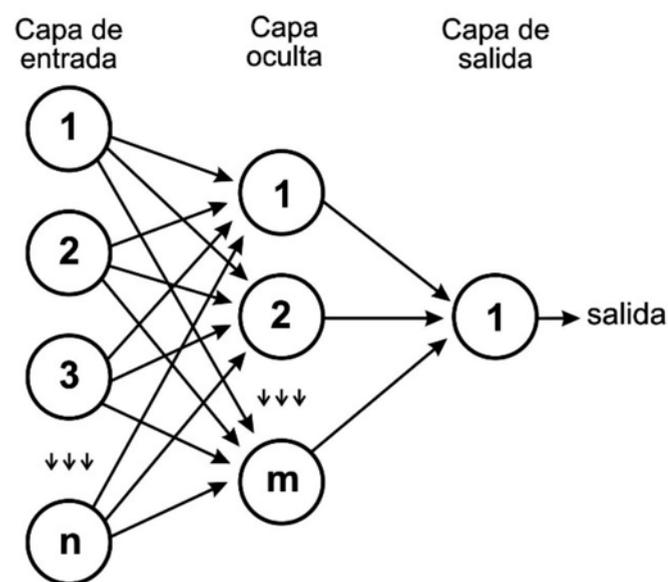


Fig. 2. Esquema de una red neuronal artificial (modificado de Thessen, 2016)

neuronas y cada neurona está conectada a todas las otras neuronas del nivel adyacente, pero no a las de su mismo nivel o a la de niveles no adyacentes (Fig. 2). La capa de entrada contiene una neurona por cada variable independiente, mientras que la capa de salida puede tener una sola neurona (para salidas binarias o continuas) o más (para salidas categóricas). El número de neuronas en la capa oculta puede ser modificado por el usuario para optimizar el compromiso entre sobreajuste y varianza (Geman *et al.*, 1992). Cada neurona tiene un nivel de actividad y cada conexión tiene un peso; el grado de actividad de las neuronas de ingreso es esta-

blecido por los valores de las variables independientes. La red neuronal artificial puede ser una poderosa herramienta para el modelado cuando las relaciones subyacentes son desconocidas y cuando los datos son imprecisos y tienen “ruido” (Lek y Guégan, 1999). La flexibilidad de esta técnica ha llevado a un uso muy difundido en muchas disciplinas como la física, la economía y la bio-medicina. En el ámbito de la ecología también se ha reconocido la utilidad de los algoritmos de redes neuronales para resolver una serie de problemas como la distribución de especies (Deneu *et al.*, 2021), la biodiversidad (Weinstein, 2018), la composición de comunidades (Watanabe *et al.*, 2018), y otros aspectos de las ciencias ambientales (Frey, 2020). Sin embargo, la interpretación de las redes neuronales artificiales puede ser difícil y más complicada aún su implementación (Kampichler *et al.* 2010; Hagan *et al.*, 2014), especialmente en comparación con los métodos basados en árboles de decisión (Olden *et al.*, 2008).

Algoritmos genéticos

Estos algoritmos derivan del proceso de evolución en sistemas naturales, donde una población de soluciones que compiten, “evolucionan” en el tiempo hasta que se alcanza una solución óptima (Haupt y Haupt, 2004; Fernández *et al.*, 2010; Humphries y Huetmann, 2018). Las soluciones son presentadas como cromosomas y los parámetros de los modelos como genes contenidos en esos cromosomas. De acuerdo a Haefner (2005), los algoritmos genéticos se desarrollan en cuatro pasos: 1) se generan posibles soluciones al azar (cromosomas), 2) esas posibles soluciones son alteradas usando mutaciones y recombinaciones, 3) las soluciones son evaluadas para determinar su ajuste y 4) las mejores soluciones son recicladas, volviendo al paso 2. Cada ciclo representa una generación. Dependiendo de la naturaleza del problema que el algoritmo genético está tratando de resolver, los cromosomas pueden ser bits, valores reales, reglas o permutaciones de elementos (Recknagel, 2001).

El uso de los algoritmos genéticos en ecología ha sido limitado, casi restringido al modelado del nicho ecológico de especies (Peterson *et al.*, 2007), pero tiene potencialidad para ser aplicado a otros problemas. Por el momento, su implementación en ecología marcha detrás de otras técnicas de AA e incluso puede ser menos eficiente que los métodos estadísticos tradicionales debido, principalmente, a su tendencia al sobre-ajuste de los datos (Olden *et al.*, 2008).

Máquinas de vectores de soportes

Consisten en un grupo de algoritmos de aprendizaje relativamente nuevos, originalmente desarrollados por Vapnik (1995, citado en Tirelli *et al.*, 2012). La esencia de este método radica en espacios/planos x-y, en los cuales los datos son separados por líneas rectas (Kotsiantis, 2006). SVM (del inglés *Support Vector Machine*) clasifica los datos (también es posible predecirlos) según en qué lado del margen se disponen y puede usar otras funciones en los casos en que los datos son caóticos (Kotsiantis, 2006; Tirelli *et al.*, 2012). Realiza esta tarea encontrando el plano que presenta el mayor espacio entre las dos clases, el Clasificador de Margen Máximo (MMC, del inglés *Maximal Margin Classifier*), que representa el plano equidistante con respecto a los puntos de cada clase más cercanos al límite (Kampichler *et al.*, 2010; Zhao *et al.*, 2011). Cualquier nuevo punto será

clasificado dependiendo de a qué lado del límite de decisión se dispone. El MMC opera muy bien con datos que son fácilmente separados por la línea recta mencionada, pero los datos son frecuentemente “ruidosos” y no pueden ser separados por una línea recta. En estos casos, un Clasificador de Vector de Soporte puede usarse para crear una “zona buffer” alrededor del dificultoso límite (Thessen, 2016), (Fig. 3).

Este método no ha sido muy utilizado en ecología (Humphries y Huettmann, 2018), y la mayor parte de sus aplicaciones son recientes

(Favaro *et al.*, 2011), especialmente en clasificaciones de imágenes y sonidos (Duro *et al.*, 2012). Sin embargo, ofrece algunas ventajas como:

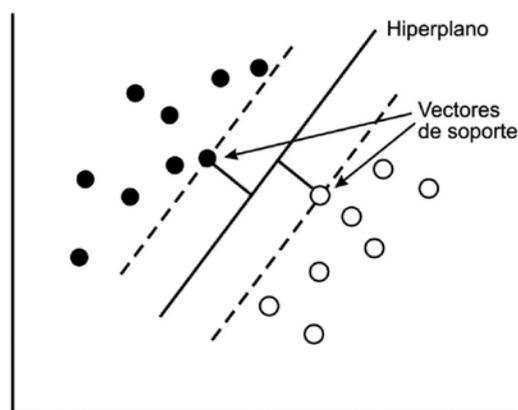


Fig. 3. Representación esquemática de máquinas de vectores de soporte cuando los datos son confusos (“fuzzy”) y se establece una zona “buffer” (modificado de Thessen, 2016).

1) produce resultados más apropiados que los mejores métodos disponibles para clasificación (Favaro *et al.*, 2011), 2) puede resolver numerosas regresiones lineales y dificultades en series de tiempo (Hoang *et al.*, 2010), y 3) requiere un mínimo de modelos de ajuste (Guo *et al.*, 2005) y un conjunto de datos de entrenamiento pequeño (Hu y Davis, 2005). Este último aspecto es particularmente importante en las aplicaciones ecológicas del método, ya que los investigadores pueden muestrear un menor número de sitios de respuesta extrema, evitando muestreos convencionales más costosos y demandantes (Sánchez-Hernández *et al.*, 2007).

Métodos Bayesianos (Clasificador Bayesiano)

Estos métodos están basados en la inferencia estadística bayesiana, que comenzó en el siglo XVIII con el desarrollo del teorema de Bayes (Laplace, 1986). Operan expresando el estado real de un sistema en términos de probabilidades y actualizando esas probabilidades a través de nuevas evidencias (Kotsiantis *et al.*, 2006). En el contexto del AA, los métodos bayesianos pueden aplicarse a la clasificación, donde la probabilidad de ser miembro de una clase es calculada para cada uno de los puntos, y cada nuevo dato es asignado a la clase con la mayor probabilidad. El enfoque bayesiano puede contribuir a varios algoritmos del AA, como así también a técnicas estadísticas tradicionales; en opinión de Thessen (2016), los Clasificadores Bayesianos se encuentran entre los más aplicados en ecología y ciencias ambientales. Un Clasificador Bayesiano calcula una densidad probabilística para cada clase; esa probabilidad es una curva que muestra, para un determinado valor de la variable independiente, la probabilidad de ser integrante de esa clase. El nuevo dato es asignado a la clase con la mayor probabilidad. Los valores de la variable independiente que tienen igual probabilidad de estar en una u otra clase se conocen como “límite de decisión” y marcan la línea divisoria de las clases. Este método puede arrojar excelentes resultados con pocos datos de entrenamiento, ya que utiliza información previa acerca de los parámetros del modelo (Kotsiantis *et al.*, 2006), y es muy útil cuando se presentan más de dos clases distintas. Sin embargo, Humphries y Huettmann (2018) advierten que un conocimiento ecológico acabado de un sistema no es siempre posible, y la elección de distribuciones previas requiere frecuentemente de la mejor conjetura (*best guess* según Humphries y Huttemann). Además, este método asume que las variables son independientes, cosa que no siempre ocurre (Lorena *et al.*, 2011).

Ejemplos de aplicaciones del Aprendizaje Automático en ecología

El AA puede abordar aspectos como la clasificación de observaciones en conjuntos predefinidos (Kabra *et al.*, 2013), el agrupamiento de datos en grupos que comparten un proceso subyacente (Zhang *et al.*, 2015), y la regresión de un patrón de interés contra múltiples factores (Chesler *et al.*, 2002). Debido a su versatilidad, los algoritmos de AA son aplicables en un amplio rango de investigaciones en ecología y ciencias ambientales, desde la identificación de especies y sus áreas de distribución, hasta estudios de calentamiento global, calidad del agua, etc.

En esta sección se presentan algunas aplicaciones del AA, basadas en un creciente cuerpo de literatura que demuestra la manera en que estos algoritmos pueden contribuir con los ecólogos y responsables del manejo del ambiente. Los casos tratados aquí no son en modo alguno exhaustivos y el lector podrá encontrar mayores detalles en los trabajos de Fielding (1999), Guisan y Thuiller (2005), Humphries *et al.* (2018), Kim y Park (2009), Olden *et al.* (2008), Thessen (2016), Tirelli *et al.* (2012), Valletta *et al.* (2017), entre otros autores.

Distribución y modelado de nicho espacial de especies

Un hecho generalizado en ecología y biogeografía es que las especies tienen límites en su distribución y que esos límites responden a múltiples factores que operan a diferentes escalas espaciales y temporales (Lomolino *et al.*, 2010). Por lo tanto, conocer los requerimientos de hábitat de una especie es fundamental para entender su ecología y manejarla según criterios de conservación de la biodiversidad o bien de su aprovechamiento sostenido. De acuerdo con Elith *et al.* (2006) y Humphries y Huettmann (2018) el AA en ecología y ciencias ambientales ha estado mayormente restringido a estudios de modelado de distribución de especies y de sus nichos espaciales (SDM, del inglés *Species Distribution Model*). Una variedad de algoritmos ha sido utilizada para establecer las características del hábitat de especies de distintos organismos y para predecir las localidades donde las especies pueden encontrarse (Guisan y Thuiller, 2005). Característicamente, un algoritmo debe ser entrenado utilizando un conjunto de datos, confrontando variables ambientales con la abundancia o presencia/ausencia de un taxón determinado. A partir de un grupo de variables ambientales de diferentes localidades podrán hacerse predicciones acerca de qué especies estarán presentes en determinado sitio. Estas técnicas han sido utilizadas para identificar hábitats apropiados para un ta-

xón específico, modelar la distribución futura de especies, inclusive la invasión de especies exóticas, como así también para predecir la diversidad de una localidad determinada (Cutler *et al.*, 2007; Kampichler *et al.*, 2000; Knudby *et al.* 2010). Las herramientas más utilizadas son los árboles de decisión (Debeljak *et al.*, 2001; Miller y Franklin, 2002, y otros), las redes neuronales artificiales (Olden *et al.*, 2008; Özesmi *et al.*, 2006; y otros), los algoritmos genéticos (Termansen *et al.*, 2006; Wiley *et al.*, 2003), las máquinas de vectores de soporte (Tirelli *et al.*, 2012) y los clasificadores bayesianos (Guisan y Zimmermann, 2000 y otros).

Identificación de especies

El AA se ha utilizado en forma creciente para el reconocimiento de especies, tanto a través de sonidos (Stowell y Plumbey, 2014), como de imágenes (Rosa *et al.*, 2016). La identificación precisa de plantas, animales y otros seres vivos, requiere de un conocimiento especializado de caracteres y atributos de los organismos y, generalmente, ese conocimiento es poseído por pocas personas; por otra parte, la base de datos de esos caracteres puede tener grandes dimensiones (por ej., colecciones de imágenes y sonidos). Por lo tanto, la disponibilidad de expertos puede resultar en un “cuello de botella” en estudios de biodiversidad en los cuales es necesaria la identificación de un número considerable de especies. Con el propósito de hacer más eficiente la tarea de identificación, los algoritmos son entrenados con imágenes, sonidos y otro tipo de datos identificados con el nombre de una especie (MacLeod, 2007). Los algoritmos así entrenados pueden entonces registrar automáticamente nuevos datos. Esta técnica ha sido muy utilizada para la identificación de organismos del plankton, arácnidos y larvas de moluscos a partir de imágenes (Goodwin *et al.*, 2014). Estos algoritmos también han mostrado eficiencia para identificar especies de anfibios, aves, murciélagos, insectos, cetáceos y hasta grandes mamíferos como elefantes, a partir de sonidos (Thessen, 2016, y varios artículos citados en este trabajo). Fielding (1999) y Reby *et al.* (1998), han reportado que incluso pueden identificarse individuos de una misma especie, aun cuando esos individuos son desconocidos *a priori*. Herramientas comunes para estos casos incluyen máquinas de vectores de soporte (Goodwin *et al.*, 2014; Rosa *et al.*, 2015), clasificadores bayesianos (Wang *et al.*, 2007), algoritmos genéticos (Jeffers, 1999), y redes neuronales artificiales (Rosas *et al.*, 2015 y muchos otros trabajos citados por Thessen, 2016)

Información satelital y sensores remotos

Durante las últimas décadas se ha producido un desarrollo continuo en el área de reconocimiento e identificación de patrones espaciales. La investigación relacionada a algoritmos para el reconocimiento de patrones ha avanzado paralelamente al desarrollo de instrumentos capaces de producir grandes volúmenes de datos, incluyendo imágenes satelitales con una resolución espacial y espectral cada vez más fina (Pal y Matter, 2003). Actualmente, los usuarios de datos obtenidos por sensores remotos disponen de algoritmos sofisticados para realizar clasificaciones de esos datos. Las imágenes satelitales y datos generados de sensores a grandes elevaciones (por ej., LIDAR), constituyen una excelente manera de obtener grandes cantidades de datos sobre la Tierra a múltiples escalas espaciales. A los efectos de ser útiles, estos datos deben pasar por, al menos, un mínimo grado de procesamiento para ser clasificados en categorías de cobertura y/o de uso del territorio. El AA ofrece métodos para automatizar ese laborioso proceso (Gislason *et al.*, 2006; Pal y Matter, 2003). Las herramientas del AA más comúnmente utilizadas para clasificar imágenes satelitales incluyen bosques aleatorios (Duro *et al.*, 2012), máquinas de vectores de soporte (Duro *et al.*, 2012; Mountrakis *et al.* 2011; Safari *et al.*, 2017), redes neuronales artificiales (Pu *et al.*, 2019; Rogan *et al.*, 2008), y algoritmos genéticos (Haupt, 2009).

Cambio climático y predicciones asociadas

El cambio climático es uno de los desafíos más grandes que enfrenta la humanidad. El cambio en el clima de origen antrópico está originando eventos extremos en distintas regiones del planeta. Como consecuencia de ello, los científicos están observando cambios en el sistema climático global, en la atmósfera, los océanos, los glaciares y en los continentes. El cambio climático es rápido y se está intensificando, con algunas tendencias ahora quizás irreversibles, de acuerdo al último reporte del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático dado a conocer recientemente (IPCC, 2021). Los cambios globales en el clima y la pérdida de biodiversidad tendrán serios impactos sobre todas las formas de vida en el planeta, con dramáticas consecuencias para la seguridad alimentaria y la provisión de bienes y servicios ecosistémicos en general (Sánchez-Pi *et al.*, 2021). A pesar de la gravedad de estos impactos, no contamos aún con datos e infraestructura suficientes para entender acabadamente y cuantificar las consecuencias de estas perturbaciones.

Comprender estos fenómenos es no sólo urgente, sino también una tarea demandante para la comunidad científica. Frente a los cambios globales que enfrenta el planeta, evaluar las respuestas del clima ante forzantes como los gases de efecto invernadero, es un objetivo central de la comunidad científica, al tiempo que el uso de un gran conjunto de simulaciones es un paso significativo para alcanzar esa meta (Boullanger *et al.* 2007; IPCC, 2021). Para mitigar los efectos de estos cambios, se requiere contar con predicciones sólidas; sin embargo, la complejidad del sistema climático, la naturaleza interdisciplinaria del problema y la estructura de los datos disponibles, dificultan el uso de modelos lineales simples (Thessen, 2016). Algunos algoritmos del AA han sido utilizados para estudiar fenómenos como EL Niño y la Oscilación del Sur (ENSO por su denominación en inglés, *El Niño Southern Oscillation*), la Oscilación de Madden-Julian (MJO, del inglés *Madden-Julian Oscillation*) y el fenómeno de los monzones en el sudeste asiático (Pasini, 2009), y para predecir el cambio climático (Casioli *et al.*, 2003; Pasini, 2009). Un uso muy frecuente del AA en climatología es la reducción y el post-procesamiento de datos de los modelos de circulación global de la atmósfera (Bock *et al.*, 2018; Pasini, 2009). El método de AA más utilizado en estudios de cambio climático es la red neuronal artificial (Pasini, 2009).

Conservación y manejo de recursos

Los métodos de AA han tenido un uso limitado en el manejo de los recursos naturales y de los sistemas socio-ecológicos; sin embargo, el uso de algoritmos de AA a esos fines puede incrementar el poder explicativo y predictivo de muchos modelos, discriminando factores importantes de otros irrelevantes (Frey, 2020). La toma de decisiones sobre conservación y manejo de recursos naturales se ve frecuentemente dificultada por la falta de datos, y la toma de malas decisiones puede arrojar resultados catastróficos. Por otra parte, con el incremento de datos ocurrido en las últimas décadas a través de diferentes medios, las técnicas tradicionales de análisis no satisfacen las demandas de los investigadores (Chen *et al.*, 2020). Los métodos de AA pueden proveer una forma de incrementar la certeza y mejorar los resultados: varios algoritmos han tenido múltiples aplicaciones a problemas hidrológicos (Fijani *et al.*, 2019; Pu *et al.*, 2019), edáficos (Liu *et al.* 2018; Tschérko *et al.*, 2007), y manejo de biodiversidad y vida silvestre (Bland *et al.*, 2014; Li, 2020, y muchos otros trabajos citados por diferentes autores). Además de aplicarse a modelos de distribución de especies, los algoritmos de AA se han utilizado para

el estudio del comportamiento animal (Valletta *et al.*, 2017) y de la dinámica de poblaciones (Recknagel *et al.* 2002), como así también para modelar la producción y biomasa en sistemas terrestres (Wu *et al.*, 2016), acuáticos (Cosgun *et al.*, 2020) y agroecosistemas (Parent *et al.* 2020). Thessen (2016) destaca algunas aplicaciones específicas del AA en el manejo y conservación de recursos: 1) inferencia del estado de conservación de especies con datos deficientes en las listas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por su sigla en inglés); 2) predicción de riesgos para agricultores; 3) predicción de la producción de biomasa de distintas poblaciones animales; 4) análisis del efecto del avance de urbanizaciones sobre poblaciones de aves; 5) predicción de riesgos de enfermedades, y 6) modelado de nichos ecológicos. Los métodos más comúnmente utilizados en estas actividades son: algoritmos genéticos (Haupt y Haupt, 2004), redes neuronales (Lee *et al.*, 2007), máquinas de soportes de vectores (Guo *et al.*, 2005), árboles de decisión y bosques aleatorios (Cutler *et al.*, 2007).

Consideraciones finales

El reciente incremento en la disponibilidad de grandes bases de datos y el desarrollo de nuevos métodos de análisis con la capacidad de manejar esas bases, están brindando la oportunidad de estudiar complejos sistemas, como son los sistemas ecológicos. El AA es una rama importante de la IA que provee ventajas significativas sobre métodos estadísticos tradicionales, especialmente cuando se dispone de bases suficientemente grandes como modelos de datos de entrenamiento. Desde hace varias décadas, el uso de algoritmos de AA ha sido creciente; actualmente son muy utilizados y sus aplicaciones están bien establecidas en ecología, como así también en otras disciplinas científicas. La creciente popularidad de estos métodos obedece, al menos en parte, a que ofrecen una alternativa atractiva para analizar y modelar datos eco-ambientales y la posibilidad de simplificar los complejos sistemas ecológicos a través de un bajo esfuerzo computacional, pero con considerable precisión.

Las técnicas de AA no son la panacea, y posiblemente nunca lo serán, para resolver cualquier problema con datos ecológico-ambientales (Fielding, 1999). Sin embargo, constituyen un conjunto alternativo de herramientas que los ecólogos y otros científicos deberían tener en cuenta. No se trata simplemente de métodos que reemplazan a los análisis tradicionales. Si bien es cierto que algunas técnicas de AA pueden ser utilizadas en lugar de aproximaciones estadísticas tradicionales, otras expanden las oportunidades de análisis y facilitan procesamientos de datos que

serían poco oportunos a través de aquellos métodos. De acuerdo con Olden *et al.* (2008), el creciente interés por estos algoritmos en ecología y ciencias ambientales durante los últimos años, es resultado directo de su habilidad para modelar relaciones complejas, no lineales, en datos ecológicos, sin la necesidad de satisfacer supuestos restrictivos requeridos por la estadística paramétrica convencional. Finalmente, y sin lugar a dudas, los algoritmos de AA pueden ayudar a los científicos a hacer un uso eficiente de lo que hoy conocemos como *big data*.

Agradecimientos. Las figuras que se incluyen en este capítulo fueron elaboradas por la Prof. D. Abal Solís. G. Bernardello aportó valiosas sugerencias que han contribuido a incrementar la calidad del texto.

Referencias bibliográficas

- Acevedo M, Corrada-Bravo, C., Corrada-Bravo, H., Villanueva-Rivera, L., Aide, T. M. (2009). Automated classification of bird and amphibian calls using machine learning: A comparison of methods. *Ecological Informatics*, 4, 206-214. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2009.06.005
- Anand, M., Gonzalez, A., Guichard, F., Kolasa, J., y Parrott, L. (2010). Ecological systems as complex systems: challenges for an emerging science. *Diversity*, 2: 395-410. Doi: 10.3390/d2030395
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45, 5-32. Doi.org/10.1023/A:1010933404324
- Bell, J. (1999). Tree-based methods. In: Fielding, A. H. (Ed.) *Machine Learning Methods for Ecological Applications*. Springer US, New York, 89-106 pp.
- Bhattacharya, M. (2013). Machine learning for bioclimatic modelling. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 4, 1-8. DOI:10.14569/IJACSA.2013.040201
- Bewley M., Friedman, A., Ferrari, R., Hill, N., Hovey, R., Barrett, N., Pizarro, O., Figueira, W., Meyer, L., Babcock, R., Bellchambers, L., Byrne, M. y Williams, S. (2015). Australian sea-floor survey data, with images and expert annotations. *Scientific Data*, 2, 150057. DOI: 10.1038/sdata.2015.57
- Bland, L. M., Collen, B., David, C., Orme, L. y Bielby, J. (2014). Predicting the Conservation Status of Data Deficient Species. *Conservation Biology*, 29, 250-259. <https://doi.org/10.1111/cobi.12372>
- Bock, A. R., Hay, L. E., McCabe, G. J. y Markstrom, S. L. (2018). Do Downscaled General Circulation Models Reliably Simulate Historical Climatic Conditions? *Earth Interactions*, Paper No. 10.
- Boulanger, J. P., Martinez, F. y Segura, E. C. (2007). Projection of future climate change conditions using IPCC simulations, neural networks and Bayesian statistics. Part 2: Precipitation mean state and seasonal cycle in South America. *Climate Dynamics*, 28, 255-271. <https://doi.org/10.1007/s00382-006-0182-0>
- Branting, K., Hastings, J. D. y Lockwood, J. A. (1997). Integrating cases and models for prediction in biological systems," *AI Applications*, 11, 29-48.
- Bullock, J. M., Dhanjal-Adams, K. L., Milne, A., Oliver, T. H., Todman, L. C., Whitmore, A. P.,

Pywell, R. F. (2017). Resilience and food security: rethinking an ecological concept. *Journal of Ecology*, 105, 880–884. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12791>

Chen, Y., Song, L., Liu, Y., y Li, D. (2020) A Review of the Artificial Neural Network Models for Water Quality Prediction. *Applied. Science*. 10, 5776. <https://doi.org/10.3390/app10175776>

Chesler, E. J., Wilson, S. G., Lariviere, W. R., Rodriguez-Zas, S. L. y Mogil, J. S. (2002). Identification and ranking of genetic and laboratory environment factors influencing a behavioral trait, thermal nociception, via computational analysis of a large data archive. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 26, 907e923. [http://dx.doi.org/10.1016/S0149-7634\(02\)00103-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0149-7634(02)00103-3)

Cho, E. y Chon T. S. (2006). Application of wavelet analysis to ecological data. *Ecological Informatics*, 1, 229–233.

Chon, T., Park, Y., Moon, K. y Cha, E. (1996) Patternizing communities by using an artificial neural network. *Ecological Modelling*, 90, 6978. DOI: 10.1016/0304-3800(95)00148-4

Cortes, U. (2000). Artificial intelligence and environmental decision support systems,” *Applied intelligence*, 13, 77-91.

Coşgun, A., Günay, M. E. y Yıldırım, R. (2020). Exploring the critical factors of algal biomass and lipid production for renewable fuel production by machine learning. *Renewable Energy*, 163, 1299-1317. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.034>

Cutler, D. R., Edwards, T., Beard, K., Cutler, A., Hess, K., Gibson, J. y Lawler, J. (2007). Random forests for classification in ecology. *Ecology*, 88, 2783-2792. DOI: 10.1890/07-539.1

De'ath, G. y Fabricius, K. E. (2000). Classification and regression trees: a powerful yet simple technique for ecological data analysis. *Ecology*, 81, 3178–3192. DOI:10.2307/177409

Debeljak, M., Džeroski, S., Jerina, K., Kobler, A., Adamič, M. (2001). Habitat suitability modelling for red deer (*Cervus elaphus* L.) in South-central Slovenia with classification trees. *Ecological Modelling*, 138, 321-330. DOI: 10.1016/S0304-3800(00)00411-7

Dedecker, A. P., Goethals, P. M., Gabriels, W., De Pauw, N. (2004). Optimization of Artificial Neural Network (ANN) model design for prediction of macroinvertebrates in the Zwalm river basin (Flanders, Belgium). *Ecological Modelling*, 174, 161-173. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2004.01.003

Deneu, B., Servajean, M., Bonnet, P., Botella, C., Munoz, F. y Joly, A. (2021). Convolutional neural networks improve species distribution modelling by capturing the spatial structure of the environment. *PLoS Computational Biology*, 17, e1008856. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1008856>

Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E., Ngo, H., Guèze, M., et al. (2019). *The global assessment report on biodiversity and ecosystem services: Summary for policy makers*. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Pp. 56.

Drake, J. M., Randin, C. y Guisan, A. (2006). Modelling ecological niches with support vector machines. *Journal of Applied Ecology*, 43, 424–432. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01141.x>

Duro, D., Franklin, S. y Dubé, M. (2012). A comparison of pixel-based and object-based image analysis with selected machine learning algorithms for the classification of agricultural landscapes using SPOT-5 HRG imagery. *Remote Sensing of Environment*, 118, 259-272. DOI: 10.1016/j.rse.2011.11.020

Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R. J., Huettmann, F., Leathwick, J. R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L. G., Loiselle, B. A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J. M. M., Peterson, A. T., Phillips, S. J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R. E., Soberón-Mainero, J., Williams, S. y Zimmermann, N. E. (2006). Novel

methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29, 129–151. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>

Favaro, L., Tirelli, T. y Pessani, D. (2011). Modelling habitat requirements of white-clawed crayfish (*Austropotamobius pallipes*) using support vector machines. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 401 (2011) 21. DOI: 10.1051/kmae/2011037

Fernández, A., García, S., Luengo, J., Bernadó-Mansilla, E. y Herrera, F. (2010). Genetics-based machine learning for rule induction: state of the art, taxonomy, and comparative study. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 14, 913–941. DOI: 10.1109/TEVC.2009.2039140

Fernandez-Delgado, M., Cernades, E., Barro, S. y Amorim, D. (2014). Do we need hundreds of classifiers to solve real world classification problems? *Journal of Machine Learning Research*, 15, 3133–3181. DOI: 10.1117/1.JRS.11.015020

Ferrier, S. y Guisan, A. (2006). Spatial modelling of biodiversity at the community level. *Journal of Applied Ecology*, 43, 393–404. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2006.01149.x

Fijani, E., Barzegar, R., Deo, R., Tziritis, E. y Konstantinos, S. (2019). Design and implementation of a hybrid model based on two-layer decomposition method coupled with extreme learning machines to support real-time environmental monitoring of water quality parameters. *Science of the Total Environment*, 648, 839–853. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.221

Frey, U. J. (2020). Putting machine learning to use in natural resource management—improving model performance. *Ecology and Society*, 25, 45. <https://doi.org/10.5751/ES-12124-250445>

Geman, S., Bienenstock, E. y Doursat, R. (1992). Neural networks and the bias/variance dilemma. *Neural Computation*, 4, 1–58. DOI: 10.1162/neco.1992.4.1.1

Goodwin, J., North, E. y Thompson, C. (2014). Evaluating and improving a semi-automated image analysis technique for identifying bivalve larvae. *Limnology and Oceanography*, 12, 548-562. DOI: 10.4319/lom.2014.12.548

Guisan, A., Tingley, R., Baumgartner, J., Naujokaitis-Lewis, I., Sutcliffe, P., Tulloch, A. T., Regan, T., Brotons, L., McDonald-Madden, E., Mantyka-Pringle, C., Martin, T., Rhodes, J., Maggini, R., Senterfield, S., Elith, J., Schwartz, M., Wintle, B., Broennimann, O., Austin, M., Ferrier, S., Kearney, M., Possingham, H. y Buckley, Y. (2013). Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecology Letters*, 16, 1424-1435. DOI: 0.1111/ele.12189

Gislason, P. O., Benediktsson, J. A. y Sveinsson, J. (2006). Random Forests for land cover classification. *Pattern Recognition Letters*, 27, 294-300. DOI: 10.1016/j.patrec.2005.08.011

Guisan, A. y Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 10, 993–1009. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x

Guisan, A. y Zimmermann, N. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135, 147-186. DOI: 10.1016/S0304-3800(00)00354-9

Guo, Q., M. Kellya, M. y C.H. Graham, C. H. (2005). Support vector machines for predicting distribution of Sudden Oak Death in California. *Ecological Modelling*, 182, 75–90. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2004.07.012

Hagan, M. T., Demuth, H. B., Beale, M. H. y Jesus, O. (2014). *Neural network design*. 2nd Edition, eBook.

Han, J. y Kamber, M. (2001). *Data mining: Concepts and techniques*. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco.

Hastie, T., Tibshirani, R. y Friedman, J. (2009). *Overview of Supervised Learning*. Springer, New

York, NY. https://doi.org/10.1007/978-0-387-84858-7_2

- Haupt, R. y Haupt, S. (2004). *Practical Genetic Algorithms*. 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc, New Jersey.
- Hoang, H., Lock, K., Mouton, A. y Goethals, P. L. M. (2010). Application of classification trees and support vector machines to model the presence of macroinvertebrates in rivers in Vietnam. *Ecological Informatics*, 5, 140–146. <http://dx.doi.org/10.1051/kmae/2011037>
- Hopfield, J. J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 79, 2554–2558. DOI: [10.1073/pnas.79.8.2554](https://doi.org/10.1073/pnas.79.8.2554)
- Hogeweg, P. (1988). Cellular automata as a paradigm for ecological modeling. *Applied Mathematics and Computation*, 27, 81–100.
- Hu, Q. y Davis, C. (2005). Automatic plankton image recognition with co-occurrence matrices and Support Vector Machine. *Marine Ecology Progress Series*, 295, 21–31. DOI: [10.3354/meps295021](https://doi.org/10.3354/meps295021)
- Humphries, G. (2018). Breaking Away from ‘Traditional’ Uses of Machine Learning: A Case Study Linking Sooty Shearwaters (*Ardenna griseus*) and Upcoming Changes in the Southern Oscillation Index. In: G. R. W. Humphries, D. R. Magness y F. Huettmann (Eds.), *Machine Learning for Ecology and Sustainable Natural Resource Management*. Pp. 263–284. Springer, Switzerland.
- Humphries, G. R. W. y Huettmann, F. (2018). Machine Learning in Wildlife Biology: Algorithms, Data Issues and Availability, Workflows, Citizen Science, Code Sharing, Metadata and a Brief Historical Perspective. In: G. R. W. Humphries, D. R. Magness y F. Huettmann (Eds.), *Machine Learning for Ecology and Sustainable Natural Resource Management*. Pp. 3–27. Springer, Switzerland.
- IPCC, 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (Eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- Isaac, N. J. B., van Strien, A. J., August, T. A., de Zeeuw, M. P. y Roy, D. B. (2014). Statistics for citizen science: extracting signals of change from noisy ecological data. *Methods in Ecology and Evolution*, 5, 1052–1060. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12254>
- Jeffers, J. (1999). Genetic Algorithms I. In: A. H. Fielding (Ed.), *Machine Learning Methods for Ecological Applications*. Pp. 107–122. Springer Netherlands, Amsterdam.
- Kabra, M., Robie, A., Rivera-Alba, M., Branson, S. y Branson, K. (2013). JAABA: Interactive machine learning for automatic annotation of animal behavior. *Nature Methods*, 10, 64e67. <http://dx.doi.org/10.1038/nmeth.2281>
- Kampichler, C., Wieland, R., Calmé, S., Weissenberger, H. y Arriaga-Weiss, S. L. (2010). Classification in conservation biology: A comparison of five machine-learning methods. *Ecological Informatics*, 5(6), pp.441–450. DOI: [10.1016/j.ecoinf.2010.06.003](https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2010.06.003)
- Karrar, A. M. A. y Sun, J. 2018. Artificial Intelligence: An Overview. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 7, 495 – 501.
- Kim, K. y Park, J. (2009). A Survey of Applications of Artificial Intelligence Algorithms in Eco-environmental Modelling. *Environmental. Engineering. Research*, 14, 102–110. DOI: [10.4491/eer.2009.14.2.102](https://doi.org/10.4491/eer.2009.14.2.102)

- Knudby, A., Brenning, A. y LeDrew, E. (2010). New approaches to modelling fish-habitat relationships. *Ecological Modelling*, 221, 503–511. DOI: [10.1016/j.ecolmodel.2009.11.008](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.11.008)
- Kotsiantis, S. B, Zaharakis, I. D. y Pintelas, P. E. (2006). Machine learning: a review of classification and combining techniques. *Artificial Intelligence Review*, 26, 159–190. DOI: [10.1007/s10462-007-9052-3](https://doi.org/10.1007/s10462-007-9052-3)
- Laplace, P. S. (1986). Memoir on the Probability of the Causes of Events. *Statistical Science*, 1, 364–378. DOI: [10.1214/ss/1177013621](https://doi.org/10.1214/ss/1177013621)
- Lawton, J. H. (1996). Patterns in ecology. *Oikos*, 75, 145–147. doi: [10.2307/3546237](https://doi.org/10.2307/3546237)
- Lee, J. et al. (2007). Classification of breeding bird communities along an urbanization gradient using an unsupervised artificial neural network. *Ecological Modelling*, 203, 62–71.
- Legendre, P. y Legendre, L. 1998. *Numerical Ecology* (2nd. English edn.). *Developmental and Environmental Modelling*, 20, 1–853. Elsevier, Amsterdam.
- Lek, S., Delacoste, M., Baran, P., Dimopoulos, I., Lauga, J. y Aulagnier, S. (1996). Application of neural networks to modelling nonlinear relationships in ecology. *Ecological Modelling*, 90, 39–52. DOI: [10.1016/0304-3800\(95\)00142-5](https://doi.org/10.1016/0304-3800(95)00142-5)
- Lek, S. y Guégan, J. (1999). Artificial neural networks as a tool in ecological modelling, an introduction. *Ecological Modelling*, 120, 65–73. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(99\)00092-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(99)00092-7)
- Lomolino, M. V., Riddle, B. R., Whittaker, R. J. y Brown, J. H. (2010). Biogeography. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachusetts.
- Lorena, A., Jacintho, L. O., Siqueira, M., Giovanni, R. D., Lohmann, L., de Carvalho, A. P. y Yamamoto, M. (2011) Comparing machine learning classifiers in potential distribution modelling. *Expert Systems with Applications*, 38, 5268–5275. DOI: [10.1016/j.eswa.2010.10.031](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.10.031)
- Lokers, R., Knapen, R., Janssen, S., van Randen, Y. y Jansen, J. (2016). Analysis of Big Data technologies for use in agro-environmental science. *Environmental Modelling Software*, 84, 494–504. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSOF.2016.07.017>
- Li, C. (2020). Biodiversity assessment based on artificial intelligence and neural network algorithms. *Microprocessors and Microsystems*, 79. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103321>
- MacLeod, N. (2007). *Automated Taxon Identification in Systematics: Theory, Approaches and Applications*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Miller, J. y Franklin, J. (2002). Modelling distribution of four vegetation alliances using generalized linear models and classification trees with spatial dependence. *Ecological Modelling*, 157, 227–247. DOI: [10.1016/S0304-3800\(02\)00196-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00196-5)
- Mjolsness, E. y DeCoste, D. (2001). Machine learning for science: state of the art and future prospects. *Science*, 293, 2051–2055. <https://doi.org/10.1126/science.293.5537.2051>
- Mitchell, M. (2009). *Complexity: A Guided Tour*. Oxford University Press. Oxford England.
- Morgan, J. N. y Sonquist, J. A. (1963). Problems in the analysis of survey data, and a proposal. *Journal of the American Statistical Association*, 58, 415–434.
- Mouchet, M. A., Lamarque, P., Martin-Lopez, B., Crouzat, E., Gos, P., Byczek, C. y Lavorel, S. (2014). An interdisciplinary methodological guide for quantifying associations between ecosystem services. *Global Environmental Change*, 28, 298–308. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2014.07.012>
- Mountrakis, G., Im, J. y Ogole, C. (2011). Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66, 247–259. DOI: [10.1016/j.isprsjprs.2010.11.001](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.11.001)

Olden, J. L., Lawler, J. J. y Poff, N. L. (2008). Machine Learning methods without tears: a primer for ecologists. *Quarterly Review of Biology*, 83, 171-193. doi: 10.1086/587826

Özesmi, S., Tan, C. y Özesmi, U. (2006) Methodological issues in building, training, and testing artificial neural networks in ecological applications. *Ecological Modelling*, 195, 83-93. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2005.11.012

Parent, S. E., Lafond, J., Paré, M. C., Parent, L. E. y Ziadi, N. (2020). Conditioning Machine Learning Models to Adjust Lowbush Blueberry Crop Management to the Local Agroecosystem. *Plants*, 9, 1401. doi:10.3390/plants9101401

Park, Y. S. y Chon, T.S. (2007). Biologically-inspired machine learning implemented to ecological informatics. *Ecological Modelling*, 203, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.05.039>

Park, Y. S., Verdonchot, P. F. M., Chon, T. S. y Lek, S. (2003). Patterning and predicting aquatic macroinvertebrate diversities using artificial neural network. *Water Research*, 37, 1749-1758. doi:10.1016/S0043-1354(02)00557-2

Pasini, A. (2009). Neural network modeling in climate change studies. In: S. Haupt, A. Pasini, y C. Marzban, (Eds.), *Artificial Intelligence Methods in the Environmental Sciences*. Pp. 235-254. Springer, Amsterdam, Netherlands.

Passy, S. I. (2012). A hierarchical theory of macroecology. *Ecology Letters*, 15, 923-934. doi: 10.1111/j.1461-0248.2012.01809.x

Peterson, A. T., Papeş, M. y Eaton, M. (2007). Transferability and model evaluation in ecological niche modeling: a comparison of GARP and Maxent. *Ecography*, 30, 550-560. doi: 10.1111/j.2007.0906-7590.05102.x

Phillips, S. J., Anderson, R. P. y Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231-259. doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026

Pu, F., Ding, C., Chao, Z., Yu, Y. y Xu, X. (2019). Water-quality classification of inland lakes using Landsat 8 images by convolutional neural networks. *Remote Sensing*, 11, 1674. DOI: [10.3390/rs11141674](https://doi.org/10.3390/rs11141674)

Quintero, E., Thessen, A. E., Arias-Caballero, P. y Ayala-Orozco, B. (2014). A statistical assessment of population trends for data deficient Mexican amphibians. *PeerJ*, 2, p.e 703. DOI: [10.7287/peerj.preprints.490v1](https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.490v1)

Recknagel, F. (2001). Applications of machine learning to ecological modelling. *Ecological Modelling*, 146, 303-310. DOI: [10.1016/S0304-3800\(01\)00316-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(01)00316-7)

Rosa, D., Isabel, M., Marques, A. T., Palminha, G., Costa, H., Mascarenhas, M., Fonseca, C., Bernardino, J. (2016) Classification success of six machine learning algorithms in radar ornithology. *Ibis*, 158, 28-42. DOI: [10.1111/ibi.12333](https://doi.org/10.1111/ibi.12333)

Rupesh, G. y Choudaiah, S. (2019). Artificial Intelligence and its Role in Near Future. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 8, 893 - 898.

Russell, S. J., Norvig, P. y Davis, E. (2010). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 3rd Edn. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

Rykiel, E. J. (1989). Artificial intelligence and expert systems in ecology and natural resource management. *Ecological Modelling*, 46, 3-8. DOI: [10.1016/0304-3800\(89\)90066-5](https://doi.org/10.1016/0304-3800(89)90066-5)

Safari, A., Sohrabi, H. y Shataee, S. (2017). A comparative assessment of multi-temporal Landsat 8 and machine learning algorithms for estimating aboveground carbon stock in coppice oak forests. *International Journal of Remote Sensing*, 38, 6407-6432. DOI: [10.1080/01431161.2017.1356488](https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1356488)

Salski, A. y Sperlbaum, C. (1991). A fuzzy logic approach to modeling in ecosystem research. In: B. Bouchon Meunier et al. (Eds.), *Uncertainty in Knowledge Bases*. 3rd International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems, IPMU '90. Pp. 520 -527. Springer-Verlag, Berlin, Germany.

Sanchez-Hernandez, C., Boyd, D. S. y Foody, G. M. (2007). Mapping specific habitats from remotely sensed imagery: support vector machine and support vector data description based classification of coastal saltmarsh habitats. *Ecological Informatics*, 2, 83-88. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2007.04.003

Stockwell, D. R. B. y Noble, I. R. (1992). Induction of sets of rules from animal distribution data: a robust and informative method of analysis. *Mathematics and Computers in Simulation*, 33, 385-390. [https://doi.org/10.1016/0378-4754\(92\)90126-2](https://doi.org/10.1016/0378-4754(92)90126-2)

Stowell, D. y Plumbley, M. D. (2014). Automatic large-scale classification of bird sounds is strongly improved by unsupervised feature learning. *PeerJ* 2:e488. DOI: [10.7717/peerj.488](https://doi.org/10.7717/peerj.488)

Tan, P.N., Steinbach, M., y Kumar, V. (2005). *Introduction to data mining*. Addison-Wesley, Boston.

Tarca, A. L., Carey, V. J., Chen, X. W., Romero, R y Drăghici, S. (2007) Machine learning and its applications to biology. *PLoS Computational Biology*, 3: e116. doi:10.1371/journal.pcbi.0030116

Termansen, M., McClean, C. y Preston, C. (2006). The use of genetic algorithms and Bayesian classification to model species distributions. *Ecological Modelling*, 192, 410-424. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2005.07.009

Thessen, A. (2016). Adoption of Machine Learning Techniques in Ecology and Earth Science. *One Ecosystem*, 1: e8621. doi: 10.3897/oneeco.1e8621

Tirelli, T., Gamba, M. y Pessani, D. (2012). Support vector machines to model presence/absence of *Alburnus alburnus alborella* (Teleostea, Cyprinidae) in North-Western Italy: Comparison with other machine learning techniques. *Comptes Rendus Biologies*, 335, 680-686. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crv.2012.09.001>

Yamashita, T., Yamashita, K. y Kamimura, R. (2007). A stepwise AIC method for variable selection in linear regression. *Communication in Statistics Theory and Methods*, 36, 2395-2403. <https://doi.org/10.1080/03610920701215639>

Yang, C. C., Prasher, S. O., Enright, P., Madramootoo, C., Burgess, M., Goel, P. K., y Callum, I. (2003). Application of decision tree technology for image classification using remote sensing data. *Agricultural Systems*, 76, 1101-1117.

Wang, H. y Morra, G. (2020). Artificial Intelligence in Geosciences. Inaugural Editorial. *Artificial Intelligence in Geosciences*, 1, 52-53. <https://doi.org/10.1016/j.aiig.2021.02.0013>

Wang, Q., Garrity, G. M., Tiedje, J. M. y Cole, J. R. (2007). Naive Bayesian Classifier for Rapid Assignment of rRNA Sequences into the New Bacterial Taxonomy. *Applied and Environmental Microbiology*, 73, 5261-5267. DOI: 10.1128/aem.00062-07

Watanabe, C., Hiramatsu, K. y Kashino, K. (2018). Modular representation of layered neural networks. *Neural Networks*, 97, 62-73. DOI: [10.1016/j.neunet.2017.09.017](https://doi.org/10.1016/j.neunet.2017.09.017)

Weinstein, B. G. (2018). Scene-specific convolutional neural networks for video-based biodiversity detection. *Methods in Ecology and Evolution*, 9, 1435-1441. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13011>

Weston, J., Leslie, C., Ie, E., Zhou, D., Elisseeff, A., Noble, W. S. (2005). Semi-supervised protein classification using cluster kernels. *Bioinformatics*, 21, 3241 - 3247. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bti497>

- Wiley, E. O., McNyset, K., Peterson, T., Robins, R. y Stewart, A. (2003). Niche Modeling Perspective on Geographic Range Predictions in the Marine Environment Using a Machine-learning Algorithm. *Oceanography*, 16, 120-127. DOI: 10.5670/oceanog.2003.42
- Willcock, S., Martínez-López, J., Hooftman, D. A. P., Bagstad, K. J., Balbi, S., Marzo, A., Prato, C., Sciandrello, S., Signorello, G., Voigt, B., Villa, F., Bullock, J. M. y Athanasiadis, I. N. (2018). Machine learning for ecosystem services. *Ecosystem Services*, 33, 165-174. [10.1016/j.ecoser.2018.04.004](https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.04.004)
- Wright, J., Wiggins, L., Jain, R. y Kim, T. J. (Eds.). (1993). *Expert Systems in Environmental Planning*, Springer-Verlag, Berlín.
- Wu, C., Shen, H., Shen, A., Deng, J., Gan, M., Zhu, J., Xu, H. y Wang, K. (2016). Comparison of machine-learning methods for above-ground biomass estimation based on Landsat imagery. *Journal of Applied Remote Sensing*, 10, 035010, doi: 10.1117/1.JRS.10.035010
- Zhang, J., O'Reilly, K. M., Perry, G. L.W., Taylor, G. A. y Dennis, T. E. (2015). Extending the functionality of behavioural change-point analysis with k-means clustering: A case study with the little penguin (*Eudyptula minor*). *PLoS One*, 10, 1e14. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0122811>
- Zhang, Q. y Stanley, S. J. (1997). Forecasting raw-water quality parameters for the North Saskatchewan River by neural network modeling. *Water Research*, 31, 2340-2350.
- Zhao, K., Popescu, S., Pang, Y., Meng, X. y Agca, M. (2011). Characterizing forest canopy structure with lidar composite metrics and machine learning. *Remote Sensing of Environment*, 115, 1978-1996. DOI: 10.1016/j.rse.2011.04.001
- Zheng, M., Horta Andrade, C. y Bajorat, J. (2021). Introducing Artificial Intelligence in the life sciences. *Artificial Intelligence in the Life Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.aillsci.2021.100001>

Inteligencia Artificial (IA): perspectivas para integrar el valor de la innovación y la creatividad con la gestión en las organizaciones

Por Alan Lerner, MSc. y Hernán Mavrommatis, MSc.

Resumen

Aceptando el hecho de que la Inteligencia Artificial (IA) conjuga el intelecto y la creatividad humana, el presente trabajo propone reflexionar acerca de los desafíos que supone la irrupción de esta tecnología disruptiva en las organizaciones. Esta investigación destaca el hecho de que, a diferencia de cualquiera de sus precedentes, la IA deja de ser únicamente una herramienta técnica para transformarse en una solución que evoluciona continuamente y amplía velozmente su potencial e impacto organizacional. Desde distintas perspectivas, esta investigación explora los desafíos necesarios para repensar a las organizaciones (y el rol de los profesionales que operan la tecnología), desafiando el *status-quo* e identificando ejemplos de buenas prácticas que permitan forjar resultados con impacto, integrando el valor de la innovación y la creatividad (propiamente humanas) a la gestión organizacional.

Origen y evolución histórica de la IA

Hasta el momento en el que John McCarthy definiera por primera vez, en el año 1965, el concepto de Inteligencia Artificial (Benko & Lányi, 2009), quizás muchas personas que estudiaban la inteligencia humana consideraron al neologismo como un verdadero oxímoron. Despejar toda duda sobre la incongruencia que presenta este vocablo, representó uno de los mayores desafíos que impulsó el desarrollo de la historia de la Inteligencia Artificial (IA), y que aún continúa impulsando su actual evolución.

Una particularidad que destaca en el recorrido histórico de la IA, viene dada por la variedad de disciplinas que convergen en ella. A lo largo del tiempo, éstas realizaron, por un lado, aportes significativos para su desarrollo, y por otro, propusieron diversos marcos conceptuales que brindan abundantes perspectivas para su estudio y comprensión. Como ejemplo de esto último, durante la revisión bibliográfica realizada para el presente trabajo, se identificaron más de cien aportes desde distintas disciplinas que varios autores señalaron (Association for the Advancement of Artificial Intelligence, s.f.; Asimov, 2014; Benko & Lányi, 2009; Boden, 2017; Buchanan, 2005; Carabantes López, 2014; Lafuente Niño et al, 2017; MacLennan, 2009; Newell, 1982; Rockwell, 2017; Rodriguez, 2018; Schraagen & Diggelen, 2021). Encontrar los orígenes de la IA, su genealogía, y los aportes que evidencian su evolución, resulta todo un desafío, dado que la historia de la IA es parte de la historia de la inteligencia y la creatividad humana. No obstante, se destacan algunos hitos originarios y aportes que resultaron ser fundacionales para la IA, así como también, las fases históricas de su posterior evolución:

- En la era paleolítica, quizás ocurrieron los primeros ejemplos de almacenamiento y análisis de datos por parte de seres humanos realizados en muescas, en palos o huesos (Rodriguez, 2018).
- A través de los mitos griegos como el de Talos, un autómatas gigante de bronce protector de la isla de Creta, se pueden encontrar las primeras ideas de robots inteligentes (AAAI, s.f).
- La importancia de la formalización del pensamiento humano a través de Aristóteles, quien según MacLennan, muestra que la inferencia válida es una cuestión de sintaxis más que de semántica, lo cual conlleva a pensar que dicha inferencia es una especie de cálculo (MacLennan, 2009).
- La convicción de Alan Turing (a principios de la década de 1940) sobre la posibilidad de crear una IA de propósito general o fuerte la cual fue apoyada por el neurólogo y psiquiatra Warren McCulloch y el matemático Walter Pitts (Boden, 2017).
- El aporte de los primeros protagonistas tales como George Boole, quien en el año 1847 describe un lenguaje formal para el razonamiento lógico; Alan M. Turing quien en el año 1936 describe la máquina de Turing, así como Warren

McCulloch y Walter Pitts, quienes en 1943 crearon el modelo de neuronas artificiales (Benko & Lányi, 2009).

- Los temas intelectuales que resultaron ser principal fuente de discusiones a través de distintas dicotomías, tales como, mecanismos vs. teleología (1640 - 1945), biología vs. vitalismo (1800 - 1920), razón vs. emociones y sentimientos (desde 1870), filosofía vs. ciencia de la mente (1870 - 1910), lógica vs. psicología (1910 - 1945), analógico vs. digital (1940 - 1970), símbolos vs. números (1955 - 1965), heurística vs. algoritmos (1955 - 1965) y reemplazar vs. ayudar a humanos (desde 1960), entre otros (Newell, 1982).
- El Simposio de Hixon (1948) en el cual John von Neumann comparó al ordenador con un cerebro, y más tarde en el famoso Dartmouth College de Hanover (1956), con la participación de Marvin Minsky, Herbert A. Simon, Allen Newell, surge el concepto de la analogía o metáfora del ordenador sobre la base de la cual se podría tomar este artificio como un buen modelo de la mente humana (Lafuente Niño, 2017).
- Las aventuradas predicciones de expertos que entusiasman e impulsan la evolución, como la de Herbert Simon (1965) “*Las máquinas serán capaces, dentro de veinte años, de hacer cualquier trabajo que un hombre pueda hacer*” (Benko & Lányi, 2009), y la de Marvin Minsky - en 1970, para Life Magazine- “*de tres a ocho años tendremos una máquina con la inteligencia general de un ser humano promedio*” (Rockwell, 2017).

Resulta complejo abarcar toda la evolución de la IA, identificando aportes relevantes porque la lista sería interminable; conviene entonces referir épocas históricas. En este sentido, Schraagen y Diggelen (2021) dividen la historia en fases: los primeros días del razonamiento simbólico (1956-1974), en donde existía una amplia gama de posibilidades, prototipos exitosos en ajedrez y procesamiento del lenguaje; apareció el primer invierno (1974-1980) creado en base a la falta de capacidad de cómputo, el gran esfuerzo humano para la carga de datos, y las grandes expectativas previas. Luego, aparecen los sistemas expertos (1980-1987), que encapsulan el conocimiento de los expertos en un dominio en particular y se usaban mediante la definición de reglas. En el segundo invierno (1987-1993), se repitieron los mismos problemas anteriores, lo que llevó a investigadores a buscar un nuevo

enfoque, dado que el de aquel entonces, se comenzó a llamar la buena IA pasada de moda (Schraagen & Diggelen, 2021).

Entrando en el siglo XXI, dichos autores mencionan la fase de los sistemas multiagente y web semántica (1993-2011); el desarrollo de Internet creó altas expectativas. No obstante, estas dos tecnologías tuvieron pocas aplicaciones prácticas; finalmente surge el Big data y el aprendizaje profundo o *Deep Learning* por su expresión en inglés (2011-presente): la gran disponibilidad de datos y potencia informática hizo posible desarrollar este aprendizaje que condujo a éxitos sin precedentes, dando lugar a industrias de miles de millones de dólares (Schraagen & Diggelen, 2021).

El dilema humano-máquina

La naturaleza de la biología humana se encuentra programada para la supervivencia en cualquier tipo de ámbitos; en contextos organizacionales, esta no es la excepción. Se puede entender esta actitud de las personas mediante el concepto de “*burbuja lógica*”, el cual incluye la percepción de la circunstancia, la estructura, el contexto y las relaciones (De Bono, 1991). Esta lógica, resulta efectiva para sobrevivir en el contexto organizacional donde personas se encuentran inmersas. Muchas veces, las nuevas ideas son tomadas como factores que amenazan esta supervivencia, generando temor y resistencia al cambio. Independientemente de si las innovaciones en cualquier burocracia resultan un éxito o un fracaso, éstas son condenadas por distintas razones, a diferencia de la supervivencia, que es entendida como una conducta inteligente (De Bono, 1991). Las nuevas tecnologías (para un contexto dado) también poseen este carácter de amenaza a la supervivencia.

Naturaleza, tecnología y cultura

Está claro que la evolución de la naturaleza y la tecnología poseen velocidades totalmente diferentes. Ibañez (2019) señala que a la naturaleza le costó, al menos, 350 mil millones de años para que apareciera el ADN; con mayor velocidad, después aparecieron organismos complejos; luego los mamíferos y los humanos. A partir de ahí, se produjo una aceleración: la cultura, el lenguaje y la Internet (Ibañez, 2019). Considerando esto último, podría decirse que, a diferencia de lo que sucede en la actualidad, hace unas décadas atrás, el mundo era más natural

que artificial o al menos así lo sugiere un sorprendente artículo, que publicó la revista Nature en el 2020, titulado “*La masa global creada por el hombre excede toda la biomasa viva*” (Elhacham, Ben-Uri, Grozovski, Bar-On & Milo, 2020). La proliferación de artefactos y artificios se encuentra alineada con la hipótesis de Ray Kurzweil (2005), quien señala que el crecimiento de la evolución tecnológica debe ser representado por una curva exponencial. En base a esto, sugiere que aproximadamente en treinta años se producirá la singularidad tecnológica, en donde las máquinas equipararían a la inteligencia humana.

Si bien resulta evidente este crecimiento exponencial en el ámbito tecnológico, no se puede atribuir este carácter exponencial al pensamiento de las personas, a la cultura organizacional, ni mucho menos, al desarrollo de nuevos modelos de negocios. Basta con saber que, hasta el día de hoy, se prefiere mantener la antigua filosofía del efecto encierro (*lock-in* por su expresión en inglés) cuyos posibles orígenes se remontan a las obligaciones vinculantes en la época del Imperio Romano, lo cual devino en el modelo adoptado por Gillette en 1904, año en donde se vendieron las primeras hojas de afeitar desechables (Gassmann, Frankenberger & Csik, 2014). Sumado a esto, si bien muchos de los avances tecnológicos se basan en un alto grado de apertura, ciertos referentes de la industria dejaron de transparentar sus algoritmos. Santana Vega señala que OpenAI ha hecho un cambio de política que va muy en contra de la cultura del mundo de la inteligencia artificial (Santana Vega, 2019).

Competir o colaborar

Rifkin (2010) considera la existencia de duplas de evoluciones energéticas y de comunicaciones. En el apogeo de su evolución, estas duplas siempre son acompañadas por una nueva forma de consciencia humana. Existen entonces, reestructuraciones mentales de la percepción humana que se producen cuando una nueva revolución en la energía y en las comunicaciones da lugar a nuevas organizaciones sociales (Rifkin, 2010). Se puede establecer un paralelo de esta reorganización a nivel social, si se consideran las reestructuraciones mentales a nivel organizacional. Estos cambios pueden ser comprendidos como la evolución de una serie de metáforas organizacionales: por ejemplo, se puede percibir a la “*organización como una máquina o una manada de lobos*” (Laloux, 2015). Esto último, permite comprender, por un lado, que una revolución tecnológica requiere y/o promueve

una reorganización social, y por otro, que, dentro de las organizaciones, la visión que exista respecto de cuál es el rol de una nueva tecnología y su relación con las personas que la gestionan, va a estar evaluada en función de la metáfora organizacional que posea dicha organización. Si para las relaciones humano-máquina, sólo se consideran dos opciones, competir o colaborar, éstas también serán evaluadas en torno a la metáfora organizacional predominante.

En las organizaciones que funcionan bajo la metáfora de “*organizaciones como máquinas*” (Laloux, 2015), todas las decisiones giran en torno a la maximización de la eficiencia y de la productividad. Competir con una máquina utilizando únicamente la eficiencia como vara, es una batalla perdida para los humanos. Pero la eficiencia no puede lidiar con problemas nuevos que nunca se han resuelto; para este tipo de problemas, una habilidad clave es la creatividad (Mavrommatis, 2020). Además, perseguir únicamente la eficiencia, no solo no ayuda, sino que impacta negativamente en la capacidad de adaptación y respuesta de las organizaciones (Heffernan, 2019). Queda claro entonces, que mantener esta metáfora reduce el propósito de las organizaciones a la maximización de la rentabilidad, en donde quizá ante eventuales demandas por sesgos raciales, se prefiere abandonar un negocio, “*IBM abandona la tecnología de reconocimiento facial ‘sesgada’*” (BBC, 2020).

Asimismo, cabe recordar que existe un propósito superior a esta maximización: además de *explotar*, otra función mandatoria para las organizaciones es *explorar*. “*La exploración incluye cosas capturadas por términos como búsqueda, variación, toma de riesgos, experimentación, juego, flexibilidad, descubrimiento, innovación. La explotación incluye cosas como refinamiento, elección, producción, eficiencia, selección, implementación, ejecución.*” (March, 1991). Ahora, se debe tener cuidado porque estas dos funciones principales vistas desde dicha metáfora, pueden llevar a pensar una división Taylorista de asignación de competencias: mientras las máquinas son buenas para explotar, los humanos lo son para explorar. Si bien esto pareciera ser la lógica en base a la que se definen las competencias de los profesionales del futuro, no sirve de mucho si no se realiza un cambio de mentalidad y se pasa de una “*organización como máquina*” hacia una metáfora más evolucionada “*organización como un organismo vivo*” (Laloux, 2015).

Esta última metáfora corre del centro a la eficiencia y crea un espacio para la colaboración entre humanos y máquinas que, de otro modo no hubiera proliferado, dado que la opción de colaborar resulta larga, costosa y difícil, debiendo las áreas

de negocio, tecnología y equipos de ciencia de datos esforzarse fuertemente para encontrar la mejor manera de que humanos y máquinas puedan trabajar juntos (Duranton, 2019). Esto último se denomina “*Augmented intelligence*”, o inteligencia aumentada en donde “*el ser humano trabaja en colaboración con las máquinas*” (Hurwitz, Morris, Sidner & Kirsch, 2019). Este concepto permite, por ejemplo, que humanos y máquinas co-diseñen productos originales. Tal es el caso de un innovador co-diseño de la industria automotriz, cuya estructura surgió de una IA generativa que procesó 4000 millones de datos capturados por sensores instalados en un vehículo que un piloto humano experimentado estresó durante una semana creando el diseño de un chasis verdaderamente original (Conti, 2016).

Competencias de los profesionales de IA en Argentina

Según el informe Artificial Intelligence Index Report 2021, elaborado por el Human-Centered Artificial Intelligence Institute (HAI) de la universidad de Stanford, tomando los datos tomados desde LinkedIn y Burning Glass (2016 - 2020), sobre la base del análisis de catorce países, muestran que la Argentina duplicó en el período observado la tasa de contratación de IA. Este reporte, también relevó las distintas estrategias anunciadas en el período estudiado que realizaron los países involucrados en el estudio, el entonces Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación Productiva anunció que “*El plan de IA de Argentina es parte de la Agenda Digital Argentina 2030 [...] Está previsto que abarque la década comprendida entre 2020 y 2030*” (Zhang et al, 2021). Como aspectos específicos de la Agenda Digital 2030, el Plan Nacional de Inteligencia Artificial posee distintos ejes temáticos, “*talentos, infraestructura, sector privado, I+D+i, impacto en el trabajo, ética y regulación, vinculación internacional, y comunicación y concientización*” (Aguerre et al, 2020). Particularmente, en relación con el talento, el documento indica que uno de sus objetivos es “*Favorecer el desarrollo del talento orientado a IA y de las capacidades técnicas y científicas en IA, fomentando iniciativas de Investigación, Desarrollo e innovación (I+D+i) orientada a la ciencia básica y aplicada en IA*” (Gobierno de la República Argentina, 2019).

Ahora bien, si se considera lo referido en la primera Cumbre Latinoamericana de Inteligencia Artificial 2020, en su apartado de estrategias de países de la región (particularmente en temáticas de Recursos Humanos y Educación), allí se describen distintos cursos de acción que proponen países como México y Brasil. Este

último país señala la necesidad de trabajar en planes de carreras universitarias; Panamá y Colombia, por otra parte, son países que apuestan a incrementar la formación universitaria, mientras que Chile realiza acciones en el mismo sentido. No obstante, no se menciona a la Argentina (Anllo et al, 2020). Para finalizar la fotografía del estado del arte actual a nivel local, en lo que concierne al mundo laboral en el ámbito de la IA y las competencias de los profesionales, se destacan distintos aspectos volcados en el perfil del país incluido en el Reporte del 2020 sobre el futuro del trabajo del *World Economic Forum* (WEF). En este documento, se indica que la población económicamente activa se compone de alrededor de 17 millones y medio de personas, la *performance* de las competencias profesionales - expresadas a través de habilidades digitales de dicho tipo de población - es del 50% (2019 - 2020), y dentro de los cinco primeros perfiles más demandados se encuentran; especialistas en *Machine Learning* y AI, ingenieros en robótica, especialistas en transformación digital, desarrolladores de software y especialistas en IoT - *Internet of Things* - (WEF, 2020).

De la misma manera, resulta importante destacar que, del perfil argentino, surgen pistas sobre aquellas competencias que son valoradas en los profesionales del futuro. Las mismas vienen dadas a través de la mención de quince habilidades emergentes que resultan ser las más demandadas. Las primeras cinco son: 1) Creatividad, originalidad e iniciativa, 2) Resolución de problemas complejos, 3) Pensamiento analítico e innovación, 4) Razonamiento, resolución de problemas e ideación, y en quinto lugar, aprendizaje activo y estrategias de aprendizaje (WEF, 2020).

Comprendiendo la relevancia estratégica de la IA en las organizaciones

En línea con la necesidad de potenciar su propuesta de valor para incrementar su diferenciación, las organizaciones están tomando conciencia del rol de la IA y su impacto en los modelos operativos. La disrupción tecnológica no sólo está impactando en los procesos estratégicos y operativos que posibilitan la creación de valor: está redefiniendo las plataformas que los sostienen y transformando los hábitos de consumo de los clientes que los consumen. En un contexto en donde las organizaciones están desafiando cada vez más el *status-quo*, es inminente vislumbrar una migración hacia valores propios de una sociedad del conocimiento, en donde el acceso a la información es innegociable (Rifkin, 2000), así como también,

los fenómenos de apertura, compartir, interacción entre iguales y actuación global (Tapscott & Williams, 2008).

El replanteo de la estrategia de negocios se encuentra impulsado por una nueva agenda digital en donde los clientes tienen más expectativas de las organizaciones que en el pasado: buscan más personalización, efectividad, integridad, simpleza y credibilidad basada en una relación de confianza. Algunos de los valores que integran esta realidad son (Lerner & Magnano, 2018):

- Acceso instantáneo: reducir la fricción y la burocracia inherente a procesos inadecuadamente definidos para alcanzar los objetivos propuestos.
- Innovación acelerada: analizar, emular y adaptar ideas novedosas, así como también otros desarrollos sostenibles (Christensen, 1999) para desarrollar capacidades distintivas (Prahalad & Hamel, 1996).
- Cambios en el modelo de canales: migrar del concepto de multicanalidad hacia el concepto de omnicanalidad (Briedis, Gregg, Heidenreich & Liu, 2021) como medio para reducir el *time to market* y sorprender a los clientes.
- Democratización de la comunicación: eliminar barreras y simplificar los métodos por los cuales las organizaciones se comunican con los clientes. Migrar hacia modelos basados en plataformas apostando a la segmentación, socialización y creación de nuevas capacidades de gestión (Schrage, 2016).
- Poder del cliente: brindar la posibilidad de que los clientes (internos y externos) exploten su capacidad para tomar decisiones, siendo las organizaciones los habilitadores para la creación de clientes apóstoles con elevados niveles de satisfacción y lealtad (Jones & Sasser Jr, 1995).
- Renegociación de la confianza: replantear el modo en que las organizaciones alinean expectativas respecto de la propuesta de valor entregada al cliente, buscando maximizar la experiencia y la generación de deleite por parte de éstos últimos. Esto obligará a que las empresas inviertan mayores recursos en generar momentos memorables para sus clientes, ya que la memoria en sí misma se convertirá en un producto (Pine & Gilmore, 1999).
- Muerte a la complejidad: desarrollar procesos que sean flexibles al cambio,

desarrollando una organización resiliente en donde la identificación del sentido de urgencia para llevar adelante la transformación (Kotter, 2012) y la seguridad psicológica (Edmondson, 2018) sean las claves para gestionar con agilidad (Shwaber & Sutherland, 2012).

En este sentido, la IA juega un rol fundamental en las organizaciones. Busca generar un ecosistema integrado en donde el mayor desafío es fomentar una cultura de intercambio de conocimientos. Se trata de generar constructos de vinculación y comunidades de práctica (Wenger, 1998) en donde individuos y equipos de trabajo comparten sus conocimientos y aprenden de los demás de forma natural, apalancándose con la tecnología para darle sentido a dicho intercambio (Smith & Farquhar, 2000). Los problemas son, en gran parte, orientados a las personas, distribuidos y desordenados. Todos los miembros de la organización y grupos de interés afectados son colaboradores. Para que la IA se aplique con éxito, debe ser funcional a una amplia población de personas. Los trabajadores del conocimiento tienen que poder sacar provecho de ella, impactando su labor en el fortalecimiento de la cultura organizacional, la transformación de los valores y los supuestos compartidos (Schein, 2010) que mutarán en función de la disrupción digital.

En esta misma línea, un estudio global desarrollado por KPMG (2021) a profesionales de 950 organizaciones de Tecnología (150 profesionales), Retail (150 profesionales), Servicios Financieros (150 profesionales), Manufactura (150 profesionales), Gobierno (150 profesionales), Salud (100 profesionales) y Ciencias de la Vida (100 profesionales) con conocimientos moderados de IA y volúmenes de facturación de +100 millones de dólares, revela que, mínimamente, un tercio de las empresas encuestadas posee IA instalada plenamente en sus operaciones (siendo los rubros de Tecnología (52%), Retail (51%) y Manufactura (49%) los líderes en su implementación. Esta percepción se encuentra alineada con el ritmo al cual la IA está evolucionando en las mencionadas industrias. No obstante, su utilización presenta riesgos salientes tales como:

- Amenazas a la seguridad y privacidad de datos;
- Problemas de sesgo propios de la tecnología / máquina;
- Pérdida de interacción interpersonal;
- Potencial de adquisición de IA por parte de entidades malintencionadas;

- Concentración de riqueza alrededor de compañías que emplean la IA;
- Pérdida potencial de puestos de trabajo: si bien este riesgo resulta inherente a la existencia de tecnologías disruptivas (siendo IA una de las principales), sigue en pie la discusión respecto de hasta qué punto las máquinas podrán efectivamente reemplazar la labor humana.

Por otra parte, en línea con el CIO Survey 2020 (KPMG & Harvey Nash, 2020), las inversiones en IA y *Machine Learning* siguen acentuando su crecimiento registrando un leve crecimiento post-COVID 2020 (29%) en relación al periodo pre-COVID 2020 (26%). La pandemia ha obligado a los líderes tecnológicos a robustecer sus inversiones en tecnologías emergentes (incluyendo también Internet de las Cosas, Computación en la Nube, plataformas SAAS – *Software as a Service* -, *Blockchain*, Realidad Virtual / Realidad Aumentada y Computación Cuántica). Antes del COVID, las organizaciones estaban vislumbrando incrementar sus retornos sobre la inversión tecnológica; la pandemia las ha obligado a aumentar radicalmente esa inversión. Al respecto, los líderes digitales que han incursionado por este camino (asumiendo riesgos), han tenido una ventaja. Casi la mitad de los líderes digitales (49%) indicaron ser “muy” o “Extremadamente” eficaz en el escalamiento de nuevas ideas, en comparación con sólo una cuarta parte de todos encuestados. Queda claro, de este modo, cómo los líderes digitales enfrentaron la pandemia en forma más ágil, resiliente y flexible, mucho más alineados con la disrupción, el cambio tecnológico y la obtención de beneficios. Desarrollar arquitecturas flexibles, modulares e interoperables (a través de microservicios y APIs – *Application Program Interfaces*) no será fácil si la organización se encuentra muy aferrada a sus plataformas / sistemas *legacy* y si la propensión al cambio deliberado no resulta apropiadamente comunicada a toda la organización (KPMG, 2018).

Siendo conscientes de que la IA refiere a máquinas que realizan funciones cognitivas generalmente asociadas con la mente humana - aprendizaje, interacción y resolución de problemas - (Nilsson, 1971), cabe señalar que las organizaciones han utilizado, durante mucho tiempo, estas soluciones para automatizar tareas rutinarias en Contabilidad, Impuestos, Finanzas, Operaciones y Logística (entre otras disciplinas). Los recientes avances en potencia computacional (de la mano de Computación Cuántica), el aumento exponencial de los datos y las nuevas técnicas de aprendizaje automático ahora permiten que las organizaciones también empleen soluciones para tareas de gestión (Brynjolfsson & McAfee, 2017a). La sustitu-

ción de productos por plataformas – revolución amplificada por empresas como Facebook, Airbnb o Uber – y la sustitución de personal clave (*core*) dentro de una organización por acceso a una multitud (*crowd*) a través de redes de innovación globales genera que algunas de las compañías más grandes del mundo recurran a recursos ajenos para innovar. Por ejemplo, las soluciones basadas en IA ahora juegan un rol fundamental en el proceso de adquisición de talento de Unilever (Marr, 2018c), en las decisiones de Netflix con respecto a las tramas de películas, directores y actores (Westcott Grant, 2018) y en las actividades de desarrollo y descubrimiento de fármacos de Pfizer (Fleming, 2018). En línea con el trabajo de (Brynjolfsson & McAfee, 2017b), las organizaciones deben tener la capacidad de gestionar la interacción entre:

- *Mentes y máquinas*: comprender la capacidad de la mente humana para tomar decisiones, basadas en el acceso a grandes volúmenes de datos y al desarrollo de algoritmos de IA. Teniendo en cuenta que las máquinas llegan a decisiones más acertadas que los expertos, las empresas deberán poco a poco sustituir sus decisiones basadas en opiniones por decisiones basadas en datos. Aunque las máquinas han sido capaces de mejorar su aporte en el campo de la innovación y la creatividad, siguen siendo incapaces de entender el mundo bajo el prisma humano.

- *Productos y plataformas*: la irrupción de Internet y la consecuente interconexión entre personas en cualquier parte del mundo, favorecieron la situación de las industrias basadas en bienes digitales. La clave, en este caso, ha radicado en la apertura de la plataforma, no sólo a los usuarios, sino también a los proveedores de servicios, dando lugar a plataformas bilaterales y multilaterales. Así, la tecnología ha mejorado la experiencia de los clientes y colaboradores potenciando el éxito de plataformas a nivel regional y global. MercadoLibre, Tienda Nube, Awto, Despegar.com y OLX son algunos de los unicornios que han crecido exponencialmente en Latinoamérica; Apple, Amazon, Uber y Spotify lo han hecho a nivel global.

- *Compañías y multitudes*: el acceso a una multitud abierta y global (Castells, 2009) ha permitido a las organizaciones obtener resultados mucho mejores de los que ellas habrían sido capaz de obtener con su equipo interno. La incapacidad de los expertos para la búsqueda de soluciones adecuadas, y el valor creciente de la multitud, ha potenciado el aprovechamiento de los efectos / externalidades de red, es decir, situaciones en las que el consumo de una persona influye directamente en la utilidad de otra (Parker, Van Alstyne & Choudary, 2017).

Con reglas claramente establecidas y un entorno que conjugue procesos, personas y tecnología en un ecosistema colaborativo, los Gerentes tienen la opción de ceder ciertas tareas operativas a una máquina. Sin embargo, al referirse al ámbito del *management* la gran mayoría de las actividades resultan más complejas, dado que no están basadas en patrones repetitivos. En tales casos, la automatización basada en reglas resulta imposible de aplicar (Holzinger, 2016). Esta elección permite a los Gerentes continuar involucrados y colaborar estrechamente con las máquinas en la ejecución de estas tareas. Si bien la automatización basada en reglas permite la delegación en máquinas (debido a que las reglas se pueden formular, codificar y transmitir explícitamente a los científicos de datos), el aprendizaje de tareas complejas se basa en el conocimiento tácito de los expertos, el cual no se puede codificar fácilmente (Brynjolfsson & Mitchell, 2017). Las organizaciones emplean cada vez más soluciones basadas en IA en la gestión de recursos humanos para adquirir talento (Stephan, Brown & Erickson, 2017). Por ejemplo, JP Morgan Chase eligió un enfoque de aumento para evaluar a los candidatos. Un equipo de Gerentes de Recursos Humanos con experiencia trabajó en estrecha colaboración con una solución basada en IA para identificar predictores confiables y específicos de la empresa del desempeño laboral futuro de los candidatos. Se necesitó un año completo de interacción intensiva entre los expertos humanos y la solución basada en IA para eliminar predictores sesgados estadística o socialmente molestos, y hacer que el sistema sea robusto. Al eliminar a los humanos de esta actividad, el banco desarrolló la intención de aumentar la equidad y consistencia de la evaluación del candidato, apalancándose en datos fácticos y eliminando el sesgo cognitivo del juicio.

Teniendo en cuenta esta realidad, y siendo consciente del impacto que la IA está generando en las diversas industrias y organizaciones, resulta clave estar preparados para afrontar 3 desafíos clave:

- Enfrentar una posible destrucción creativa (Aghion & Bunel, 2021), es decir, ser conscientes de aquellas tecnologías que supongan un mayor desafío para el empleo, ya sea con vistas a reconfigurar los procesos y modelos operativos vigentes, o bien, a redefinir resultados y expectativas sociales y organizacionales.
- Comprender la transformación de las competencias, la tendencia hacia la movilidad y los nuevos mercados de trabajo, es decir, analizar si los sistemas educativos y las organizaciones están preparadas para enfrentar los nuevos escenarios, teniendo en cuenta que muchos líderes de organizaciones no tienen claro

cuál debiera ser el enfoque para abordar la implementación de iniciativas de IA (Sokalski, Klous & Chandrasekaran, 2020).

- Entender el vínculo entre el capitalismo y el contrato social, es decir, tratar de vislumbrar cómo y hacia dónde evolucionarán el empleo y los mercados laborales en esta nueva realidad, comprendiendo el rol de los gobiernos en este novedoso paradigma.

En línea con los 3 desafíos planteados anteriormente, y dado que parte de la discusión desarrollada busca facilitar la comprensión de cómo resulta posible agregar valor con innovación a través de la IA, es relevante delinear dónde la IA puede facilitar (y potencialmente reemplazar) la toma de decisiones humana en la gestión de la innovación (Haefner, Wincenta, Paridac, & Gassman, 2021):

1) Desarrollar ideas superando las limitaciones del procesamiento de la información.

Los sistemas de IA se destacan por superar las limitaciones de procesamiento de información de los seres humanos. A partir de este potencial, los sistemas de IA pueden ayudar a los seres humanos en el desarrollo de ideas, oportunidades y elaboración de soluciones que permitan procesar grandes cantidades de información (superando la capacidad humana tradicional) y describir áreas interesantes para la investigación. Una aplicación interesante radica en la capacidad de los sistemas de IA para acelerar el proceso de ingeniería de proteínas (Yang et al., 2019). Las aplicaciones de IA también se pueden emplear para identificar tratamientos para enfermedades; por ejemplo, las redes neuronales de adaptación de dominio profundo se han entrenado en conjuntos de datos de genómica de ARN de una sola célula para, finalmente, desarrollar tratamientos que detendrían la transmisión de la malaria (Johansen & Quon, 2018).

2) Generar ideas superando las limitaciones del procesamiento de la información.

Estas aplicaciones de IA tienen la capacidad de procesar mucha más información para la generación de nuevas ideas que los humanos pasarían por alto. Un ejemplo es una aplicación desarrollada por Outlier.ai, la empresa utiliza métodos

de aprendizaje automático para gestionar datos de métricas sin procesar en conocimientos legibles por humanos. La empresa creó un sistema de IA que puede capturar el conocimiento latente de la literatura científica de materiales. El sistema utiliza el algoritmo word2vec, una red neuronal popular en aplicaciones de procesamiento de lenguaje natural para derivar incorporaciones de conceptos en la literatura. El algoritmo es capaz de capturar conceptos complejos de ciencia de materiales, incluida la estructura subyacente de la tabla periódica, sin ninguna inserción explícita de conocimientos químicos por parte de los investigadores. El sistema de IA también puede recomendar materiales para aplicaciones funcionales. Al censurar los datos, los autores pueden demostrar que el sistema es capaz de recomendar materiales varios años antes de su descubrimiento.

3) Desarrollar ideas superando las rutinas de búsqueda locales.

Estas actividades persiguen identificar y desarrollar ideas, oportunidades y propuestas de solución donde el proceso va más allá del uso de búsqueda locales; en otras palabras, se emplea la búsqueda a distancia. Autodesk, por ejemplo, utilizó varios algoritmos para crear una nueva partición de tripulación para Airbus (Autodesk, s.f.). Los métodos de diseño generativo empleados para desarrollar la nueva partición tienen la capacidad para crear el tipo de producto que los diseñadores no podrían evocar por sí mismos (Rhodes, 2015). Los algoritmos utilizados por Autodesk se basaron en los patrones de crecimiento del moho mucoso y los huesos de los mamíferos. Permitieron la construcción de una división de tripulación nueva, más eficiente, pero igualmente estable.

4) Generar ideas superando las rutinas de búsqueda locales.

Finalmente, los sistemas de IA deben poder generar o reconocer ideas y oportunidades para la innovación en dominios de conocimiento no relacionados. Un método de IA que puede facilitar la generación o el reconocimiento de ideas y oportunidades innovadoras es el aprendizaje por refuerzo (*Reinforcement Learning* en inglés). Algunos avances recientes en este campo son el aprendizaje por refuerzo no supervisado y el aprendizaje por meta-refuerzo, que posiblemente podrían

ser útiles para generar ideas innovadoras y creativas. El aprendizaje por refuerzo en general implica entrenar a un agente en un entorno virtual. El agente utiliza una señal de recompensa para saber qué acciones maximizan las maximizan y qué acciones las disminuyen (Charrington, 2019). El aprendizaje por refuerzo no supervisado intenta abordar esta deficiencia al permitir que el agente aprenda su función de recompensa mediante un flujo de observaciones y acciones establecido y estructurado a tal efecto (Warde-Farley et al., 2018).

En resumen, resulta posible afirmar que los dominios de aplicación de la IA y su impacto en las organizaciones es considerable: impacta en múltiples industrias a partir de numerosos casos de uso y requiere de una armónica coordinación entre procesos, personas y tecnología. Esta realidad es aplicable al mundo de la gestión como al de la educación. Como enfatizan Acemoglu y Restrepo (2016), la automatización (en donde la IA está muy presente) puede generar, de manera endógena, incentivos para que las organizaciones introduzcan nuevas actividades / tareas intensivas, o bien, que se adelante a la creación de nuevas actividades / tareas que reduzcan la participación laboral (y posiblemente los salarios). Las aplicaciones de la IA a la educación, la salud y el diseño también pueden sugerir que muchos estudiantes, sobre todo aquellos con ciertas discapacidades de aprendizaje, se beneficien de programas de educación individualizada e instrucción personalizada (Kolb, 1984). De este modo, en múltiples países y regiones, las aplicaciones de la IA pueden permitir que el sistema educativo sea más personalizado y, en el proceso, crear más puestos de trabajo para que los profesionales supervisen, diseñen e implementen programas individualizados.

Algunas aplicaciones, casos de éxito y benchmarks relevantes

Las cadenas de valor se han visto ampliamente beneficiadas del creciente interés e inversión en IA. Los sistemas de información y las tecnologías disruptivas como el almacenamiento en la nube, el Internet de las Cosas (IoT – *Internet of Things* por sus siglas en inglés), las tecnologías inalámbricas y los sensores asequibles, actuaron como facilitadores de la evolución de las operaciones comerciales. Ahora, es posible que los procesos comerciales y las cadenas de suministro, incluso en varias empresas y diferentes geografías, estén perfectamente conectados. Los dispositivos inteligentes, los datos en el punto de venta, las aplicaciones móviles y los sensores

han permitido a las organizaciones recopilar datos demográficos, geográficos y de comportamiento de los consumidores en tiempo real, lo cual ha sido fundamental para el desarrollo de productos / servicios y la gestión de la capacidad y el planeamiento de restricciones. La capacidad de respuesta ha ganado importancia en el mundo de las operaciones y los servicios, a medida que los clientes demandan progresivamente mayor personalización, con poca antelación, nula fricción y con plazos de entrega reducidos. Este apartado explorará algunas aplicaciones, casos de éxito y *benchmarks* relevantes de IA.

IA en Salud

Salud es una de las áreas en las que la IA tiene un alto potencial de valor. Durante los últimos años, se han desarrollado varias aplicaciones para plataformas *online* con el objetivo de aumentar la eficiencia de las operaciones clínicas, así como también la programación de citas / cirugías, análisis de diagnóstico por imágenes, pronóstico y predicción de dolencias específicas (Panch et al., 2018). Por ejemplo, la solución de IBM (Watson) utiliza imágenes de mamografías y registros médicos, incluida la deficiencia de hierro, la función tiroidea, biopsias, pruebas de laboratorio y códigos de otros diagnósticos para predecir el cáncer de mama con un año de anticipación; posee un 87% de precisión, cifra comparable con la efectividad de un radiólogo humano (Chorev, 2019). Otro caso es el de Sugar.IQ, una aplicación para el manejo de la diabetes que funciona con algoritmos *Machine Learning* y analiza los niveles de glucosa en sangre, los datos de insulina, los episodios de hipoglucemia y los registros de alimentos para brindar información personalizada y predicciones sobre los eventos de azúcar en la sangre de los usuarios (Latts, 2019). Otra aplicación de AI es Migraine.AI, un desarrollo personalizado para el manejo de la migraña que predice qué causa la migraña de un usuario y optimiza su medicación (MigraineAI, 2019). La aplicación proporciona predicciones personalizadas mediante la integración de perfiles médicos y genéticos de pacientes, desencadenantes ambientales y diversos comportamientos del paciente, incluido el uso de medicamentos y los patrones de sueño. Solo utiliza sensores de teléfonos inteligentes para monitorear pasivamente y procesar datos en tiempo real, que consta de 400 puntos de datos distintos. Actualmente, el equipo de investigación de Migraine.AI está llevando a cabo ensayos clínicos en asociación con instituciones prestigiosas como la Universidad de Oxford, Garmin y la Universidad de Georgetown. En función de lo abordado respecto del impacto de la IA en el ámbito de la salud, cabe destacar

que la digitalización de la práctica clínica será clave para la toma de decisiones automatizadas (Romeo Casabona & Lazcoz Moratinos, 2020) así como también para replantear cómo optimizar los recursos dedicados a la atención directa del paciente en la consulta, potenciando que la progresiva automatización contribuya a restaurar la valiosa conexión y confianza entre pacientes y médicos y que agregue valor a un ecosistema en donde la tecnología tendrá tanto protagonismo como los profesionales de la salud que la utilicen.

IA en Manufactura

La digitalización de la industria de Manufactura inició una transformación significativa con impacto en la gestión de las operaciones y los procesos productivos. La llamada Industria 4.0 optimiza el uso de datos, computadoras, algoritmos y automatización al servicio de la agilidad operativa en contextos de elevada demanda. Algunos ejemplos a considerar:

- Big River Steel LLC en Arkansas está utilizando IA impulsada por aprendizaje profundo y redes neuronales para crear un “*molino de autoaprendizaje*” para identificar problemas durante la producción, garantizar la calidad y conservar energía (Murawski, 2019). Los datos para entrenar los algoritmos son capturados por miles de sensores. El sistema de IA recopila datos sobre las condiciones del equipo, como la presión y la temperatura. La tecnología ayuda a la acería a producir diferentes grados de acero con menores costos operativos, un impulso competitivo.
- Alibaba ha comenzado a desplegar robots potenciados por IA en sus depósitos. Según resultados presentados (Jaimovich, 2018), 70% del trabajo es realizado por robots, que se mueven a toda velocidad y que logran evitar choques gracias a su tecnología de sensores; giran sobre su propio eje y cargan sus baterías automáticamente cuando es necesario, con apenas 5 minutos de carga logran una autonomía de 4 o 5 horas.
- Tesla, además de manufacturar vehículos eléctricos en sus Gigafactories inteligentes, recopila eficazmente sus datos de todos sus vehículos, así como de sus conductores, con sensores internos y externos que pueden recoger información

sobre la ubicación del conductor y cómo está operando el vehículo. Los datos se utilizan para generar mapas con gran densidad de datos que muestran desde el aumento promedio de la velocidad del tráfico en un tramo de carretera, hasta la ubicación de los peligros que hacen que los conductores tomen medidas (Marr, 2021).

- John Deere (Marr, 2018a) ha implementado herramientas analíticas basadas en datos y automatización para generar una revolución en la industria del Agronegocio. Adquirieron Blue River Technology por su solución para utilizar algoritmos avanzados de aprendizaje automático para permitir que los robots tomen decisiones basadas en datos visuales sobre el tratamiento de plagas. La compañía ya ofrece vehículos agrícolas automatizados para arar y sembrar con sistemas GPS de precisión milimétrica, y su sistema *Farmsight* está diseñado para ayudar en la toma de decisiones agrícolas.

IA en Retail (tiendas minoristas)

Las compras *online* permiten a las tiendas en línea recopilar grandes volúmenes de datos sobre hábitos de compra y patrones de navegación. Estos datos habilitan a mejorar la precisión sobre qué información brindar sobre futuras ofertas y promociones, así como también, ayudan a las tiendas a gestionar sus operaciones, cumpliendo apropiadamente con requerimientos de demanda, gestión de inventarios y sistemas de distribución. A continuación, se comparten algunos ejemplos:

- Walmart, utiliza un algoritmo *Machine Learning* con capacidades de reconocimiento de imágenes llamado “*Eden*” para clasificar los productos según su frescura y predecir cuándo se estropearán (Weber & Schutte, 2019). Eden es un sistema de gestión de la calidad que recopila grandes cantidades de datos para predecir la frescura y la vida útil de los productos frescos. Al conocer la frescura, Walmart puede optimizar el flujo de productos perecederos. Los empleados pueden tomar fotografías de frutas y verduras y automatizar el proceso de control de calidad. Los sensores rastrean la temperatura y otros factores para brindar una imagen completa de la vida útil de sus productos frescos.

- Home Depot utiliza el aprendizaje profundo (*Deep Learning*) para predecir las probabilidades de agotamiento de los artículos del inventario y para automatizar las decisiones de reabastecimiento del inventario, mientras que Kroger Company lo utiliza aprendizaje profundo para encontrar el camino más corto para navegar en un almacén para completar un pedido de un cliente (Weber y Schutte, 2019).
- Amazon, por otra parte, ha lanzado “*Amazon Go*”, tiendas físicas para adquirir artículos comestibles y otros misceláneos de supermercado. Se trata de sucursales en donde el cliente ingresa a la tienda con su celular (conectado a una cuenta de Amazon), adquiere los productos que desea y al salir (sin hacer filas ni colas), encontrará facturado el importe de su compra en su cuenta de Amazon. La firma ha empleado las tecnologías que se encuentran en los automóviles autónomos, como la visión por computadora (*Computer vision* en inglés), la fusión de sensores (*Sensor fusion* en inglés) y el *Deep Learning* (Tillman, 2021). Un caso similar ocurrió recientemente en Argentina con Grido, una heladería con más de 1500 sucursales desplegadas por todo el país. A través de una alianza con Intuitivo, una startup dedicada a la creación de góndolas inteligentes con el uso de cámaras e IA, la firma cordobesa instaló en algunas de sus sucursales, heladeras inteligentes que permiten el *grab and go*, el sistema de “*agarrar y llevar*” que hizo célebre Amazon con sus locales Amazon Go (McDougall, 2021).

IA aplicada a Educación

Existen varias aplicaciones de IA para la educación. Las áreas populares para incorporar tecnologías con el objetivo de facilitar el aprendizaje de los estudiantes incluyen: educación en ingeniería, educación superior, educación matemática, educación de idiomas, educación quirúrgica, educación robótica, educación informática, educación STEM (*Science, Technology, Engineering & Mathematics* por su acrónimo en inglés), educación médica, educación musical y educación científica. Las empresas que utilizan IA en la educación para mejorar el aula incluyen, entre otras, nombres como: Nuance, Knewton, Cognii, Querium, Century Tech, KidSense, Carnegie Learning, Kidaptive, Blippar, Thinkster Math, Volley y Qui-

zlet (Schroer, 2020). Estas empresas están fusionando lo orgánico y lo artificial mediante la aplicación de herramientas de IA para innovar en materia de enseñanza. Algunas aplicaciones y beneficios que la IA está teniendo en el campo de la educación son:

- *En el aula*. Si bien la IA nunca podrá reemplazar a los profesores humanos, puede desempeñar un rol relevante en el aula: podría permitir que los profesores deleguen la corrección de todas las tareas a una máquina potenciada con IA para que las califiquen, de modo que puedan invertir ese tiempo en pasar más tiempo con los estudiantes.
- *Tutoriales dentro y fuera del aula*. A pesar del costo y la necesidad de Internet, la IA es útil para la tutoría. Dado que los docentes no pueden estar disponibles para los estudiantes todo el tiempo, se necesitan tutores que desempeñen ese rol. Trabajar con un tutor entrenado con IA puede ayudar a los estudiantes a reducir la ansiedad social o académica a obtener ayuda (Sears, 2018).
- *Educación personalizada*. La educación tradicional no es del todo flexible. La IA permitirá una educación personalizada y adaptada a la condición específica de cada alumno (contemplando su contexto psico-social). La IA puede proporcionar un nivel de diferenciación que personalice el aprendizaje para cada estudiante individual; puede ayudar a crear un programa de estudio personalizado para cada alumno, adaptando así los estudios a sus necesidades específicas. La educación personalizada aumenta la eficiencia, mejora la accesibilidad y escala los procesos, derribando barreras de acceso, potenciando la diversidad y generando equidad (Plitnichenko, 2020).
- *Acceso universal a aulas globales*. La IA puede ayudar a eliminar los límites, facilitando así el aprendizaje de cualquier curso desde cualquier lugar y en cualquier momento en todo el mundo. Habría una gama más amplia de cursos disponibles en línea y, con la ayuda de la IA, los estudiantes podrían aprender desde donde se encuentren (Marr, 2018b).
- *Otras herramientas podrían incluir*: herramientas de evaluación, asistentes virtuales para estudiantes, juegos móviles, sistemas de tutoría inteligentes, robots educativos, educación en ingeniería y educación en diseño.

Lo cierto es que la aplicación de IA en educación tiene diversos beneficios: puede influir positivamente en cómo los niños pueden aprender, de dónde y cuándo pueden hacerlo recibiendo comentarios de los profesores en tiempo real. Los mentores virtuales (plataformas basadas en IA) pueden ofrecer un seguimiento más amplio y detallado del progreso de los estudiantes. La IA puede mejorar la calidad de la participación de los alumnos: las tecnologías modernas como la realidad virtual y la gamificación ayudan a involucrar a los estudiantes en el proceso educativo, haciéndolo más interactivo y personalizado.

Conclusiones

A lo largo de esta investigación, atravesando los senderos históricos de la IA y en base al análisis de aplicaciones en contextos multidisciplinares, se ha debatido qué aspectos debe contemplar una organización para poder potenciar el uso de esta tecnología disruptiva y el desarrollo de ventajas competitivas. No obstante, a pesar de los grandes beneficios ofrecidos, (Schmitz et al., 2019) señalan diversos obstáculos relevantes que las múltiples industrias deben superar para beneficiarse plenamente de la revolución 4.0 y mejorar las habilidades de su fuerza laboral. El primero de ellos radica en que las empresas no están dispuestas a realizar una gran inversión en “*Industria 4.0*” debido al alto costo percibido. Será fundamental que la Alta Dirección ofrezca “*Sponsorship*” al momento de definir qué presupuesto se invertirá en transformación digital, dado que hoy ya no resulta optativo sino más bien mandatorio para no quedar rezagado. El segundo obstáculo pondera el extenso plazo vinculado al retorno de las inversiones inherentes a esta revolución. A este efecto, se recomienda adoptar el enfoque de “*Producto Mínimo Viable*” mediante la implementación de pocas iniciativas que requieran inversión baja/mediana pero que generen alto impacto, a los efectos de que las ganancias obtenidas permitan absorber el costo inicial de escalado. En tercer término, se vislumbra la problemática de que implementaciones piloto a pequeña escala (también denominadas “*Pruebas de Concepto*”), pueden generar poco valor comercial, ya que los Ejecutivos no estiman el impacto potencial del piloto en los procesos de negocio y no definen factores críticos de éxito con precisión. Finalmente, debido a la falta de enfoque, las organizaciones, a menudo, presentan dificultades para determinar qué tecnología priorizar. Resulta claro, en este sentido, que más allá de la tecnología, será clave desarrollar – para toda iniciativa – un caso de negocios que pondere, a través de indicadores clave de gestión (KPI – *Key Performance Indicators*, por

sus siglas en inglés) y objetivos / resultados clave (OKRs – *Objectives and Key Results*, por sus siglas en inglés) el rumbo estratégico del portafolio de proyectos de la organización.

Otra reflexión sobre el impacto que la IA posee en las organizaciones se retrotrae a comprender el verdadero impacto del efecto de desplazamiento vs. el efecto de reinstalación. A pesar de que es probable que la IA reemplace algunas tareas que anteriormente se habían implementado únicamente por la colaboración entre humanos, o bien, entre humanos y computadoras (Nilsson, 2009; Acemoglu & Restrepo, 2018) aún hay muchas tareas inherentemente humanas que son difíciles de automatizar tales como el razonamiento complejo, la capacidad de juicio, el aprendizaje basado en analogías, la resolución de problemas abstractos y una mezcla de empatía y comunicación (Daugherty & Wilson, 2017).

A pesar de sus inmensos beneficios, las aplicaciones de IA operan en el área legal gris creando un entorno asimétrico, en el que se incentiva a las organizaciones con fines de lucro a acelerar el despliegue de tecnologías de IA, mientras dedican un tiempo mínimo a desarrollos que son vitales para proteger a los consumidores de numerosos perjuicios y sesgos (Whittaker et al., 2018). Además, una regulación inadecuada hace difícil encontrar una entidad legal en el extremo del proveedor a quien responsabilizar, si un consumidor se ve perjudicado por una tecnología potenciada por IA.

Las cadenas de valor deberán reinventarse, requiriendo inversiones para garantizar el almacenamiento y la seguridad adecuados de los datos. En este sentido, adoptar estrategias robustas de ciberseguridad será crítico en cualquier gestión de procesos que implique el uso de IA como medio para explotar el potencial de negocio detrás de grandes volúmenes de datos.

En otra línea argumentativa, esta investigación ha realizado hincapié en la transformación de la línea gerencial como parte del proceso de toma de decisiones. En línea con (Kolbjørnsrud, Amico & Thomas, 2016), sobre una encuesta de 1.770 gerentes de 14 países y 37 ejecutivos a cargo de la transformación digital en sus organizaciones, resultó posible identificar 4 prácticas salientes.

- *Práctica 1: dejar tareas administrativas a la IA.* Según la encuesta, los Gerentes de todos los niveles dedican más de la mitad de su tiempo a tareas administrativas, de coordinación y control. Por ejemplo, un gerente de tienda típico debe constantemente hacer malabarismos con los horarios de los turnos debido a enfermedades, vacaciones o salidas repentinas de los miembros del personal. La IA automatizará muchas de estas tareas, dejando más tiempo disponible para labores estratégicas y/o de mayor valor agregado.
- *Práctica 2: concentrarse en el trabajo que requiere de un juicio.* Muchas decisiones requieren conocimientos más allá de lo que la IA puede extraer de los datos únicamente. Las habilidades orientadas al juicio del pensamiento creativo y la experimentación, el análisis y la interpretación de datos y el desarrollo de estrategias seguirán siendo habilidades requeridas para tener éxito en el futuro sin ser reemplazados por una máquina.
- *Práctica 3: tratar a las máquinas inteligentes como “colegas”.* Los Gerentes que ven la IA como un colega reconocerán que no hay necesidad de “competir contra una máquina”. Si bien es poco probable que el juicio humano esté automatizado, las máquinas inteligentes pueden contribuir enormemente a este tipo de trabajo, ayudando en el apoyo a las decisiones y las simulaciones basadas en datos, así como en las actividades de búsqueda y descubrimiento.
- *Práctica 4: trabajar como un diseñador.* Si bien las propias habilidades creativas de los Gerentes son vitales, quizás aún más importante sea su capacidad para aprovechar la creatividad de los demás. Los Gerentes-diseñadores integran el pensamiento de diseño en las prácticas de sus equipos y organizaciones. El pensamiento creativo y la experimentación serán áreas clave que deberán fortalecerse a medida que la IA se hace cargo (cada vez más) del trabajo operativo, administrativo, rutinario y sin valor agregado para el negocio.

Finalmente, también será clave fomentar la innovación, identificar qué tipos de innovación interactúan en los diversos contextos y coyunturas. En este sentido, cabe resaltar que la innovación no solamente resultará de implementar tecnología, sino de identificar cómo puede reconfigurarse un mercado, conquistando clientes y definiendo propuestas de valor sobresalientes que los cautiven (Lerner, 2021). En estos temas vale recordar la relevancia de:

Apalancar la generación de redes: trabajar continuamente en el desarrollo de capacidades de aprendizaje / desaprendizaje.

Cultivar agilidad para el aprendizaje: cambiar el modo de aprender y re-aprender (Lerner & Mavrommatis, 2019).

Desarrollar adaptabilidad personal: no subestimar las condiciones del entorno, pero tampoco actuar en forma paranoica ante una crisis.

Bibliografía

- Acemoglu, D. & Restrepo, P. (2018). *Artificial intelligence automation and work*. Tech. rep., National Bureau of Economic Research.
- Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2019). *Artificial Intelligence, Automation, and Work*. En University of Chicago Press, *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda* (pp. 197-236). DOI: 10.7208/chicago/9780226613475.001.0001
- Aghion, P. & Bunel, S. (2021). *El poder de la destrucción creativa: ¿Qué impulsa el crecimiento económico?* Deusto.
- Aguerre, C., Amunátegui Perelló, C., Brathwaite, C., Castañeda, J. D., Castaño, D., Del Pozo, C., Flórez Rojas, L., Gómez Montt, C., Lara Gálvez, J. C., López, J., Madrid, R., Martín del Campo, A. V., & Vargas Leal, J. (2020). *Inteligencia Artificial en América Latina y el Caribe. Ética, Gobernanza y Políticas*. CETyS. UdeSA. <https://guia.ai/>
- Anllo, G., Corvalán, J. G., Costilla-Reyes, O., Enciso Tonatiuh, Gaytan, F., Le Fevre, E., Martínez M. Y., Mata Tapia, S., Paredes M., & Vega Servín, M. (2020). *AI Latam Book 2020*. Cumbre de Inteligencia Artificial de América Latina 2020, Estados Unidos. <https://ialab.com.ar/wp-content/uploads/2021/01/AI-BOOK..pdf>
- Asimov, I. (2014). *Historia y cronología de la ciencia y los descubrimientos*. Grupo Planeta. Primera edición original, Asimov's Chronology Science & Discovery, 1990.
- Association for the Advancement of Artificial Intelligence (s.f.). *A Brief History of AI*. AITopics. <https://aitopics.org/misc/brief-history>
- Autodesk. (s.f.). *Airbus: reimagining the future of air travel*. Autodesk. <http://www.autodesk.com/customer-stories/airbus>.

- BBC. (junio de 2020). *IBM abandons 'biased' facial recognition tech*. BBC News. <https://www.bbc.com/news/technology-52978191>
- Benko, A., & Lányi, C. S. (2009). History of artificial intelligence. In *Encyclopedia of Information Science and Technology, Second Edition* (pp. 1759-1762). IGI Global.
- Briedis, H. Gregg, B., Heidenreich, K & Liu, W. (abril de 2021). *Omnichannel: The path to value*. McKinsey. <https://www.mckinsey.com/business-functions/marketing-and-sales/our-insights/the-survival-guide-to-omnichannel-and-the-path-to-value>
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2017a). Artificial intelligence, for real. *Harvard Business Review*.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2017b). Machine, platform, crowd: Harnessing our digital future. *WW New York: Norton & Company*.
- Brynjolfsson, E., & Mitchell, T. (2017). What can machine learning do? Workforce implications. *Science*, 358(6370), 1530-1534.
- Boden, Margaret A. (2017). *Inteligencia artificial*. Turner.
- Buchanan, B. G. (2005). A (very) brief history of artificial intelligence. *Ai Magazine*, 26(4), 53-53.
- Carabantes López, M. (2014). *Inteligencia artificial: condiciones de posibilidad técnicas y sociales para la creación de máquinas pensantes* [Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid].
- Castells, M. (2009). *The Rise of the Network Society* (2^{da} Edición). Wiley-Blackwell.
- Charrington, S. (enero de 2019). Trends in reinforcement learning with Simon Osindero (217) [Audio podcast episodio]. The twiml AI podcast. <https://twimlai.com/twiml-talk-217-trends-in-reinforcement-learning-with-simon-osindero/>
- Chorev, M. (junio de 2019). *AI models predict breast cancer with radiologist-level accuracy*. IBM. <https://www.ibm.com/blogs/research/2019/06/ai-models-radiologist-level-accuracy/>
- Christensen, C. M. (1999). *El dilema del innovador*. Ediciones Granica SA.
- Conti, M. (abril de 2016). *The incredible inventions of intuitive AI* [Video]. TED. https://www.ted.com/talks/maurice_conti_the_incredible_inventions_of_intuitive_ai?referrer=playlist-talks_on_artificial_intelligen
- Daugherty, P. & Wilson, H.J. (2017). *Process reimaged: together, people and ai are reinventing business processes from the ground up*. Accenture. <https://www.accenture.com/acnmedia/PDF-76/Accenture-Process-Reimagined.pdf>
- Davies, A. (junio de 2020). *BMW Takes Self-Driving to the Next Level*. Autoweek, <https://www.autoweek.com/news/technology/a32852529/bmw-takes-self-driving-to-the-next-level/>
- De Bono, E. (1991). *Aprender a pensar* (3^{ra} Ed). Plaza & Janes editores S.A.
- Duranton, S. (septiembre de 2019). *How humans and AI can work together to create better businesses* [Video]. TED. https://www.ted.com/talks/sylvain_duranton_how_humans_and_ai_can_work_together_to_create_better_businesses
- Edmondson, A. C. (2018). *The fearless organization: Creating psychological safety in the workplace for learning, innovation, and growth*. John Wiley & Sons.
- Elhacham, E., Ben-Uri, L., Grozovski, J., Bar-On, Y. M., & Milo, R. (2020). Global human-made mass exceeds all living biomass. *Nature*, 588(7838), 442-444.
- Fleming, N. (2018). How artificial intelligence is changing drug discovery. *Nature*, 557(7706), S55-S55.
- Gassmann, O., Frankenberger, K., & Csik, M. (2014). *The business model navigator: 55 models that will revolutionise your business*. Pearson UK.
- Gobierno de la República Argentina. (2019). *Plan Nacional de Inteligencia Artificial*. <https://ia-latam.com/wp-content/uploads/2020/09/Plan-Nacional-de-Inteligencia-Artificial.pdf>
- Haefner, N., Wincent, J., Parida, V., & Gassmann, O. (2021). Artificial intelligence and innovation management: A review, framework, and research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 162, 120392.
- Heffernan, M. (julio 2019). *The human skills we need in an unpredictable world* [Video]. TED. https://www.ted.com/talks/margaret_heffernan_the_human_skills_we_need_in_an_unpredictable_world
- Holzinger, A. (2016). Interactive machine learning for health informatics: when do we need the human-in-the-loop?. *Brain Informatics*, 3(2), 119-131.
- Hurwitz, J., Morris, H., Sidner, C., & Kirsch, D. (2019). *Augmented Intelligence: The Business Power of Human-Machine Collaboration*. CRC Press.
- Jaimovich, D. (octubre de 2018). *Cómo trabajan los robots en los almacenes inteligentes*. Infobae. www.infobae.com/america/tecnologia/2018/10/15/como-trabajan-los-robots-en-los-almacenes-inteligentes/
- Johansen, N., & Quon, G. (2019). scAlign: a tool for alignment, integration, and rare cell identification from scRNA-seq data. *Genome biology*, 20(1), 1-21.
- Jones, T & Sasser Jr, W.E. (1995). Why Satisfied Customers Defect. *Harvard business review*, 73(6), 88.
- Kolb, D. (1984). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. Prentice Hall.
- Kolbjørnsrud, V., Amico, R., & Thomas, R. J. (2016). How artificial intelligence will redefine management. *Harvard Business Review*, 2, 1-6.
- Kotter, J. P. (2012). *Leading change*. Harvard business press.
- KPMG. (2021). *Thriving in a AI world Unlocking the value of AI across seven key industries*. KPMG. <https://advisory.kpmg.us/articles/2021/thriving-in-an-ai-world.html>
- KPMG & Harvey Nash. (2020). *The Harvey Nash / KPMG CIO survey 2020*. KPMG. https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/co/sac/pdf/2020/09/Harvey_Nash_KPMG_CIO_survey_2020_FINAL.pdf
- KPMG. (2018). *Agile transformation of the (IT) operating model*. KPMG. <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ch/pdf/agile-transformation-operating-model.pdf>
- Kurzweil, R. (2005). *The singularity is near: When humans transcend biology*. Penguin.
- Lafuente Niño, E. et al. (2017). *Historia de la psicología*. Editorial UNED.
- Laloux, F. (2015). The future of management is teal. *Strategy+ business*, 80, 1-12.
- Lerner, A. (julio de 2021). *Gestionar el nuevo modelo de negocios en el mundo digital*. Revista Mercado. <https://mercado.com.ar/management-marketing/gestionar-el-nuevo-modelo-de-negocios-en-el-mundo-digital/>
- Lerner, A. & Magnano, N. (julio de 2018). La industria de servicios financieros ante el reto digital. *Revista BANK*, (60), 18-21.
- Lerner, A. & Mavrommatis, H. (octubre 2018). Liderazgo para la transformación: algunas reflexiones y desafíos con final abierto. *Revista Enfoques (Thomson Reuters)*, octubre 2018(10), 22-37.
- Latts, L. (enero de 2019). *Alleviating the burden of diabetes with AI*. IBM. <https://www.ibm.com/blogs/think/2019/01/alleviating-the-burden-of-diabetes-with-ai/>

MacLennan, B. (2009). History of Artificial Intelligence Before Computers. In *Encyclopedia of Information Science and Technology, Second Edition* (pp. 1763-1768). IGI Global.

March, J. G. (1991). Exploration and exploitation in organizational learning. *Organization science*, 2(1), 71-87.

Marr, B. (abril de 2018a). *27 incredible examples of AI and Machine Learning in practice*. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/04/30/27-incredible-examples-of-ai-and-machine-learning-in-practice/?sh=467fe5875022>

Marr, B. (julio de 2018b). *How is AI used in education - Real world examples of today and a peek into the future*. Forbes.

<https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/07/25/how-is-ai-used-in-education-real-world-examples-of-today-and-a-peek-into-the-future/?sh=2aea5075586e>

Marr, B. (diciembre de 2018c). *The amazing ways how Unilever uses artificial intelligence to recruit & train thousands of employees*. Forbes.

<https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/12/14/the-amazing-ways-how-unilever-uses-artificial-intelligence-to-recruit-train-thousands-of-employees>.

Marr, B. (julio de 2021). *The amazing ways Tesla is using Artificial Intelligence and Big Data*. Bernard Marr & Co. <https://bernardmarr.com/the-amazing-ways-tesla-is-using-artificial-intelligence-and-big-data/>

Mavrommatis, H. (octubre de 2020). *El secreto mejor guardado de los profesores*. Observatorio, Instituto para el futuro de la educación. Tecnológico de Monterrey.

<https://observatorio.tec.mx/edu-bits-blog/el-secreto-mejor-guardado-de-los-profesores>

McDougall, F. (agosto de 2021). *Grido lanza el modelo "Amazon Go" en el país: cómo es el sistema creado por argentinos y que apoya Galperin*. iProup. <https://www.iproup.com/economia-digital/24991-grido-como-es-el-amazon-go-que-lanzo-en-la-argentina>

MigraineAI. (2020). *Migraine AI official website*. MigraineAI. <http://migraine.ai>

Murawski, J. (junio de 2019) *AI runs smart steel plant*. WSJ. <https://www.wsj.com/articles/ai-runs-smart-steel-plant-11563183000>

Newell, A. (1982). Intellectual issues in the history of artificial intelligence. *Carnegie-Mellon university*. <https://doi.org/10.1184/R1/6606539.v1>

Nilsson, N. J. (1971) *Problem-solving methods in artificial intelligence*. McGraw-Hill.

Nilsson, N.J. (2019). *The quest for artificial intelligence*. Cambridge University Press.

Panch, T., Szolovits, P., & Atun, R. (2018). Artificial intelligence, machine learning and health systems. *Journal of global health*, 8(2).

Parker, G. G., Van Alstyne, M. W., & Choudary, S. P. (2016). *Platform revolution: How networked markets are transforming the economy and how to make them work for you*. WW Norton & Company.

Pine, B. J., Pine, J., & Gilmore, J. H. (1999). *The experience economy: work is theatre & every business a stage*. Harvard Business Press.

Plitnichenko, L. (mayo de 2020). *5 Main roles of artificial intelligence in education*. eLearning Industry. <https://elearningindustry.com/5-main-roles-artificial-intelligence-in-education>

Prahalad, C.K. & Hamel, G. (1996). *Compitiendo por el futuro*. Harvard Business School Press, Boston.

Rhodes, M. (diciembre de 2015). Airbus' newest design is based on bones and slime mold. Wired.

<https://www.wired.com/2015/12/airbus-newest-design-is-based-on-slime-mold-and-bones/>.

Rifkin, J. (2010). *La civilización empática*. Paidós.

Rifkin, J. (2000). *La era del acceso: La revolución de la nueva economía*. Paidós.

Rockwell, A. (28 de agosto de 2017). *The History of Artificial Intelligence*. Harvard Graduate School of the Arts and Sciences. Harvard University. <https://sitn.hms.harvard.edu/flash/2017/history-artificial-intelligence>

Rodriguez, P. (2018). *Inteligencia Artificial, Cómo cambiará el mundo (y tu vida)*. Deusto S.A. Ediciones. Barcelona.

Romeo Cazabona, C. & Lazcoz Moratinos, G. (marzo de 2020). *Inteligencia Artificial aplicada a la salud: ¿Qué marco jurídico?*. Universidad del País Vasco/EHU Proyecto PANELFIT del Programa H2020 de la Comisión Europea. <https://www.fundacionmercksalud.com/wp-content/uploads/2020/03/1.3.-IA-APLICADA-A-LA-SALUD.-Carlos-M.-Romeo-Guillermo-Lazcoz.pdf>

Santana Vega, C. (2019). *GPT-2 El Impresionante Generador de Texto Censurado* [Video]. Youtube. <https://youtu.be/JVT7ITIZY7I>

Schein, E. *Organizational Culture and Leadership* (4th Ed). Jossey Bass, 2010.

Schmitz, C., Tschiesner, A., Janse, C., Hallerstede, S. & Garms, F. (septiembre de 2019). *Industry 4.0: capturing value at scale in discrete manufacturing*. McKinsey. <https://www.mckinsey.com/industries/advanced-electronics/our-insights/capturing-value-at-scale-in-discrete-manufacturing-with-industry-4-0>

Schraagen, J. M., & Diggelen, J. V. (2021). A Brief History of the Relationship Between Expertise and Artificial Intelligence. In *Expertise at Work* (pp. 149-175). Palgrave Macmillan, Cham.

Schrage, M. (2016). Rethinking networks: exploring strategies for making users more valuable. *MIT Initiative for the Digital Economy*, 2016 (01).

Schroer, A. (marzo de 2020). *12 Companies using AI in education to enhance the classroom*, BuiltIn. <https://builtin.com/artificial-intelligence/ai-in-education>

Schwaber, K., & Sutherland, J. (2012). *Software in 30 days: how agile managers beat the odds, delight their customers, and leave competitors in the dust*. John Wiley & Sons.

Sears, A. (abril de 2018). *The role of artificial intelligence in the classroom*. eLearning Industry. <https://elearningindustry.com/artificial-intelligence-in-the-classroom-role>

Smith, R. G., & Farquhar, A. (2000). The road ahead for knowledge management: an AI perspective. *AI magazine*, 21(4), 17-17.

Sokalski, M., Klous, S. & Chandrasekaran, S. (octubre de 2020). *¿Cómo controlar la inteligencia artificial (IA)? El imperativo de la transparencia y la claridad*. KPMG. <https://home.kpmg/ar/es/home/insights/2020/11/como-controlar-la-inteligencia-artificial.html>

Stephan, M., Brown, D., & Erickson, R. (febrero de 2017). *Talent acquisition: Enter the cognitive recruiter*. Deloitte Insights.

<https://www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/human-capital-trends/2017/predictive-hiring-talent-acquisition.html>.

Tapscott, D. & Williams, A. (2008) *Wikinomics: How Mass Collaboration Changes*. Portfolio.

Tillman, M. (marzo de 2021). *Amazon Go y Amazon Fresh: cómo funciona la tecnología Just walk out*. Pocket-Lint. <https://www.pocket-lint.com/es-es/gadgets/noticias/amazon/139650-que-es-amazon-donde-esta-y-como-funciona>

Warde-Farley, D., Van de Wiele, T., Kulkarni, T., Ionescu, C., Hansen, S., & Mnih, V. (2018). Un-supervised control through non-parametric discriminative rewards. *arXiv preprint arXiv:1811.11359*.

Weber, F., & Schütte, R. (2019). A domain-oriented analysis of the impact of machine learning—the case of retailing. *Big Data and Cognitive Computing*, 3(1), 11.

Wenger, E. (1998). *Communities of practice: Learning, meaning, and identity*. Cambridge university press.

Westcott Grant, K. (2018). *Netflix's data-driven strategy strengthens claim for "best original content"*. Forbes.

<https://www.forbes.com/sites/kristinwestcottgrant/2018/05/28/netflixs-data-driven-strategy-strengthens-lead-for-best-original-content-in-2018>.

Whittaker, M., Crawford, K., Dobbe, R., Fried, G., Kaziunas, E., Mathur, V., West, S.M., Richardson, R., Schultz, J., Schwartz, O. (diciembre 2018). *AI now report 2018*. https://ainowinstitute.org/AI_Now_2018_Report.pdf

World Economic Forum. (2020). *The Future of Jobs Report 2020*. Geneva: World Economic Forum. <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020>

Yang, K. K., Wu, Z., & Arnold, F. H. (2019). Machine-learning-guided directed evolution for protein engineering. *Nature methods*, 16(8), 687-694.

Zhang, D., Mishra, S., Brynjolfsson, E., Etchemendy, J., Ganguli, D., Grosz, B., ... & Perrault, R. (2021). *The ai index 2021 annual report*. *arXiv preprint arXiv:2103.06312*. <https://aiindex.stanford.edu/report/>

ACADEMIA NACIONAL DE CIENCIAS MORALES Y POLÍTICAS

Las tecnologías exponenciales y la inteligencia artificial como transformadores del trabajo humano

Julián A. de Diego¹

¹ Julián Arturo de Diego es abogado, Doctor en Ciencias Jurídicas y asesor de empresas y de entidades empresarias en materia laboral y titular del Estudio Jurídico que lleva su nombre. Es Profesor Emérito de la Pontificia Universidad Católica Argentina y Director Honorario del Posgrado en Conducción de Recursos Humanos de la Escuela de Negocios. Ha escrito más de cuatro mil artículos en revistas especializadas, y en los diarios de mayor difusión como *Apertura*, *Negocios*, *Fortuna*, *Forbes*, *Clarín*, *La Nación*, *IProfesional*, *InfoBae*, *Ámbito Financiero* y *El Cronista* y en publicaciones internacionales como en la OIT, en la ONU PNUD, y en revistas especializadas de España, Italia y Francia. Es autor de veintidós libros, dos tratados, y más de cuarenta obras en colaboración con otros autores. Es Director del Consultor Laboral y del Consultor de la Seguridad social de LA LEY y colaborador permanente de Thomson Reuters y Jurisprudencia Argentina. Es Académico de Número de la Academia Nacional de Ciencias Morales y Políticas, y Secretario de su Junta Ejecutiva. Es miembro del Consejo Académico de la Fundación Libertad y Progreso. Es socio honorario de la Asociación Internacional de Derecho del Trabajo y de la Seguridad Social y de la Asociación Internacional de Recursos Humanos y Relaciones Laborales.

Introducción

Hemos ingresado a la IV Revolución Industrial o la Revolución Industrial 4.0² caracterizada por el desarrollo incontenible de las tecnologías exponenciales, en donde la informática, los sistemas ciberfísicos,³ la Internet de las cosas, la com-

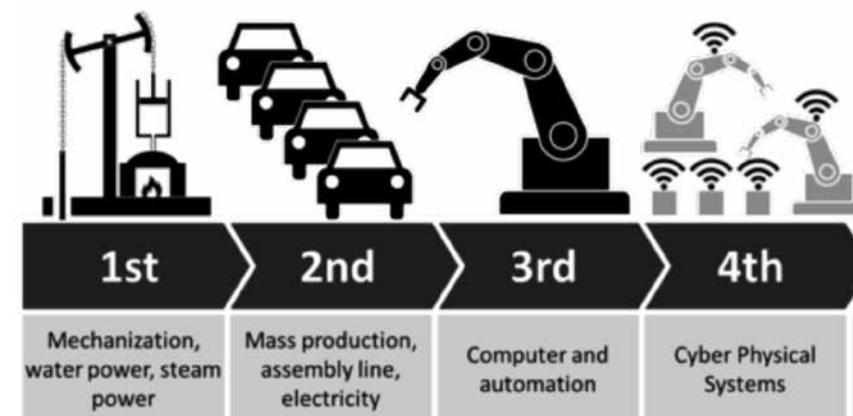
2 La Primera Revolución Industrial fue un proceso de transformación económica, social y tecnológica que se inició en la segunda mitad del siglo XVIII en el Reino de Gran Bretaña, que se extendió unas décadas después a gran parte de Europa Occidental y América Anglosajona, y que concluyó entre 1820 y 1840. Durante este periodo se vivió el mayor conjunto de transformaciones económicas, tecnológicas y sociales de la historia de la humanidad que vio el paso desde una economía rural basada fundamentalmente en la agricultura y el comercio a una economía de carácter urbano, industrializada y mecanizada. Se caracterizó por el empleo de la máquina de vapor, los telares semiautomáticos, y el desarrollo de la minería extractiva.

La Segunda Revolución Industrial se refiere a los cambios interrelacionados que se produjeron aproximadamente entre 1850 hasta 1914. El proceso de industrialización cambió su naturaleza y el crecimiento económico varió de modelo. Los cambios técnicos siguieron ocupando una posición central, junto a las innovaciones técnicas concentradas, esencialmente, en nuevas fuentes de energía como el gas o la electricidad, nuevos materiales como el acero y el petróleo; y nuevos sistemas de transporte (avión, automóvil y nuevas máquinas a vapor) y comunicación (teléfono y radio) indujeron transformaciones en cadena que afectaron al factor trabajo y al sistema educativo y científico; al tamaño y gestión de las empresas, a la forma de organización del trabajo, al consumo, hasta desembocar también en la política.

La Tercera Revolución Industrial, también llamada **Revolución Científico-Tecnológica (RCT)**, **Revolución de la Inteligencia (RI)** o **Tercera Revolución Tecnológica**, es un nuevo concepto y una fusión de ideas, que fuera planteado por Jeremy Rifkin, y avalado por el Parlamento Europeo en una declaración formal aprobada en junio de 2006. Se caracteriza por el desarrollo de energías renovables, de una importante conciencia sobre el cambio climático y la responsabilidad ecológica, los equipos automatizados, los vehículos autoguiados eléctricos e híbridos, redes inteligentes, la Internet de la energía, el hidrógeno y el almacenamiento energético, las redes sociales y la comunicación e híbridos. Esta temática ha sido desarrollada por el celular Smart o multifunción, y las cadenas de bloques.

3 Un sistema ciberfísico (en inglés, *cyber-physical system*, (CPS) es un mecanismo controlado o monitorizado por algoritmos basados en computación y estrechamente integrados con Internet. En los sistemas ciber-físicos, los componentes físicos y de *software* están profundamente entrelazados, donde cada elemento opera en diferentes escalas espaciales y temporales, exhibiendo múltiples comportamientos, e interaccionando entre ellos de innumerables formas que cambian con el contexto. Los ejemplos de CPS incluyen al sistema de red eléctrica inteligente, sistemas de automóvil autónomo, sistemas de monitorización médica, sistemas de control de procesos, monitorización de procesos de fabricación, monitorización de infraestructuras y carreteras, sistemas de robótica, domótica y pilotos automáticos aeronáuticos.

putación en la nube, y la robótica desafían todos los procesos conocidos.⁴ Estos hechos recibieron un impulso adicional con la Pandemia del Covid-19 y sus secuelas, que imprimieron mayor velocidad a los procesos de transformación, con el “home office”⁵ como herramienta defensiva contra los contagios para facilitar el aislamiento o el distanciamiento.



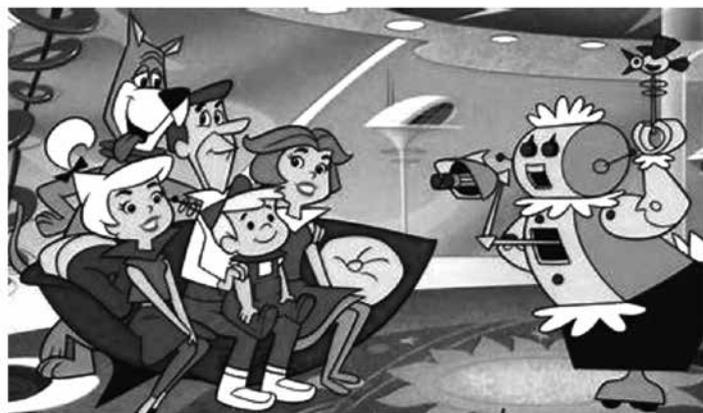
4 El concepto de **Cuarta Revolución Industrial** fue acuñado por Klaus Schwab, fundador del Foro Económico Mundial en el contexto de la edición del Foro Económico Mundial 2016. Schwab sostiene que si la **tercera revolución industrial** es la revolución digital que ha estado en vigor desde mediados del siglo XX, que se caracteriza por una fusión de tecnologías que está difuminando las líneas entre lo físico, esferas digitales y biológicas esta cuarta etapa está marcada por avances tecnológicos emergentes en una serie de campos, incluyendo robótica, inteligencia artificial, cadena de bloques, nanotecnología, computación cuántica, biotecnología, Internet de las cosas, impresión 3D, y vehículos autónomos.

5 El **teletrabajo** o **trabajo a distancia**, permite trabajar en un lugar diferente a la oficina, y se denomina home office cuando el mismo se desarrolla desde el hogar del teletrabajador. El trabajo (pudiendo ser dependiente o autónomo) se realiza en un lugar alejado de las oficinas centrales, de las instalaciones de producción o del cliente que lo contrata, mediante la utilización de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TICs). Es el trabajo realizado a distancia utilizando las TICs para producir bienes y servicios por cuenta propia o ajena y vender productos y servicios al mundo. Las TICs necesarias para estas tareas son principalmente PC, Internet, celular, teléfono y cámara digital, entre otras. Dentro de Internet se engloba principalmente la navegación web y el correo electrónico. Y, según el caso, blogs, sitios web, software de traducción, mensajería instantánea (chat) y telefonía IP (voIP). La Organización Internacional del Trabajo define el teletrabajo como una forma de trabajo que se realiza en una ubicación alejada de una oficina central o instalaciones de producción, separando al trabajador del contacto personal con colegas de trabajo que estén en esa oficina y como la nueva tecnología hace posible esta separación facilitando la comunicación.

La velocidad con la cual a cada instante se crean nuevas aplicaciones (Apps) y se innova es ya vertiginosa y supera cualquier predicción.

Es curioso observar que muchos de los inventos y creaciones de las tecnologías exponenciales fueron ideados por verdaderos pioneros de la ciencia ficción como Julio Verne (1828 - 1905), Ray Bradbury (1920 - 2012) o Isaac Asimov (1920 - 1992), entre otros.

Algunas de sus ideas centrales fueron receptadas por la televisión y el cine, y se convirtieron en verdaderos testimonios de lo que hoy son parte de nuestra realidad cotidiana, otros vaticinan hechos que serán de próxima ocurrencia. En la serie de dibujos animados Los Supersónicos (1960, conocida como The Jetsons en USA) se anticiparon al celular, la videollamada, el robot doméstico, el auto autoguiado, el home theater de video, las pantallas de TV inteligentes, los edificios inteligentes, la oficina rodeada de dispositivos automáticos, y la robótica.



La película *Yo, robot* es una producción de ciencia ficción producida en 2004, dirigida por Alex Proyas y protagonizada por Will Smith, basada en los cuentos de Isaac Asimov, que plantea la responsabilidad penal de los robots, el desempleo de los seres humanos, la sustitución de múltiples funciones por la tecnología, el robot doméstico al servicio de todo ser humano en cualquier actividad, y finalmente la rebelión de las máquinas contra su creador: el ser humano.⁶

⁶ Aunque se atribuye la historia a los relatos de Robots de Isaac Asimov, que incluye una recopilación de cuentos del mismo nombre, en realidad está basada en un guión de Harlan Ellison, titulado *Hardwired* y se parece más al libro *Caliban* de Isaac Asimov, escrito por Roger MacBride Allen.



La cinta eterniza las tres leyes de la robótica de Isaac Asimov,⁷ a saber:

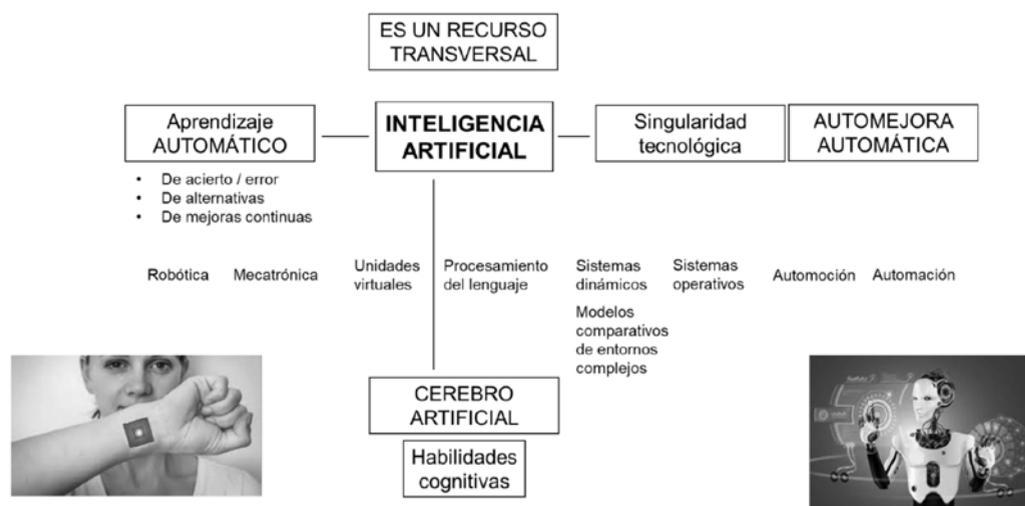
- **Primera Ley:** *Un robot no hará daño a un ser humano ni, por inacción, permitirá que un ser humano sufra daño.*
- **Segunda Ley:** *Un robot debe cumplir las órdenes dadas por los seres humanos, a excepción de aquellas que entren en conflicto con la primera ley.*
- **Tercera Ley:** *Un robot debe proteger su propia existencia en la medida en que esta protección no entre en conflicto con la primera o con la segunda ley.*

Pasar de la fantasía a la realidad hoy es, sencillamente, constatar que la tecnología vuelve a ser el centro de esta Revolución Industrial 4.0, y que el camino puede dar **un paso exponencial si visualizamos que en breve los sistemas informáticos van a poder replicar a la inteligencia humana**, no solo pensando como lo hace un ser humano, sino inclusive resolviendo problemas complejos, y creando nuevas ideas.

En un contexto como el descrito, se está produciendo también la transformación del trabajo humano, que dejó de ser una contribución manual o artesanal, que ya casi no es un aporte en un proceso industrial por la robótica.

⁷ Asimov, Isaac (1989) «Círculo vicioso». Del cuento *Los robots*. trad. Domingo Santos. Barcelona: Martínez Roca. ISBN 84-270-0906-2.

Se ha convertido en acciones que prioriza el cambio de mentalidad (“mindset”)⁸, las competencias y la educación específica en el arte oficio o profesión, la creatividad individual (“design thinking”) y el trabajo en equipo, la innovación y el alto desempeño (la extra milla), con una alta capacidad de resistir y superar los fracasos y las contingencias adversas (resiliencia), centrado en las personas que reúnen ciertas habilidades singulares y talento y lucidez, que también día a día siguen renovándose y reinventándose.



8 **Carol S. Dweck** (17 de octubre de 1946) es profesora de la cátedra Lewis and Virginia Eaton de Psicología social en la Universidad Stanford. Dweck es conocida por sus trabajos en el llamado *mindset* psicológico. Su contribución clave a la psicología social se relaciona con las teorías implícitas de la inteligencia, por su libro de 2006 *Mindset: The New Psychology of Success*. Según Dweck, **los individuos pueden ser colocados en un continuo de acuerdo con sus puntos de vista implícitos de donde viene la habilidad**. Algunos creen que su éxito se basa en la capacidad innata; Se dice que estos tienen una teoría “fija” de la inteligencia (mentalidad fija). Otros, que creen que su éxito se basa en el trabajo duro, el aprendizaje, la formación y la tenacidad, se dice que tienen un “crecimiento” o una teoría “incremental” de la inteligencia (mentalidad de crecimiento). Los individuos pueden no necesariamente ser conscientes de su propia mentalidad, pero su mentalidad todavía se puede discernir sobre la base de su comportamiento. Es especialmente evidente en su reacción al fracaso. Las personas de mentalidad fija temen el fracaso porque es una afirmación negativa sobre sus habilidades básicas, **mientras que las personas con mentalidad de crecimiento no se preocupan ni temen el fracaso tanto porque se dan cuenta de que su desempeño puede mejorarse y el aprendizaje proviene del fracaso**.

El trabajo humano se deberá insertar, como de hecho ya ocurre en estos momentos, con el recurso transversal que constituyen las nuevas tecnologías exponenciales y el advenimiento inexorable de la Inteligencia Artificial (IA).⁹

En alguna medida, **la IA implica la emulación de la inteligencia humana**, que no solo implica reproducir las habilidades cognitivas de la persona humana, sino que abarca límites insoslayables como son la creación de ideas propias, la secuencia que implica el razonamiento lógico, el pensamiento creativo, y la búsqueda de una solución que no resulta del algoritmo sino de la generación de un resultado racional que incluye la conciencia, los sueños, la creación. En síntesis, **la IA es un sistema cognitivo que busca reproducir la inteligencia humana**. Ello implica el desarrollo del razonamiento, la función creativa, y la resolución de problemas de toda índole, particularmente de los que revisten alta complejidad.

Se le adiciona además la posibilidad de que se desarrollen ideas nuevas, que exista **la posibilidad de que se planteen fantasías, sueños u objetivos aspiracionales, siempre replicando el que podría ser el pensamiento y la reflexión de un ser humano**.

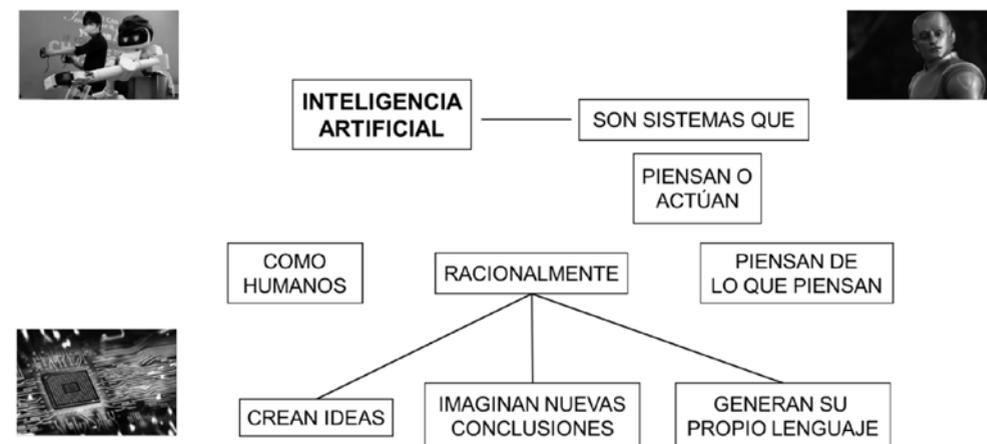
9 **La inteligencia artificial (IA)** es, en informática, la inteligencia expresada por máquinas, sus procesadores y sus *software*, que serían los análogos al cuerpo, el cerebro y la mente, respectivamente, a diferencia de la inteligencia natural demostrada por humanos y ciertos animales con cerebros complejos. Andreas Kaplan y Michael Haenlein definen la inteligencia artificial como «la capacidad de un sistema para interpretar correctamente datos externos, para aprender de dichos datos y emplear esos conocimientos para lograr tareas y metas concretas a través de la adaptación flexible». El término «inteligencia artificial» fue acuñado formalmente en 1956 durante la conferencia de Dartmouth, pero para entonces ya se había estado trabajando en ello durante cinco años en los cuales se había propuesto muchas definiciones distintas que en ningún caso habían logrado ser aceptadas totalmente por la comunidad investigadora. En 1956 fue inventado el término inteligencia artificial por John McCarthy, Marvin Minsky y Claude Shannon en la Conferencia de Dartmouth, un congreso en el que se hicieron previsiones triunfalistas a diez años que jamás se cumplieron, lo que provocó el abandono casi total de las investigaciones durante quince años. «Andreas Kaplan; Michael Haenlein (2019) Siri, Siri in my Hand, who’s the Fairest in the Land? On the Interpretations, Illustrations and Implications of Artificial Intelligence, Business Horizons, 62(1), 15-25». Caribe, Comisión Económica para América Latina y el fecha=3 de septiembre de 2019. «Cumbre de Inteligencia Artificial en América Latina». www.cepal.org. United States Copyright Office (5 de febrero de 2020). «Copyright in the Age of Artificial Intelligence». *Library of Congress*

La IA se podrá relacionar con la Inteligencia Emocional que puede modificar las decisiones con la particularidad del componente psicológico que obviamente, es propio de la naturaleza humana.¹⁰



La IA son sistemas que piensan y actúan racionalmente, como lo haría el ser humano, seguramente, con un modelo lógico riguroso, creando ideas, imaginando conclusiones, y generando un nuevo lenguaje, en donde no se sabe si tendrán cabida los sentimientos, el odio o el amor, y los estados emocionales. El gran desafío de la IA está ligada a objetivos que parecían inalcanzables, como sería el lograr que los sistemas puedan “pensar de lo que piensan”.

10 Daniel Goleman, (Stockton, 7 de marzo de 1946) es un psicólogo, periodista y escritor estadounidense. Autor del libro *Emotional Intelligence* (en español *Inteligencia Emocional*) en 1995. Define 5 elementos a saber: 1. **autocon-ciencia emocional**: la capacidad de comprender nuestros propios estados de ánimo. 2. **Autorregulación emocional**: la habilidad para controlar las conductas basadas en impulsos emocionales y, de este modo, adaptarnos mejor a las dinámicas sociales. 3. **Motivación**: la capacidad de orientar nuestras energías hacia una meta u objetivo. 4. **Empatía**: la cualidad de entender y vivir como propios los estados emocionales de otras personas. 5. **Habilidades sociales**: la tendencia a dar siempre la respuesta más adecuada a las demandas sociales del entorno.



El proceso de sustitución del trabajo humano por los sistemas informáticos y la robótica

La interacción que producen las tecnologías exponenciales tiene una **trayectoria o un efecto transversal** porque atraviesa todas las actividades humanas posibles, no solo del escenario productivo, sino fundamentalmente de la vida cotidiana.

A su vez, existen componentes nuevos que han abierto horizontes insospechados, como es **la descentralización¹¹ y la deslocalización¹² de todas las opera-**

11 **La descentralización** implica abandonar la idea de que las actividades se llevan a cabo en un lugar físico predeterminado, también llamado establecimiento o unidad técnica de producción de bienes y de servicios, de modo que todas las operaciones se pueden ejecutar en diversas localizaciones, en lugares que pueden cambiar en forma permanente

12 **La deslocalización (o colocalización)** económica es la transferencia, a iniciativa de una sociedad o institución internacional, de actividades, capitales, y empleos, entre diferentes países o diferentes regiones, de modo de así obtener algún tipo de ventaja competitiva o estratégica : sea por costes más bajos (en mano de obra, en transporte, en energía, en fiscalidad, en seguros y vigilancia, en acceso a insumos y recursos naturales, en reglamentaciones sociales y de seguridad laboral, también en cuanto a reglamentaciones ambientales, etc.) ; sea por la existencia en la localización objetivo de un polo tecnológico, o al menos de personal más calificado y especializado ; sea por la existencia de mejores y más adaptadas infraestructuras (en comunicaciones, en transporte, en logística, en seguridad jurídica, etc), y/o de un medio ambiente natural y humano más atrayente. Jean Arthuis, *Les délocalisations et l'emploi: mieux comprendre les mécanismes des délocalisations industrielles et des services*, Les éditions d'organisation, 1993, ISBN 2-7081-1618-5 y 9782708116184.

ciones seguido del principio de progresividad¹³ y la despapelización¹⁴, lo que permite que la mayoría de los procesos se puedan realizar en cualquier lugar del planeta, y en los lugares que para cada organización resulte ser la opción más conveniente, que a la vez se renuevan, se reciclan y se reinventan permanentemente. **Es una nueva dimensión de la globalización.**

Los alcances de esta verdadera Revolución 4.0 son irrestrictos e ilimitados, y la dinámica innovativa que es connatural con su esencia, actualiza, perfecciona, aumenta la eficacia y los alcances de cada herramienta o dispositivo continuamente.

Sin llegar aún a un desarrollo específico de la IA, se puede afirmar que la robótica y la informática están sustituyendo en forma sistemática actividades, procesos y desarrollos que antes los cumplían seres humanos, y los han reemplazado con una batería de instrumentos que han generado un menor costo, mayor eficiencia, y una suerte de traslación de la actividad humana al cliente o usuario de los mismos.

Este proceso de sustitución está basado en la automatización intuitiva, ya que todo aquello que sea rutinario, repetitivo, sustentado en manuales preconcebidos de procesos, procedimientos, puede ser cumplimentado por los sistemas con mayor eficacia y mayor precisión. En alguna medida, más del 50% de las actividades basadas en el dominio de un arte, de los oficios y las profesiones van a desaparecer. El Banco Interamericano de Desarrollo¹⁵ realizó una serie de investigaciones destacando que cada una de las revoluciones industriales produjo una serie de transformaciones que incluyó la destrucción literal de numerosos oficios, que luego fueron sustituidos por otros nuevos puestos, funciones, oficios y profesiones. A su vez, parece que existe una serie de actividades que sobreviven a todos los procesos, como son las actividades artísticas, las que son artesanales y las que están dotadas de alguna característica distintiva que por diversas causas no está al alcance de los procesos de automatización o de informatización. Cuando aparece la máquina de vapor y el trabajo en serie, **se destruyeron muchos puestos de trabajo de explotaciones artesanales, pero apareció la formación de las actividades industriales,**

¹³ El principio de progresividad consiste en la mejora gradual y sistemática de los derechos en cuanto a su entidad y a su consistencia en beneficio de quienes trabajan en relación de dependencia, en un marco aspiracional de la mejora constante de las condiciones de trabajo y de la calidad de vida resultante.

¹⁴ La despapelización (“paperless”) consiste en el proceso de informatización de todos los documentos, registros y archivos, alojándose en sistemas de memoria, como es el caso de la nube, eliminándose todo registro documentado en papel.

¹⁵ Banco Interamericanos de Desarrollo, <http://www.iadb.org/es> Banco Interamericano de Desarrollo (web oficial)].

sobre todo, los nuevos oficios relacionados con la mecánica y con los procesos de producción en línea.

En el Siglo XVIII la carrera de ingeniería era una curiosidad, hoy las distintas especializaciones como informática, robótica, automatización, diseño de equipos maquinarias y de rodados, además de la astrofísica, la exploración del espacio exterior, y los nuevos desafíos de la infraestructura de las ciudades, y el cambio dinámico de la estructura urbana y rural. En síntesis, en cada etapa se destruyeron gran cantidad de trabajos, pero se crearon otros nuevos ligados a la nueva etapa y a los nuevos desafíos que presentó la realidad.

Analicemos en forma resumida ámbitos en donde estos procesos son notorios, y donde **la sustitución tecnológica** se ha generalizado.

Estos ámbitos son **la actividad bancaria, ciertos ámbitos de la justicia, el consumo privado en general, y la educación.**

- **La actividad bancaria** puede ser un ejemplo de los más claros en el proceso de reemplazo comentado. En efecto, tres mecanismos han sustentado las innovaciones. El **cajero automático y la sucursal automatizada o virtual** que realiza en forma progresiva la mayoría de las operaciones bancarias tradicionales, y que le permite tener al cliente un contacto físico con el equipamiento provisto por el banco, consultar sobre trámites y operaciones, e inclusive hablar con un oficial de cuentas o un asesor específico. En la Argentina, si no existieran los cajeros, habría que contratar casi 500.000 trabajadores para suplir la actividad que hoy generan para toda la comunidad. El segundo es el sistema de **“home banking”** a través del cual el cliente puede realizar desde su domicilio todas las operaciones, sin necesidad de concurrir a una sucursal virtual o presencial. El tercero es a través de las **aplicaciones de los bancos en el celular multifunción**, mediante el cual se puede contar con una billetera virtual para realizar cualquier tipo de pagos, consultar sobre todas las operaciones, y en su caso, hacer inversiones, manejar los ahorros, y desarrollar nuevas alternativas.

- **En la justicia** se está experimentando una transformación singular a través de algoritmos que permiten que los trámites operen por vía de Internet con la garantía de la seguridad de los archivos, la celeridad de los pasos procesales, con la excepción de las audiencias orales, en donde muchos tribunales admiten que la representación de los abogados de las partes concurren por zoom en for-

ma virtual, pero exigen que los absolventes y los testigos concurren en forma presencial, a los fines de que el tribunal pueda interrogarlos. La tramitación escrita de las audiencias se está sustituyendo por la filmación o la grabación de las mismas por parte del tribunal, a fin de que existan constancias de las pruebas orales. Si bien se cuestiona la sustitución de muchos procedimientos por decisiones automáticas, todavía existe una intermediación razonable del juez y sus colaboradores en la conducción del proceso y en el dictado de las resoluciones y de la sentencia. Es el caso del régimen de multas por infracciones de tránsito y otras que se pueden verificar en forma automática.



En efecto, en estos casos, el sistema de foto-multas se procesa en forma íntegra a través de algoritmos. En función de ellos, el sistema detecta las infracciones, las documenta con una fotografía que identifica el rodado y su patente, verificada la infracción aplica la multa, la documenta a través de una certificación, luego la notifica al titular del rodado, le otorga un plazo para ejercer su defensa, vencido el cual aplica la sanción e íntima al pago, actualiza las multas en mora. El pago irremediamente habrá que afrontarlo al momento de renovar el carnet de conducir o de la venta del vehículo con el que se operó la infracción.

• **En el consumo privado y los nuevos hábitos de los clientes:** las nuevas apps o aplicaciones que han organizado el transporte de pasajeros, como es el caso de UBER o de Cabify, o los sistemas de delivery como Glovo, PedidosYa, y similares, que le permiten al cliente recibir puerta a puerta los productos que adquiere, sin desplazarse, recurriendo a una aplicación en el celular multifunción con un costo relativamente bajo.

• **Los casos paradigmáticos:** en el mundo del tenis de la ATP se creó un sistema llamado “**ojo de halcón**”¹⁶ que permite determinar con precisión el lugar en donde pica la pelota dentro del campo, despejando cualquier duda respecto de la determinación del Juez del Evento y de los jueces de línea. El sistema fue evolucionando y en el US Open que se desarrolló en septiembre de 2021 apareció una nueva versión, que no solo verifica la trayectoria de la pelota y el lugar del impacto, sino que expresa verbalmente el “no” gravado por medio de un megáfono cuando la pelota pica fuera de la cancha, eliminando a los seis jueces de línea. Solo quedó con su trabajo el árbitro principal del encuentro, que también está subordinado al ojo de halcón que es infalible y por ende condiciona sus decisiones y las limita hasta casi eliminarlos, ya que el sistema también carga el puntaje que recibe cada jugador durante el desarrollo del juego.

• **Los noticieros de radio y televisión están automatizando la información,** de modo tal que la información de rutina como cotizaciones de los mercados, datos del clima, pronósticos, datos estadísticos, cuadros sinópticos, y filmacio-

16 El **ojo de halcón** (*Hawk-Eye*), también conocido como **ojo de águila**, es un sistema informático usado en críquet, tenis y otros deportes para seguir la trayectoria de la pelota. El sistema informático genera una imagen de la trayectoria de la pelota que puede ser utilizado por los jueces para decidir en jugadas dudosas. Fue desarrollado en Hampshire, Reino Unido, en 2005 por ingenieros de la empresa Roke Manor Research Limited. La patente es propiedad del Dr. Paul Hawkins y David Sherry. Más adelante, la tecnología se continuó en una compañía separada, *Hawk-Eye Innovations Ltd*. Los sistemas del ojo de halcón están basados en cálculos de triangulación a partir de imágenes visuales y mediciones de tiempo proporcionados por cámaras de vídeo de alta velocidad. Deben existir al menos 4 cámaras de vídeo colocadas adecuadamente alrededor de la zona de juego para proporcionar los datos necesarios. Estos datos son procesados por un procesador de alta velocidad, que reconoce en las imágenes la pelota de tenis y calcula su trayectoria. Para ello necesita un modelo del área de juego, la posición de las cámaras y su lugar de enfoque. Como resultado, calcula la posición en 3D de la pelota para cada imagen, partiendo de, al menos, dos cámaras que han tomado una imagen de forma simultánea. Valiéndose de las leyes físicas, interpola las distintas posiciones calculadas para recrear la trayectoria seguida por la pelota y su interacción con el área de juego. El sistema genera una imagen gráfica de la trayectoria de la pelota y su interacción con la zona de juego (el bote de la pelota, por ejemplo), mostrándose a jueces, espectadores y telespectadores. La generación de la imagen tan solo tarda unos pocos segundos, con lo que la interrupción del juego es muy pequeña.

nes los administra el sistema, sin intervención humana. **En los canales de cable que difunden películas todo el sistema lo maneja una computadora** que programa, incluye la publicidad, mide la audiencia, y **arbitra los cambios**.

En los medios gráficos también se vive la despapelización, de modo tal que **la industria papelería se está reconvirtiendo, dejan de fabricar papel y lo reemplazan con la fabricación de cartón, para atender la creciente demanda del delivery puerta a puerta que empaqueta todos los envíos**. Los diarios, las revistas y los productos derivados tendrán una base totalmente digitalizada, hoy todavía el proceso es parcial, hacia la edición electrónica que se edita y se actualiza en tiempo real, que incluye filmaciones, entrevistas en vivo, fotografías, spots e innumerables posibilidades de llegar a la población online, y sin demoras. **Cada vez que leemos el diario papel todas las noticias son viejas.**

- **La tecnología sin dispositivos:** Amazon creó en 2021 un sistema sin dispositivos para pagar, comprar, reservar o sacar entradas, y muchas operaciones más, simplemente escaneando la palma de la mano, que obviamente identifica a la persona y a su cuenta bancaria o de crédito. El sistema no requiere contacto, sino solo proximidad de la mano abierta sobre el sensor que toma la identificación, y luego en un lector se detalla la operación o se generan opciones. Con este mecanismo, no es necesario el celular ni ningún otro dispositivo.

El mundo en constante transformación tecnológica, el advenimiento de la IA y el desarrollo de todas las ciencias nos enfrentan con una transformación global del trabajo humano, que sufrirá los efectos de la sustitución de innumerables puestos de trabajo, que no serán sustituibles o reemplazables con los nuevos roles exigidos por los oficios y profesiones creadas para asistirlos y desarrollarlos.

La problemática de la división organizada de la sociedad y los grupos sociales vulnerables y excluidos

Las tecnologías exponenciales desarrolladas en el camino hacia la IA propiamente dicha nos enfrenta con una nueva división del trabajo y la actividad humana, en donde **el proceso de sustitución tecnológica** se acelera incorporando nuevas

funciones que se transforman en autosuficientes, automáticas, autodirigidas, auto-supervisadas, autocontroladas y autopropulsadas.

A la vez, se siguen creando, sin solución de continuidad, nuevas actividades dentro de lo que pueden mantenerse artes y oficios, y sobre todo nuevas actividades en el ámbito técnico, científico y profesional.

La revaloración de las ciencias médicas en todos los planos será una consecuencia lógica de la pandemia del Covid-19, frente a la amenaza posible de otras plagas similares. La industria farmacéutica y todas las áreas de investigación y desarrollo serán prioritarias, para enfrentar en forma sistémica a las posibles amenazas pandémicas que se presenten en el futuro. Bill Gates que anticipó la indefensión global frente a una pandemia preanunció que la próxima plaga será diez veces peor, y que deberíamos prepararnos a escala planetaria para enfrentarla.¹⁷

Si nos transportamos imaginariamente a una etapa post-pandemia, y soñamos con una sociedad organizada **la mitad de la población económicamente activa deberá establecer las herramientas y los subsistemas que protejan, que cobijen a los grupos económicamente inactivos, preservando para todos una vida digna** en términos amplios, que no solo contemple prestaciones y necesidades básicas, sino que brinde en plenitud la mayor asistencia, sin perjuicio de establecer alternativas para el desarrollo personal dentro del contexto social, económico y cultural dentro del cual cada uno se desarrolla. En otros términos, el grupo social económicamente activo debe producir bienes y servicios que abastezcan al grupo económicamente inactivo en forma plena y satisfactoria.

En el proceso de redistribución de la actividad humana aumentará la brecha entre ocupados del nuevo mundo, y los desocupados inactivos. Los pronósticos de los foros internacionales y de la OIT son coincidentes en tal sentido.

Siempre en el marco de este mundo imaginario, se destacarán los científicos de todas las ramas, aparecerán nuevas especialidades como las ligadas a la exploración espacial e interplanetaria, las artes en todas sus expresiones, la educación y el desarrollo de la investigación y de la focalización profesional con alfabetización tradicional y con alfabetización informática y en las técnicas que se relacionan con la ingeniería robótica.

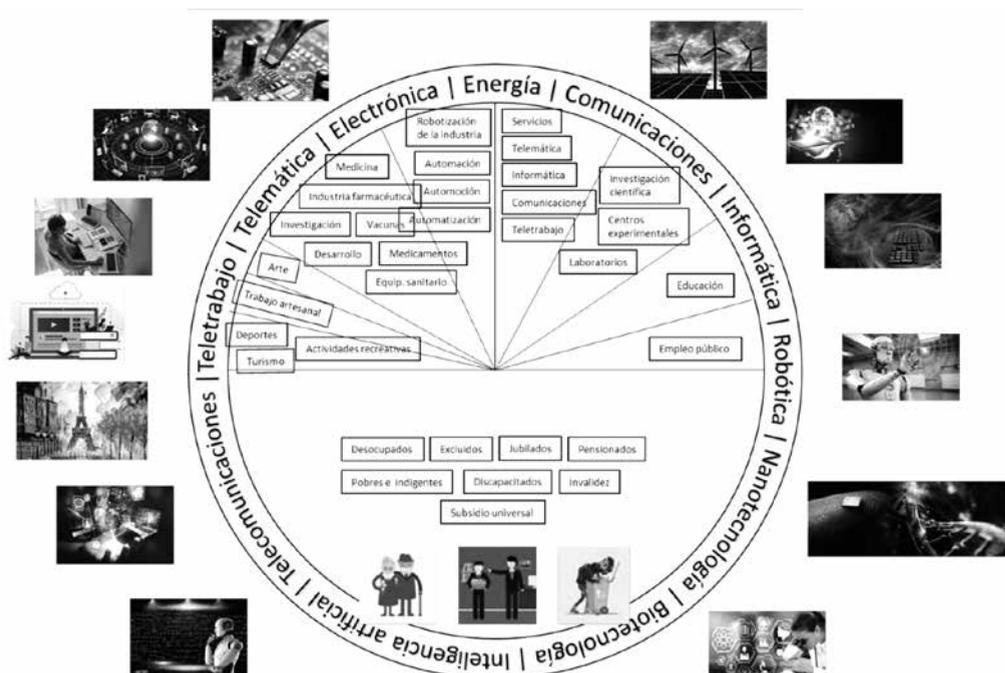
Los artesanos de todas las especialidades sobrevivirán en la medida que generen piezas únicas, con gran creatividad y singularidad y que no se puedan fabricar en serie. Habrá un desarrollo inusitado de los deportes profesionales y amateurs, del esparcimiento, la recreación, el turismo y el desarrollo intercultural, interracial e internacional sin fronteras ni restricciones.

¹⁷ Bill Gates, videoconferencia desde la Fundación, YouTube <https://www.youtube.com/watch?v=pbGdfWUr58k>.

La salud física, la salud psíquica, y una visión integradora psicofísica y psicosocial tendrá prioridad, para desplegar la prevención de cualquier patología en forma integrada.

La ecología, el medio ambiente, el desarrollo de energías sustentables, y la recuperación de todos los ambientes naturales originarios será un objetivo integrado a los principios de supervivencia, desarrollo y crecimiento en todos los planos.

El Estado velará junto a la iniciativa privada, las ONG y las organizaciones con o sin fines de lucro, por el bien común y por el bienestar general minimizando su estructura y optimizando todos los sistemas. Todas las disciplinas ligadas a las tecnologías exponenciales recorrerán en forma transversal todos los ámbitos de la vida cotidiana. **La economía será superavitaria y no habrá escasez.** La superabundancia terminará con la lucha despiadada de los mercados permitiendo la accesibilidad a todos los bienes y servicios a toda la comunidad. **Desaparecerá la pobreza y la indigencia. El hambre será un evento histórico, y el mundo quedará dividido entre un 50% de seres humanos económicamente activos, y otro 50% económicamente pasivos o inactivos.**



Para lograr este mundo ideal habrá que crear las condiciones para que se pueda garantizar a la población económicamente inactiva el mismo bienestar del que gozará la población económicamente activa.

En ese contexto se han experimentado distintos procedimientos que permitieron asumir que los grupos inactivos, los desocupados, aquellos que han caído por diversas circunstancias en la pobreza o la indigencia, cuenten con puentes para acceder a un marco razonable de bienestar y de protección.

El primer ámbito que hay que reformular desde sus raíces es la educación, que debe contar con las herramientas que facilite el acceso de todos por igual a los mejores niveles del conocimiento abstracto, teórico y práctico con orientación a través del sistema de mentoring o mentoría¹⁸ que predetermine las habilidades, las condiciones y la aptitud de cada sujeto en forma individual y en el contexto social en el que se encuentra.

La experiencia de los planes de desempleo combinados con sistemas de reconversión, con el fin de encausar el futuro reforzando las fortalezas y compensando las carencias.

Una vez superado el marco que configura la base de esta nueva plataforma a través de una revolución en el plano educativo, debemos concentrar nuestra atención en el desarrollo de un nuevo horizonte, en donde la población económicamente activa desarrolla el crecimiento y la total satisfacción de los bienes requeridos por el conjunto de toda la sociedad. A su vez, el grupo económicamente inactivo estará amparado por el que se ha dado en llamar el Subsidio

¹⁸ La **mentoría** (**mentoring en inglés**) es una relación de desarrollo personal en la cual una persona más experimentada o con mayor conocimiento ayuda a otra menos experimentada o con menor conocimiento para mejorar su desarrollo personal y profesional. La persona que recibe la mentoría ha sido llamada tradicionalmente como *protegido*, *discipulo* o *aprendiz*. No obstante, el aspecto central es que la mentoría involucra la comunicación y está basada en una relación. En un ambiente organizacional, la mentoría puede tomar varias formas. Bozeman y Feeney definieron la mentoría como “un proceso para la transmisión informal del conocimiento, el capital social y el apoyo psico-social, percibidos por el recipiente como relevante para el trabajo, la carrera o el desarrollo profesional; la mentoría envuelve la comunicación informal, usualmente cara a cara y durante un período de tiempo sostenible entre una persona que se percibe poseedor de más conocimiento relevante, sabiduría o experiencia (el mentor) y una persona que se percibe con menos (el protegido). BOZEMAN, B. y FEENEY, M.K. *Toward a useful theory of mentoring: A conceptual analysis and critique* (“Hacia una teoría de mentoría útil: Un análisis y crítica conceptual”). *Administration & Society*, Vol. 39, No. 6, 719-739 (2007).

Básico Universal (SBU) o la Renta Básica Universal (RBU).¹⁹

En el contexto de la pandemia por coronavirus de 2019-2020, distintos países alrededor del mundo, el **Foro Económico Mundial** (World Economic Forum, WEF)²⁰ e incluso el Papa Francisco²¹ se han pronunciado a favor de la implementación de un Ingreso Básico Universal.

En todos los países centrales se ha establecido durante la pandemia una cobertura especial para sostener las empresas, preservar la estabilidad en el empleo de los trabajadores, y asegurar un ingreso que permita la subsistencia de todos los ciudadanos afectados por la crisis sanitaria, que como sabemos tuvo graves consecuencias sociales, económicas, políticas y sanitarias.

Antes de la aparición del Covid-19 varios países habían ensayado el empleo de Subsidio Básico Universal (SBU) o Renta Básica Universal (RBU) debatiendo la fuente de financiamiento, el contenido económico y las condiciones de otorgamiento.

El subsidio universal finalmente está siendo evaluado o se lo ha experimentado en la mayoría de las experiencias del derecho comparado.

En general, este tipo de medidas (las rentas mínimas) son mecanismos, más o menos generosos, de lucha contra la pobreza y de inserción social, propios de

determinados casos de experiencias del Estado de Bienestar,²² aun cuando fueron utilizados sin distinción por todos los países del orbe durante la pandemia.

Por el contrario, se postula que la Renta Básica Universal (RBU) no es solamente un mecanismo de lucha contra la pobreza, sino que supone un mecanismo que incrementa la libertad efectiva de las personas, fortalece sus derechos ciudadanos, y mejora la calidad de vida media de un país. Por ello, aunque diferentes propuestas puedan ser similares en su concreción, en su fundamento y justificación son realmente diferentes, acompañados muchas veces, en los regímenes populistas de una singular tendencia a emplear este recurso de la seguridad social como una herramienta política de dominación sobre los grupos más vulnerables de la sociedad.

Lo cierto es que la amenaza de que el crecimiento de la población mundial, el efecto transversal de las tecnologías exponenciales y la IA, y la evolución de la economía dentro del contexto de una nueva etapa de la globalización, debe prever que una parte importante de la sociedad necesitará del auxilio sistémico del Estado para hacer frente a sus necesidades básicas, por no tener oportunidades efectivas de procurarse su ingreso a través de un empleo conveniente.

Con la evidencia demostrada por los hechos, ya nadie duda que el proceso de sustitución tecnológica del factor humano sigue creciendo. Es así que en el año 2015, el gabinete del conservador primer ministro finlandés Juha Sipilä, anunció la implantación, de forma experimental durante los años 2017 y 2018 de un proyecto piloto de RBU evaluable en 2019. Proponía un presupuesto de 20 millones de euros, unos 560 euros mensuales, para 2000 desempleados registrados en 2016. Sin embargo, en abril de 2018 el gobierno finlandés decidió suspender el proyecto, que ya no se aplicaría en 2019. El proyecto no tuvo éxito en relación a los desempleados, pero favoreció la reforma educativa focalizada sobre las nuevas tecnologías de las comunicaciones y el conocimiento. Hoy Finlandia no tiene desempleo.

Empresarios corporativos como **Mark Zuckerberg**, **Bill Gates** y **Jeff Bezos** consideran adecuada la Renta Básica para amortiguar los efectos de la crisis en términos de desigualdad y para afrontar la inevitable automatización del futuro inmediato. Otros empresarios y visionarios como **Elon Musk**, el cofundador de

19 La **renta básica universal (RBU)**, **Ingreso Básico Universal (IBU)**, **renta básica incondicional (RBI)** o **ingreso ciudadano universal (ICU)**, es una forma de sistema de seguridad social en la que todos los ciudadanos o residentes de un país reciben regularmente una suma de dinero en principio sin condiciones y sin obligación de reintegro. Se recibe desde el gobierno nacional generalmente o alguna otra institución pública dependiente de aquel, además de cualquier ingreso recibido de otros lugares. La recibe todo miembro de pleno derecho o residente de la sociedad incluso si no puede o quiere trabajar de forma remunerada, sin tomar en consideración si es rico o pobre e independientemente de cuáles puedan ser las otras posibles fuentes de renta y sin tener en cuenta con quien reside.

20 Foro Económico Mundial o World Economic Forum WEF, Informes I Foro Económico Mundial (weforum.org), en <https://es.weforum.org/reports> .-

21 El Papa Francisco asumió que es imprescindible generalizar la asistencia a todos los damnificados de la humanidad sean católicos, creyentes de otras religiones o no creyentes es una responsabilidad de los Gobiernos de cada país, y de los organismos internacionales, a fin de asegurar los beneficios a la mayor cantidad de hombres y mujeres posibles sin excepciones y sin diferenciación alguna. https://www.religiondigital.org/el_papa_de_la_primavera/Francisco

22 Bajo la denominación **Estado de bienestar**, **Estado benefactor**, **Estado providencial** o **sociedad del bienestar** es un concepto de la ciencia política y económica con el que se designa a una propuesta política o modelo general del Estado y de la organización social, según la cual el Estado provee servicios en cumplimiento de los derechos sociales a la totalidad de los habitantes de un país generalmente ligados al bien común y al bienestar general, incluyendo los grupos vulnerables, los marginales, y los excluidos. El sociólogo británico Thomas H. Marshall describió el estado de bienestar moderno como una combinación distintiva de democracia, bienestar social y capitalismo.

Facebook **Chris Hughes** y el presidente de OpenAll **Samuel H. Altman**, advierten que sea cual fuere el proceso terminaremos recurriendo a la instauración de la RBU. La mayoría de ellos afirma que el fondo debe ser administrado por el Estado o en forma mixta, que los ingresos se deben articular sobre los impuestos a las nuevas tecnologías que son las que están sustituyendo al factor humano por la robótica, la informática y la IA.

La justificación ética de la RBU tuvo una larga evolución en donde siempre estuvo presente la responsabilidad del Estado por la salvaguarda del bien común y del bienestar general de todos sus ciudadanos. Es una síntesis más reciente, se reafirma que en función de la **Libertad real** formulada por los creadores de la moderna noción de RBU, en donde se debe observar si la libertad se manifiesta en forma efectiva. El término **Libertad Real** fue acuñado por el filósofo político y economista Philippe van Parijs²³, se expande desde la noción de libertad negativa incorporando aspectos institucionales, recursos y capacidad personal a las elecciones que puede llevar a cabo una persona durante su vida. No ser impedido en la ejecución de su voluntad (tal y como describe la libertad negativa) y poseer los recursos y capacidades para poder llevarla a cabo.

Para una de las líneas de pensamiento una sociedad realmente libre es aquella que satisface las tres condiciones: 1) seguridad —existe una estructura de derechos y libertades básicas bien articulada—; 2) poder de decisión por uno mismo —en esa estructura, cada persona es titular y responsable de las decisiones que toma sobre su vida—; y 3) ordenamiento “leximin” (maximización del beneficio mínimo esperado) de la oportunidad —si, en esa estructura, cada persona cuenta con la mayor oportunidad posible para hacer cualquier cosa que pudiera querer hacer; en una sociedad realmente libre, quienes tengan menos oportunidades tendrán las máximas que podrían tener en cualquier otro ordenamiento que podamos llevar a cabo—.

Todo ello define una sociedad realmente libre, puesto que formalmente libre lo es una sociedad que cumpla solo las dos primeras condiciones. Por ende, la RBU es imprescindible para una sociedad que tuviese menos oportunidades de las necesarias para satisfacer el pleno empleo.

Desde el ángulo de la ética republicana tenemos a los defensores de la RBU que

parten de la noción de la libertad como auto gobierno típica de esta tradición política representada por autores y pensadores históricos. La esencia está centrada en la noción de libertad frente a quienes no disponen de una base material suficiente para asegurarse una existencia social autónoma tendrá que sobrevivir dependiendo de terceros, que los podrán someter a su arbitrio.

Para los republicanos democráticos, todo el mundo debe ser libre, y por ello mismo todo el mundo debe tener derecho a una base material mínima que garantice su derecho a la existencia y, por tanto, a la libertad. En rigor el crecimiento de la actividad privada, y la libre empresa no deberían mantener un ejército de desempleados, sino que debería contar con herramientas para dar cobertura a la totalidad de los habitantes de un país. La RBU sería, para esta línea de pensamiento, la base material mínima que debe estar garantizada para evitar el desamparo, la desigualdad, la pobreza y la indigencia.

Para una visión post moderna, en la medida que vivimos en una sociedad basada en el conocimiento, el saber y la cooperación, es necesario pensar una forma de distribución de la renta que no pase solo por los ingresos corrientes como el salario. Es así que se propicia una suerte de distribución de la renta que enfrente la desigualdad y propicie la movilidad no solo horizontal sino también la vertical en función de lo que se ha llamado en general la meritocracia, unido a herramientas que no se basen solo en el derrame. La propiedad privada, en este contexto, tiene que cumplir también con una función social. Así lo han referido la Doctrina Social de la Iglesia, y las teorías socialistas con distintas derivaciones.

La irrupción de las tecnologías exponenciales y el advenimiento de la IA están reorientando el progreso y la prosperidad de las naciones dentro de una suerte de **Taylorismo digital** o **taylorismo informático**, referido a la organización del trabajo, se califica a la organización global del trabajo profesional y técnico del conocimiento —tradicionalmente desempeñado por las clases medias profesionales— bajo las condiciones impuestas por la automatización digital e informática. Así es que se produce la flexibilización y reformulación del modelo de relaciones laborales, de los ingresos variables y de los salarios por resultado, con la deslocalización y la competencia en los mismos términos a los que en su momento estuvie-

²³ **Philippe van Parijs** (n. Bruselas, 23 de mayo de 1951). Es un filósofo belga y economista político. Principalmente conocido por ser un defensor del concepto de renta básica y por ofrecer uno de los primeros tratamientos sistemáticos de los problemas de la justicia lingüística. Philippe van Parijs estudió filosofía, derecho, economía política, sociología y lingüística en la Université Saint-Louis - Bruxelles (Bruselas), en la Universidad Católica de Lovaina (UCLouvain) en Louvain-la-Neuve, en la Katholieke Universiteit Leuven (KU Leuven) Lovaina, Oxford, Bielefeld y California (Berkeley). Posee dos doctorados, uno en Ciencias Sociales (Lovaina la Nueva, 1977) y otro en Filosofía (Oxford, 1980).

ron expuestos los trabajos artesanales o manuales del taylorismo clásico.²⁴

Otro tanto ocurrió con la corriente colectivista en donde el Estado debe proveer el trabajo a todo aquel que desee trabajar aún sin contar con puestos vacantes disponibles. El **empleo garantizado** (EG) o **trabajo garantizado** (TG) (del inglés *guaranteed work* y *job guarantee*) es una propuesta de política económica por la cual un gobierno se compromete a ofrecer un empleo a todo aquel que quiera trabajar.

El término está relacionado con el concepto del Estado como *empleador de última instancia*, ya que estaría obligado a ofrecer a los desempleados que lo demandaran un puesto de trabajo en condiciones salariales y laborales dignas, lo que en los hechos ha sido una utopía.

La propuesta de Trabajo Garantizado adquiere cierto sentido siempre que se considere el derecho al trabajo en el contexto de los derechos humanos que establece que toda persona tiene derecho al trabajo, a la libre elección del mismo, a condiciones equitativas y satisfactorias de trabajo, a la protección contra el desempleo, sin discriminación, con igualdad salarial, remuneración digna, protección social y derecho de sindicalización.

Así el derecho al trabajo se reconoce en las normas fundamentales de derechos humanos, como son la Declaración Universal de los Derechos Humanos, el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales y otros, y en textos nacionales, como son las Constituciones de numerosos países. En alguna medida, nuestra Constitución Nacional con la reforma de 1994 adhiere a esta concepción a través del reconocimiento del rango constitucional de los tratados internacionales de los derechos humanos, (art. 75 inc. 22, CN).

Como es lógico suponer, el objetivo del pleno empleo rápidamente se convirtió en una ficción frente a las vicisitudes del mercado de trabajo, y la imposibilidad de garantizar empleo conveniente a todo aquel que lo requiera, en particular por el déficit fiscal y el descalabro que puede generar en las cuentas públicas.

Así, se produjeron y están creciendo las migraciones desde países con altos niveles de desempleo y violencia, hacia los que garantizan pleno empleo, como es el

24 Los autores Philip Brown, Hugh Lauder y David Ashton en su libro de 2011 *The Global Auction: The Broken Promises of Education, Jobs, and Incomes* (*La subasta global: Las promesas incumplidas de la educación, el trabajo, y los ingresos*) denominan *taylorismo digital* a la organización global del denominado *trabajo de conocimiento* propio de la revolución informática o tercera revolución industrial —tradicionalmente desempeñado por las clases medias profesionales y técnicos— que, es sometido al mismo proceso de gestión de organización científica que en su día sufrieron los denominados trabajos artesanales, el taylorismo.

de los países centrales de Europa o en los Estados Unidos de Norteamérica.²⁵

La propuesta de ‘Trabajo garantizado’ tiene su fundamento equívoco en el principio de *Fondo de Reserva de Estabilización* (*Buffer Stock Scheme*) según el cual el sector público ofrecería un trabajo con salario fijo a cualquier persona dispuesta a trabajar para lo que dicho gobierno tiene que mantener una **reserva de estabilización de puestos de trabajos disponibles** y para ello siempre debe complementar el ingreso, para que alcance el valor que responde al principio de suficiencia.

Esta reserva de estabilización debe aumentar cuando la actividad del sector privado disminuye, y disminuir cuando la actividad del sector privado se expande, al igual que los actuales fondos de reservas de estabilización dedicados actualmente a los desempleados. En cualquier caso, el proceso de reconversión tecnológico y profesional genera una dinámica que nos obliga a pensar en un modelo que asegure a la comunidad inactiva y vulnerable alternativas que mejoren su empleabilidad, que abran oportunidades razonables tanto en lo que hace a su diversidad como a su multiplicidad, siempre con la expectativa de que existe la posibilidad de superarse en el plano laboral, como un medio para mejorar su calidad de vida²⁶. La RBU está asociada en esos casos a la educación con salida laboral.

México, India, Irán, Israel han realizado distintas experiencias con la cobertura de la RBU, y en el contexto de la pandemia tuvieron experiencias de tipo universal Chile, Brasil y Argentina. Muy interesante es la experiencia de Israel, que en

25 La propuesta de ‘Trabajo Garantizado’ está asociada con economistas postkeynesianos específicamente con el *Centro para el Pleno Empleo y la Igualdad* (*Centre of Full Employment and Equity - CoffEE*) de la Universidad de Newcastle de Australia, la *Kansas City School of economists* y el *Centro para el Pleno Empleo y la Estabilidad de Precios*, ambos de la Universidad de Misuri-Kansas City. El ‘trabajo garantizado’ (TG) se basa en la tradición de justicia social inherente al derecho al trabajo, recogida en el Constitucionalismo social, en la Declaración Universal de los Derechos Humanos, en la *Ley de Empleo de 1946* (*Employment Act of 1946*) de los Estados Unidos, y también en una propuesta realizada por economista post-keynesiano Hyman Minsky. Desde entonces ha sido desarrollada por varios autores: R. Wray (1998) y de manera integral por W.F. Mitchell y J. Muysken (2008). R. Wray (1998) *Understanding Modern Money: The Key to Full Employment and Price Stability*, Edward Elgar: Northampton, MA. ↑ W.F. Mitchell and J. Muysken (2008). *Full Employment Abandoned: Shifting Sands and Policy failures*. Archivado el 22 de febrero de 2015 en Wayback Machine. Edward Elgar: Cheltenham. Revised: January 2009 [1] Archivado el 24 de julio de 2011 en Wayback Machine.

26 Jeremy Rifkin, *El fin del Trabajo*, Buenos Aires, 1996. Thomas Paine, *Reforma Agraria*, Fondo de Cultura Económica, 1993. Thomas Picketty, *El Capital del Siglo XXI*, Editorial Plus Ultra, Buenos Aires, 2013. Milton Friedman, *Capitalismo y Libertad*, Universidad de Chicago Press, 1960.

2018, comenzó una iniciativa sin fines de lucro GoodDollar con el objetivo de crear un marco económico global para proporcionar una RBU, sostenible y escalable a través de la nueva tecnología de activos digitales blockchain. La organización sin fines de lucro tiene como objetivo lanzar una red de transferencia de dinero entre pares donde el dinero se pueda distribuir a quienes más lo necesitan, independientemente de su ubicación, según los principios de renta básica universal (RBU). El proyecto recaudó 1 millón de dólares de eToro.²⁷

La RBU requiere de financiamiento, y al respecto existe un importante debate entre los especialistas. Por ejemplo, tenemos la teoría del **impuesto negativo sobre la renta (INR)**, que es un método de reforma fiscal propuesto por primera vez por el economista francés Augustin Cournot en 1838, desarrollado por Juliet Rhys-Williams en la década de 1940, por Milton Friedman en 1962 y en mayor profundidad por James Tobin en 1965, 1966, 1967 y 1968, como una forma de combatir la pobreza al mismo tiempo que se preservan los incentivos laborales. La idea básica es que el Estado distribuya recursos preordenados a los ciudadanos a través del impuesto sobre la renta, y así garantizarles ingresos mínimos. De esa forma, además, se volverían supuestamente innecesarias medidas públicas como el salario mínimo, que según algunos teóricos genera desempleo o los servicios públicos de bienestar social incrementan su burocracia.

Otro ejemplo es el **Alaska Permanent Fund** (*Fondo Permanente de Alaska*). Se trata de un fondo de fideicomiso gestionado por la *Alaska Permanent Fund Corporation*, propiedad del estado de Alaska, que opera con el dinero procedente de al menos el 25% del capital que genera la explotación de minerales y petróleo en el Estado. La peculiaridad de este fondo reside en que constituye uno de los principales incentivos para los residentes en Alaska ya que toda persona que resida legalmente durante un mínimo de 6 meses recibe un dividendo correspondiente a una parte del rendimiento medio del fondo durante los últimos cinco años. En 2008 el pago ascendió a 2.069 dólares, alcanzando un nuevo máximo en 2015 con 2.072 dólares. Desde sus orígenes este fondo ha sufrido muchas modificaciones, representando actualmente una cartera diversificada a escala mundial por un importe

²⁷ eToro es un bróker especializado en *social trading*, que opera múltiples instrumentos financieros tales como acciones, divisas, futuros, opciones y criptomonedas. Sus oficinas están ubicadas en Chipre, Israel y el Reino Unido.

superior a los 23.000 millones de dólares.²⁸

Red Renta Básica es la sección en el Estado español de la organización internacional Red Global de Renta Básica (*Basic Income Earth Network*, BIEN), constituida legalmente el 5 de febrero de 2001 con el objetivo de promover la propuesta de la Renta Básica. Constituyen los fines de esta Asociación “la promoción y difusión de estudios y la investigación científica sobre la RB, para un mejor conocimiento de la propuesta y de su viabilidad”. *Red Global de Renta Básica* se crea a partir de la *Red Europea de Renta Básica* (*Basic Income European Network*) tras la asamblea celebrada en Ginebra el 14 de septiembre de 2002.²⁹

La RBU podrá ser gratuita e incondicionada, o puede ser condicionada y onerosa. En efecto, la población económicamente inactiva tendría que acceder al RBU sin requisitos ni contraprestación alguna. Sin embargo, en los últimos años ha crecido la concepción de que todo grupo alocado fuera del mercado laboral debe tener la diversidad y multiplicidad de oportunidades para pasar a la población económicamente activa si reúne ciertas condiciones de empleabilidad, singularidad, básicamente de capacitación y entrenamiento en artes, oficios o profesiones requeridos, incluyendo aquellas actividades que por ser muy específicas o artesanales, no estén ligadas al mundo de las tecnologías, aún cuando demanden la existencia de un talento de excepción, como puede ocurrir por ejemplo con los artistas plásticos, o los pintores o escultores.

²⁸ En 1976, al finalizarse la construcción del oleoducto de la Bahía de Prudhoe, Jay Hammond, gobernador de Alaska de 1974 a 1982, propuso la constitución de un fondo que tuviera como objetivo beneficiar a los alaskenses, mediante el depósito de una parte de los ingresos provenientes de la extracción de petróleo. Ese mismo año se aprobó la constitución del ‘Alaska Permanent Fund’ para tal fin, proveyéndose el capital inicial a partir de las licencias para explotación de crudo en suelo del Estado. Desde 1982 el fondo paga a todo habitante de Alaska un dividendo anual, en lo que puede denominarse como la aplicación de la renta básica universal.

²⁹ La iniciativa que abarca numerosas actividades relacionadas con el futuro del trabajo y la garantía de subsistencia integrar lleva adelante la organización de un simposio anual: El primero se celebró en Barcelona en junio de 2001, seguidos de Vitoria (2002), Barcelona (2003 y 2004), Valencia (2005), Santiago de Compostela (2006), Barcelona (2007),³ Madrid (noviembre de 2008),⁴ Bilbao (noviembre de 2009), Gijón (noviembre de 2010), Barcelona (octubre de 2011), Palma de Mallorca (noviembre de 2012), San Sebastián (enero-febrero de 2014), Fuenlabrada (noviembre de 2014), Badalona (febrero de 2016), Bilbao (noviembre de 2016), Zaragoza (noviembre de 2017), Barcelona (octubre de 2018), Sevilla (octubre de 2019).

En síntesis, el proceso de sustitución de las tecnologías exponenciales nos enfrentan con la revolución del mundo del trabajo humano, que en gran medida, dividirá a la sociedad por mitades. Una ligada a las nuevas competencias singulares que abarcan una multiplicidad de alternativas ocupacionales, y la otra, con los grupos económicamente inactivos, donde están los jubilados y pensionados, los grupos vulnerables por causas diversas, y en general, los excluidos.

En un mundo ideal todos los seres humanos sin diferenciación tienen derecho a una vida digna y con una calidad de vida razonable.

Conclusiones fundamentales

En función del breve análisis realizado precedentemente, hemos llegado a las siguientes conclusiones:

Las tecnologías exponenciales, y la IA en todas sus manifestaciones crearán mecanismos, sistemas y equipos que operarán como un sustituto de numerosas funciones humanas en todos los planos a través de la informática, la automatización, y la robótica;

Las nuevas tecnologías y la IA crearán nuevas formas de trabajar que progresivamente también irán disminuyendo la cantidad de puestos de trabajo disponibles;

La educación estará orientada a la inmersión dentro de las nuevas tecnologías con nuevos roles, nuevas especialidades y nuevas carreras;

Proliferarán las actividades artesanales, en especial las artes en todas sus manifestaciones;

Serán relevantes la recreación, el deporte, el turismo, las actividades que contribuyen a la calidad de vida y a la salud;

Serán revolucionarios los descubrimientos, la tecnología aplicada, y la revisión de todas las profesiones y la creación de nuevas carreras y especialidades;

La ciencia y la investigación ocuparán un lugar preferencial;

La población ocupada se ubicará en la cúspide de la escala social;

Las ciencias médicas y los oficios y profesiones relacionadas serán centrales en el desarrollo humano en prevención de nuevas pandemias;

La ecología y el medio ambiente serán normas vitales para la supervivencia de la raza humana;

Los principios de igualdad, diversidad, inclusión, y el repudio a cualquier acto de discriminación arbitraria serán una regla indiscutible y generalizada;

Los grupos sociales desocupados estarán bajo la cobertura específica de la RTU con la premisa utópica del Pleno Empleo;

Los excluidos por cualquier causa, los grupos vulnerables, los marginales y los casos especiales gozarán de la RBU y deberán cumplir con los recaudos creados en cada caso;

El Estado y la actividad privada y mixta propiciarán el empleo de calidad asegurando la educación adecuada y las herramientas para lograr la capacitación necesaria;

En una sociedad organizada y libre, se enaltecerán los valores ciudadanos, en el contexto de un debate abierto, el Estado y los particulares deberán velar por el bien común y el bienestar general de todos los habitantes sin diferenciación.

La inteligencia artificial en el mundo jurídico actual (Implicancia, aplicaciones y posibilidades)

Por Alberto B. Bianchi

Can digital computers think?
Alan Turing (1951)¹

¿Qué es la inteligencia artificial?

Cuando hablamos de inteligencia artificial (IA) lo más difícil, probablemente, sea ponernos de acuerdo en que queremos decir con ello.

La cuestión no es menor, pues el lenguaje, entre sus muchas funciones, tiende a que logremos un consenso en el nombre que les damos a las cosas, para tener la certeza –siquiera mínima- de que estamos hablando de lo mismo. Ello nos ayuda a no embarcarnos en improductivos diálogos de sordos, que son tan comunes como, muchas veces, imperceptibles. Pensemos si no, cuantas veces –sin darnos cuenta- hablamos de cuestiones diferentes, creyendo que estamos hablando de lo mismo y viceversa.

Mi objetivo, entonces, con este modesto aporte es, en primer lugar, tratar de definir que entiendo por IA –dentro de sus desarrollos actuales, por supuesto- y, en segundo lugar, establecer cuáles son, en mi opinión, las posibilidades de que ésta puede ser aplicada con utilidad en el mundo jurídico actual.

Como en muchos otros casos, el Diccionario de la Real Academia Española, nos provee una definición que, como todas, ayuda a comprender inicialmente la idea básica, pero a medida que avanzamos en el análisis del concepto, puede resultar insuficiente.

¹ Artículo recopilado en la obra: *The Essential Turing: Seminal Writings in Computing, Logic, Philosophy, Artificial Intelligence, and Artificial Life: Plus The Secrets of Enigma*, B. Jack Copeland, Editor, Clarendon Press, Oxford, 2004, pp. 476-493.

Según el Diccionario citado, la IA es la “*disciplina científica que se ocupa de crear programas informáticos que ejecutan operaciones comparables a las que realiza la mente humana, como el aprendizaje o el razonamiento lógico*”.²

De esta definición destaco dos aspectos. En primer lugar, la inteligencia humana es una “capacidad”, sin embargo, la IA está definida como una “disciplina”. En segundo lugar, la IA está limitada a los “programas informáticos”, que ejecutan operaciones comparables a las del cerebro humano.

Mi primera pregunta, es si podemos decir que la IA es una “disciplina”, cuestión bastante discutible, pero dejando esto de lado, pues no es lo que aquí interesa, la segunda cuestión es que la IA parecería estar limitada a los programas informáticos. En otras palabras, según esta definición, la IA estaría identificada con los programas informáticos.

Si esto es correcto, podemos desmitificar el concepto, quitarle toda su pompa y circunstancia, y referirnos, con más sencillez, a los programas informáticos. Obviamente, en tanto hay programas más sofisticados y complejos que otros, habrá programas más inteligentes y menos inteligentes.

Si avanzamos en la búsqueda de otras definiciones, no encontraremos grandes diferencias conceptuales. Por lo general, se entiende por IA la capacidad de simular, por medio de un *software*, la inteligencia humana traduciendo todo ello en la ejecución de diversos procesos.³ Y no caben dudas de que esta simulación ha sido tan exitosa que, hoy día, hay quienes están convencidos de que la IA superará, en algún momento, a la inteligencia humana, si es que ya no lo ha hecho.⁴

² <https://dle.rae.es/inteligencia?m=form>

³ <https://searchenterpriseai.techtarget.com/definition/AI-Artificial-Intelligence> ; <https://www.investopedia.com/terms/a/artificial-intelligence-ai.asp>

⁴ En un trabajo interesante sobre la cuestión Lopez Oneto menciona los documentos internacionales que ya abordan esta preocupación y señala también, como ventaja de la IA, la extraordinaria capacidad de almacenamiento que esta tiene, que puede advertirse por medio de la cantidad progresiva de transistores que pueden acumularse en un microprocesador, una medición que ha ido realizando, desde 1965, Gordon Moore, cofundador de Intel Corporation, el mayor fabricante de circuitos integrados del mundo y autor de la ley que lleva su nombre, según la cual, aproximadamente cada 2 años, se duplica el número de transistores en un microprocesador. Basta pensar que en que en 1971 un chip podía contener hasta 2.300 transistores y hoy día ya existen chips del tamaño de una uña humana que contienen 30 billones de transistores de 5 nanómetros cada uno. LÓPEZ ONETO, Marcos: *Fundamentos antropológicos, éticos, filosóficos, históricos, sociológicos y jurídicos para la constitución universal de un derecho de la inteligencia artificial (DIA)*, en Tratado de Inteligencia Artificial y Derecho, director Juan G. Corvalán, La ley, Buenos Aires, 2021, Tomo I, pp. 69-158, notas 2 y 4.

Así, hay programas que, instalados en máquinas o artefactos, pueden realizar tareas tan variadas como: jugar al ajedrez; explorar zonas remotas o inaccesibles del cuerpo humano, del océano y del espacio; almacenar y procesar datos; hacer reconocimientos faciales y de voz; convertir las palabras en textos; hacer cálculos y proyecciones matemáticas; movilizar líneas de montaje; crear y administrar moneda, como si fueran bancos centrales; conducir aviones y automóviles; hacer transacciones comerciales “*on line*” o barrer el piso, por mencionar tan sólo algunas de las múltiples actividades en las que el ser humano ha encontrado más conveniente que lo suplanten las creaciones de su intelecto. Ciertamente, esta es una tendencia tan antigua como la invención de la rueda, pero con la tecnología informática ha tenido una aceleración extraordinaria.

Cada una de las actividades arriba señaladas tiene un programa informático, que les permite ejecutar estas “capacidades” con la gran ventaja sobre el hombre, de que lo hacen mucho más rápido y sin estar expuestas al “error humano”, siempre condicionado, inevitablemente, por otra clase de inteligencia, a la que llamamos “emocional”.

Volviendo al inicio, entonces, si podemos definir a la inteligencia humana como la capacidad natural de conocer, analizar, procesar, entender, aprender, pensar y crear, la IA comprendería todo ello junto, pero creado “artificialmente” por el ser humano, es decir, simulado por medio de un programa y puesto en una máquina o artefacto. En otras palabras, la IA sería la simulación de la inteligencia humana, cargada en una máquina o artefacto por medio de un programa informático.

Aquí es donde tropezamos y debemos detenernos, necesariamente, en la pregunta que formuló hace 70 años Alan Turing, el genio creador de la computadora y héroe anónimo de la Segunda Guerra Mundial, no reconocido en su momento⁵ ¿pueden pensar las computadoras digitales?

Por simple o ingenua que parezca esta pregunta, su contenido es muy profundo, pues traza o marca el umbral cualitativo que separa a una máquina (o, mejor dicho, un programa) puramente “reproductora”, de una máquina que puede aprender y, por ende, pensar y crear por sí misma. Tal es la línea divisoria existente entre los

⁵ Alan Turing (1912-1954) padre de la computación y precursor de la IA, fue quien durante la Segunda Guerra Mundial logró descifrar las comunicaciones secretas de los nazis, conocidas como código Enigma, algo que tenía prohibido revelar pues era considerado un secreto de Estado. Concluida la Guerra, dada su condición homosexual, en 1952 fue condenado penalmente y, para evitar ir a la cárcel, se sometió a un proceso de castración química cuyos trastornos, finalmente, lo condujeron al suicidio. Murió comiendo una manzana envenenada con cianuro, que inspiró el logo de la empresa fundada años después por Steve Jobs. Turing fue indultado en 2014 por la Reina Isabel II, un desagravio que tardó mucho en llegar.

programas que no pueden obrar con autonomía respecto de su creador y aquellos que, en diferentes grados, según el algoritmo que posean, sí pueden hacerlo.

Llegados a este punto, tenemos que adoptar una decisión estrictamente convencional, muy propia del lenguaje, que presenta dos opciones: (a) cuando hablamos de la IA, nos referimos a todos los programas informáticos, no solamente a los meramente reproductores o ejecutores automáticos de una determinada actividad, sino también a los que pueden pensar y crear por sí solos o (b) cuando hablamos de la IA, nos referimos solamente a éstos últimos. En otras palabras, la pregunta sería ¿lo que llamamos IA, abarca toda la tecnología informática o es solamente una parte de ella, la más sofisticada?

Puesto en esta disyuntiva, entiendo que el concepto de IA solo debe ser empleado cuando nos referimos a los programas informáticos que pueden pensar en forma autónoma y tienen, por sí solos, alguna capacidad creativa y de aprendizaje, pues eso es lo que define, precisamente, a la inteligencia humana y, por ende, debería definir también a la IA, que simula comportarse como aquella. De lo contrario, cualquier máquina o artefacto que posea alguna capacidad reproductiva, incluso la que provenga de un medio mecánico y rudimentario, estaría dotada de IA.

En síntesis, no debemos confundir la “tecnología informática” como tal, por sofisticada que ésta sea, con la IA, pues son dos cuestiones diferentes. En todo caso, entre ambas existe una relación de género-especie, pues la IA puede estar comprendida en la tecnología informática, pero existen amplios sectores de ésta que distan de ser IA.

Veamos ahora, cómo se aplican estos dos conceptos en el mundo jurídico.

Tecnología informática e IA en el mundo jurídico

Sobre la base de esta clasificación, me atrevería a decir que en el mundo jurídico la tecnología informática es hoy día indispensable y constituye un soporte del cual ya no podríamos prescindir. Por el contrario, se hace cada día más necesaria. No ocurre lo mismo con la IA. Se oponen a ello las razones que intentaré exponer en los párrafos que siguen.

Para comprender esta cuestión, es preciso recordar que el mundo jurídico se compone, por un lado, de las llamadas “fuentes del Derecho” y, por el otro, de todos aquellos medios que permiten la aplicación de esas fuentes en la realidad. La primeras son, esencialmente las leyes, los actos administrativos, la jurisprudencia, los actos jurídicos de los particulares y la doctrina. Los segundos son los procesos, de variado tipo en los cuales estas fuentes se crean o bien se aplican.

Pues bien, tanto en la creación de las primeras, como en la operación y administración de los segundos, la presencia del ser humano es insustituible. No existe lugar para que la IA, por muy creativa que ésta sea, sustituya a la inteligencia humana en todo ello. No obstante, la tecnología informática es de vital importancia para colaborar, como apoyo, en la mejor y más eficiente realización de tales tareas.

Comencemos por la sanción de las leyes, que son la principal fuente del Derecho. ¿Podría una computadora reemplazar al Congreso? Por supuesto que no. Seguramente en el Congreso existen grandes bases de datos de múltiple y variado tipo que proveen información, en forma ordenada y sistemática, que luego es utilizada en el proceso legislativo. Sin embargo, nada de ello permite que el texto de una ley sea “escrito” autónomamente por un procesador, pues el mismo debe surgir del debate parlamentario. Menos aún, por supuesto, puede imaginarse a un programa informático sancionando una la ley.

Tenemos aquí un ejemplo claro de como la tecnología informática es un apoyo importante, para llevar a cabo una de las principales tareas del mundo jurídico, el proceso de formación y sanción de las leyes, sin que en ello pueda ser reemplazada la inteligencia humana por la IA.

Recordemos también que, a raíz de la pandemia del COVID-19, fue necesario, en la Argentina y en otras legislaturas del mundo, llevar a cabo sesiones legislativas remotas que contaron, incluso, con la aprobación de la Corte Suprema.⁶ No caben dudas de que la tecnología informática estuvo muy presente allí para permitir que el Congreso sesionara virtualmente y pudieran “reunirse” en una misma sesión, legisladores que estaban a muchos kilómetros unos de otros. Nada de ello podría haber sido llevado a cabo sin el apoyo de los medios electrónicos que lo hicieron posible. Sin embargo, ninguna computadora, ninguna IA, reemplazó a los legisladores, quienes estuvieron presentes en las sesiones, bien que virtualmente.

Algo similar ocurre en el mundo judicial, otras de las grandes áreas que componen el mundo jurídico. Aquí la tarea de los jueces consiste en resolver conflictos de intereses por medio de decisiones judiciales a las que llamamos “sentencias”. Pues bien, es indudable que para dictar una sentencia el juez debe, en primer lugar, consultar los hechos del caso que están expuestos quizás en un expediente electrónico; debe verificar, además, cuáles son las normas aplicables al caso, que también pueden ser consultadas en una base de datos y, por último, debe chequear si existen antecedentes jurisprudenciales que puedan, o deban, ser tenidos en cuenta también para resolver el caso y dictar la sentencia, los cuales también, muy probablemente,

6 Fernández de Kirchner, Cristina en carácter de Presidenta del Honorable Senado de la Nación s/ acción declarativa de certeza, Fallos 343-195 (2020).

están cargados en una o varias bases de datos, debidamente ordenadas por voces, nombres de causas, fechas, etc., que en los últimos 25 años ha ido reemplazado, muy eficazmente, a los antiguos ficheros físicos y a las colecciones de jurisprudencia, que hoy en día son más un objeto de decoración, que un instrumento de trabajo.

Ahora bien, una vez obtenida y recopilada toda esa información, el juez no vuelca todos esos datos en una computadora y espera que la IA dicte la sentencia. Pese a todo el apoyo informático previo que el juez posee para llevar a cabo su tarea, la cual actualmente (producto del aislamiento obligatorio del COVID-19) puede realizar incluso, total o parcialmente, desde su domicilio, el procesamiento de todos los datos que puede haber obtenido de fuentes electrónicas, los debe llevar a cabo personalmente, sin intervención de la IA, pues no se supone que un programa informático -salvo en un mundo de ficción-⁷ pueda dictar válidamente una sentencia.

Solo para poner un ejemplo muy sencillo, el Código Penal reprime el delito de homicidio con una pena que el juez, conforme los hechos del caso, debe regular entre los 8 y los 25 años de prisión. ¿Podríamos confiar esa tarea a la IA? ¿Podríamos ser condenados por un programa informático y no por un ser humano?

Por muy atractivo y delirante que ello parezca, el sistema constitucional argentino no permite -al menos todavía- que los programadores de computación se conviertan en jueces y que un algoritmo, que bien puede servir para que *Google* u otros buscadores, escojan tal o cual sitio con preferencia de otro, sustituya la labor judicial. Ello no impide, por cierto, que se esté desarrollando, cada vez más, la llamada “justicia predictiva”, que consiste en la utilización de programas de aprendizaje automático que, basados en el análisis de datos, anticipan las decisiones que deberían tener las controversias judiciales según precedentes análogos.⁸ Sin embargo, esto no es más que una predicción informática, que en modo alguno puede reemplazar la tarea del juez. En todo caso, colabora eficazmente con ella en la búsqueda de soluciones.

Vayamos ahora al mundo de los actos jurídicos celebrados entre particulares, donde el “*e-commerce*” (el comercio electrónico) gana terreno día a día. La compra de productos “*on line*”, favorecida por la pandemia del COVID-19, pero fuertemente movilizada también por otros factores permanentes, como sus menores costos operativos y la agilidad y sencillez de las transacciones, se impone cada vez con

7 Tal era el caso de la película *Minority Report* (2002), dirigida por Steven Spielberg, donde en un mundo futuro, un programa perfilaba la personalidad de los individuos y podía predecir, con gran certeza, si cometerían un crimen, lo que permitía arrestarlos antes de que consumaran el delito.

8 Ver: PASTOR, Daniel: *Inteligencia Artificial y Poder Judicial. Hacia otra idea de justicia*, en Tratado de Inteligencia Artificial y Derecho citado en nota 4, Tomo II, pp. 63-76.

más fuerza. Naturalmente, todo ello se hace por medio de programas informáticos que ofrecen los productos y permiten efectuar los pagos. Amazon ha sido y es el líder mundial de todo ello, luego imitado por otros muchos, tales como Mercado Libre, en la Argentina.

Ahora bien, no obstante que el perfeccionamiento de tales contratos se hace por medio de un simple “clic” en el teclado de un dispositivo (teléfono celular, *tablet*, *laptop*, etc.) toda esa sofisticada tecnología no se pone en marcha sin que la inteligencia humana decida comprar y elija lo que compra. Es cierto que muchas veces la compra está inducida por los productos que la IA del programa nos “ofrece” apenas hemos seleccionado alguno de ellos, pero nada de ello obsta a que el “negocio jurídico”, como tal, lo siguen realizando personas (humanas o jurídicas) y no una entelequia informática.

Quiero decir con ello que, aún en este avanzado estadio de la tecnología informática, los sujetos jurídicos del contrato (en el caso el comprador y el vendedor) siguen siendo las personas, cuya inteligencia y voluntad no ha sido sustituida por un algoritmo o un programa informático. En todo caso éste, como en los dos ejemplos anteriores, ha sido un eficaz y, probablemente, un indispensable soporte para que la compra pudiera llevarse a cabo, pero ello no ha variado la sustancia jurídica del contrato, el cual sigue siendo una compraventa, como la que tendría lugar entre dos personas que se miran a la cara.

Tampoco puede decirse que los llamados “contratos electrónicos”, cuyo estudio ya está volcado en obras de envergadura,⁹ sean un tipo o clase de contratos. En todo caso es electrónico cualquier contrato que sea formalizado en un documento electrónico.

Un desafío interesante a estas afirmaciones lo constituyen los llamados “contratos inteligentes” (*smart contracts*), una denominación que propuso Nick Szabo,¹⁰ y que está ganando terreno en nuestra doctrina,¹¹ es decir, aquellos programas o aplicaciones informáticas en el cual las cláusulas del acuerdo, previamente establecidas y escritas en lenguaje de programación, se van ejecutando automática-

9 Ver BIELI, Gastón E. y ORDÓÑEZ, Carlos J.: *Contratos electrónicos. Teoría General y Cuestiones Procesales*, La Ley, Buenos Aires, 2020

10 <https://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/LOTwinterschool2006/szabo.best.vwh.net/smart.contracts.html>

11 DE DIEGO, Jualián: *Los “smart contracts” y la uberización del derecho del trabajo*, <https://dediego.com.ar/2018/07/24/los-smart-contracts-y-la-uberizacion-del-derecho-del-trabajo-2/>; GRANERO, Horacio: *Los contratos inteligentes y la tecnología “blockchain” (su encuadre en el Código Civil y Comercial de la Nación)* https://www.eldial.com/nuevo/nuevo_diseno/v2/doctrina2.asp?id=10469&base=50&t=j

mente, sin intervención de las partes, de modo tal que cuando se produce una cierta condición ya programada, el programa (contrato) ejecuta la cláusula contractual correspondiente.

Me atrevería a decir, sin embargo, que los contratos inteligentes, así definidos, como subespecie del “contrato electrónico”, no nos ponen ante un nuevo tipo de contrato, pero sí ante un nuevo y muy ágil medio de contratación, porque en lugar de firmar un papel o un documento electrónico, lo que se acuerda por medio de ellos es la puesta en marcha de un programa de computación a cuyas cláusulas y consecuencias hemos adherido previamente. Los contratos inteligentes, entonces, no son un contrato en sí mismo, como tampoco lo es la hoja de papel en el cual el contrato tradicional está escrito. En todo caso, el programa del contrato inteligente y la hoja de papel del contrato escrito son, respectivamente, el soporte electrónico y físico del contrato y, como tal, su medio de prueba.

Como conclusión de esta primera parte, entonces, señalo que ni la creación de las fuentes del derecho, ni la operación de las actividades y procesos en los cuales éstas se aplican, pueden ser llevadas a cabo mediante la IA. Sin perjuicio de ello, la tecnología informática presta actualmente un necesario e indispensable apoyo al mundo jurídico en numerosos y cada vez más variados campos.

De todos ellos, en los párrafos que siguen me referiré tan solo a dos (a) la informática jurídica y (b) el documento informático, pues, en un trabajo de estas dimensiones, no sería posible abarcarlos a todos en una síntesis mínimamente respetuosa.

El apoyo de la tecnología informática al mundo jurídico

• Las bases de datos legales y jurisprudenciales. La llamada “informática jurídica”

Históricamente, la tecnología informática ingresó en el mundo jurídico por la puerta de la llamada “informática jurídica”, es decir, por las bases de datos que recopilan y ordenan digitalmente las fuentes del derecho y permiten su conocimiento en forma actualizada. La informática jurídica es de tal forma, la disciplina que se ocupa de la información de las fuentes del derecho por medios informáticos, almacenándolos y ordenándolos en grandes bases de datos previamente digitalizados.

Es necesario y justo reconocer que uno de los precursores de la “informática jurídica” en nuestro país, es el Académico Dr. Roberto E. Luqui, actual Presidente de la Academia Nacional de Derecho y Ciencias Sociales de Buenos Aires, quien ha recopilado su vasta experiencia en la materia en una obra reciente.¹²

12 Luqui, Roberto E.: *Acceso a las Fuentes del Derecho en la Era Digital. Aportes de la Informática Jurídica a su Cognoscibilidad*, Astrea, Buenos Aires, 2019.

Tal como explica este autor, la informática jurídica se divide en (a) informática documental, que tiene por objeto el procesamiento y ordenamiento de datos jurídicos y (b) la informática de gestión, que utiliza fórmulas matemáticas para producir, mecánicamente, algunas decisiones que permiten automatizar trámites judiciales y administrativos a fin de estandarizar resultados que responden a premisas iguales.¹³

Para tener una idea aproximada de cuán importante es la informática jurídica, Luqui recuerda que en la Argentina se han dictado hasta la fecha unas 27.000 leyes, pero tan solo un 10% de ellas tiene contenido normativo.¹⁴ Asimismo, de ese porcentaje, no todas están vigentes y muchas de ellas han sido y son modificadas permanentemente. Si a todo ello sumamos los reglamentos del Poder Ejecutivo y de la Administración Pública en General, podemos llegar a la conclusión de que el acceso y conocimiento cabal de ese extenso universo legislativo es hoy día imposible si no se cuenta con una base de datos digitalizada.

Esa tarea -en el orden nacional- fue realizada inicialmente por el Sistema Argentino de Información Jurídica (SAIJ),¹⁵ cuyos orígenes se remontan al año 1979, cuando el Ministerio de Justicia de la Nación celebró un convenio con la Corte de Casación italiana para desarrollar un proyecto piloto de informática jurídica.¹⁶

Además del SAIJ, la legislación nacional es accesible hoy día, ordenada y actualizada, por medio de INFOLEG,¹⁷ una base de datos oficial que se originó en 1997 en el Ministerio de economía y que, desde 2015, se encuentra en jurisdicción del Ministerio de Justicia y Derechos Humanos. Por cierto, la versión oficial de toda la legislación debe ser consultada en el Boletín Oficial, hoy día completamente digitalizado, ya sea para las normas nacionales¹⁸ como para las provinciales.¹⁹

También es esencial el conocimiento de la jurisprudencia, pues ésta es otra de las principales fuentes del derecho. Se entiende por tal el conjunto de fallos que dictan los tribunales interpretando y aplicando las leyes y reglamentos a los casos judiciales en los cuales se resuelven los conflictos de intereses entre los particulares entre sí y entre éstos y el Estado, ya sea nacional, provincial o municipal. Dada la cantidad de tribunales existentes en nuestro país y el alto índice de litigiosidad de nuestra sociedad, la cantidad de sentencias que se dictan a diario es muy elevada.

13 Obra citada, p. 72.

14 Obra citada, p. 53

15 <http://www.saij.gob.ar/> y <https://www.argentina.gob.ar/justicia/saij>

16 Luqui, obra citada, p. 65.

17 <http://www.infoleg.gob.ar/>

18 <https://www.boletinoficial.gob.ar/>

19 Menciono tan solo, a modo de ejemplo, el de la Provincia de Buenos Aires: <https://www.boletinoficial.gba.gob.ar/>

Todo ello requiere de una compleja tarea de clasificación de estos fallos por tribunal, por materia, por el nombre de las partes y por el contenido de las soluciones, de modo tal que todos esos datos puedan estar accesibles en una forma lo más sencilla y ágil posible. Antiguamente todo ello se recopilaba en las colecciones de jurisprudencia tradicionales, como son “Jurisprudencia Argentina”, “La Ley y “El Derecho”, cuyos gruesos volúmenes abarcaban miríadas de estantes en las oficinas legales y hoy día pueden ser consultadas a través de sus respectivas páginas web, desde cualquier dispositivo manual. También puede hallarse en el SAIJ la jurisprudencia de los tribunales nacionales²⁰ y provinciales.²¹

Por su lado, muchos tribunales, publican sus fallos en sus sitios de internet. Tal es el caso de la Corte Suprema de Justicia de la Nación²² y de la Cámara Nacional Electoral.²³ Asimismo, hoy día todos los poderes judiciales provinciales publican sus fallos digitalmente, tal es el caso del Poder Judicial de la provincia de Buenos Aires,²⁴ de Mendoza;²⁵ de Córdoba;²⁶ de Santa Fe,²⁷ y de la Ciudad de Buenos Aires,²⁸ por citar tan solo algunos ejemplos. Por último, una fuente importante de toda la actividad judicial, en particular de la Corte Suprema, es el Centro de Información Judicial.²⁹

• El documento informático

Luego de la informática jurídica, el segundo campo importante en el cual la tecnología informática ingresa en el mundo jurídico, es en de los instrumentos, públicos y privados, que sirven de soporte a los actos que realizamos. No podemos negar que el mundo jurídico, los actos que lo componen, en buena medida, está representado físicamente en instrumentos.

Ese soporte, que tradicionalmente fue el papel, ha ido mutando progresivamente hacia el soporte informático, es decir, ha ido evolucionando hacia la “desmaterialización” del instrumento y ello genera la necesidad de establecer legalmente, bajo

20 <http://www.saij.gob.ar/buscador/jurisprudencia-nacional>

21 <http://www.saij.gob.ar/buscador/jurisprudencia-provincial>

22 <https://www.csjn.gov.ar/>

23 <https://old.pjn.gov.ar/jurisprudencia2/consulta.php>

24 <https://www.scba.gov.ar/>

25 <http://www2.jus.mendoza.gov.ar/documental/jurisprudencia/consulta/index.php>

26 <https://www.justiciacordoba.gov.ar/consultafallosnet/Pages/Default.aspx>

27 <http://www.justiciasantafe.gov.ar/js/index.php?go=i&id=3684>

28 <http://jurisprudencia.tsjbaires.gob.ar/jurisprudencia/>

29 <https://www.cij.gov.ar/inicio.html>

qué condiciones un documento de estas características³⁰ y su correspondiente firma, son tan válidos como lo es un documento extendido en papel, con firma ológrafa.

Todo ello tiene amplias repercusiones no sólo en los documentos que se generan en las transacciones particulares, sino también en los que se incorporan a un expediente, judicial o administrativo, y forman el comúnmente llamado “expediente electrónico”.³¹

Siendo consciente de la difusión e importancia de esta cuestión, nuestra legislación reconoce la existencia y validez del documento informático rigiendo para ello, desde 2001, la Ley 25.506,³² que regula la firma digital y la firma electrónica, legislación ésta a la que se han sumado luego los artículos 286 y 288 del Código Civil y Comercial (CCyC).

Así, como regla general, el artículo 286 CCyC establece que *“La expresión escrita puede tener lugar por instrumentos públicos, o por instrumentos particulares firmados o no firmados, excepto en los casos en que determinada instrumentación sea impuesta. Puede hacerse constar en cualquier soporte, siempre que su contenido sea representado con texto inteligible, aunque su lectura exija medios técnicos”*.

Como vemos, al permitir el uso de “cualquier soporte”, esta norma permite emitir, válidamente, documentos en soporte informático y deja abierta la posibilidad de que, en el futuro, se emplee otro soporte “siempre que su contenido sea representado con texto inteligible”. Esta noción debe completarse con la definición de documento digital –en realidad debería haber dicho documento informático- establecida por el artículo de la Ley 25.506, según el cual *“Se entiende por documento digital*

a la representación digital de actos o hechos, con independencia del soporte utilizado para su fijación, almacenamiento o archivo. Un documento digital también satisface el requerimiento de escritura”.

Por su lado, el artículo 288 CCyC, especifica un poco más el tema, y establece que *“En los instrumentos generados por medios electrónicos, el requisito de la firma de una persona queda satisfecho si se utiliza una firma digital, que asegure indubitablemente la autoría e integridad del instrumento”*.

Esta norma es relevante, pues establece que el requisito de la firma en un documento electrónico se cumple *“si se utiliza una firma digital”*, lo que impone distinguir la firma electrónica de la firma digital, siendo la primera el género y la segunda una especie, relación que debe establecerse también respecto de los documentos electrónicos y digitales. Los primeros son los que poseen firma electrónica y los segundos lo que poseen firma digital.

Básicamente, la distinción entre ambos tipos de firma, es que la digital otorga mayor certeza jurídica, respecto de quien la emite, pues debe cumplir con una serie de requisitos que no son exigibles para la firma electrónica.

Conforme el artículo 8 de la Ley 25.506, *“Se entiende por firma electrónica al conjunto de datos electrónicos integrados, ligados o asociados de manera lógica a otros datos electrónicos, utilizado por el signatario como su medio de identificación, que carezca de alguno de los requisitos legales para ser considerada firma digital. En caso de ser desconocida la firma electrónica corresponde a quien la invoca acreditar su validez”*.

La firma digital, en cambio, requiere de mayores exigencias. Según el artículo 2 de la citada ley *“Se entiende por firma digital al resultado de aplicar a un documento digital un procedimiento matemático que requiere información de exclusivo conocimiento del firmante, encontrándose ésta bajo su absoluto control. La firma digital debe ser susceptible de verificación por terceras partes, tal que dicha verificación simultáneamente permita identificar al firmante y detectar cualquier alteración del documento digital posterior a su firma”*.

De ambas definiciones podría decirse que el concepto de firma electrónica es residual, en tanto es electrónica toda firma que no posee las exigencias de la firma digital. Así, por ejemplo, la clave PIN para ingresar a una cuenta bancaria en un cajero automático, ha sido considerada por la Cámara Comercial como una firma electrónica.³³ Este concepto es aplicable entonces a otras formas de firmas electrónicas.

30 Enrique Falcón, miembro de número de la Academia Nacional de Derecho y Ciencias Sociales de Buenos Aires, ha definido a este tipo de instrumento como aquel que ha sido creado sobre un ordenador, grabado en un soporte informático y que puede ser reproducido o bien como un conjunto de campos magnéticos aplicados a un soporte, de acuerdo con un determinado código. FALCÓN, Enrique: *Tratado de Derecho Procesal Civil y Comercial*, Rubinzal Culzoni, Santa Fé 2006, T. II, p. 897.

31 Según se ha señalado existen tres clases de instrumentos informáticos: (a) los que circulan “informalmente” en la sociedad, por ejemplo, los de las redes sociales; (b) los que detentan resguardos de seguridad privados, en algunos casos con circulación restringida entre sus adherentes (por Ej. Bancos o Instituciones Financieras) y (c) los que exigen el requisito de la firma digital, que —en rasgos generales— presenta como características salientes la intervención de órganos públicos, y un conjunto de resguardos técnicos específicos: autoridades de aplicación, empleo de claves públicas y privadas, textos protegidos con mecanismos de criptografía, resguardos de los textos en instituciones oficiales, etcétera. Ver: *Código Civil y Comercial Comentado*. Tratado Exegético, Director Jorg H. Alterini, 3ª edición, La Ley, Buenos Aires, 2019, Tomo II (José W. Tobías director del Tomo), p. 450.

32 Boletín Oficial del 14-12-2001.

33 CNAC, Sala D: Bieniauskas, Carlos c/ Banco de la Ciudad de Buenos Aires, 15-05-2008; SAIJ: FA08971926

nicas que empleamos diariamente.³⁴ Todo ello exige analizar cuáles son las exigencias de la firma digital, que hoy día puede reemplazar a la firma manuscrita.³⁵

Para ello, primero es necesario hacer referencia a la PKI (*Public Key Infrastructure*, por sus siglas en inglés), una cuestión que está claramente explicada en la obra de Bieli y Ordóñez ya citada.³⁶

Según estos autores una PKI se conforma de lo siguiente:

a) Una Autoridad Certificante (CA por sus siglas en inglés), también denominada “Entidad de Certificación o Certificador”. La CA emite y garantiza la autenticidad de sus certificados digitales. Un certificado digital incluye la clave pública u otra información respecto de la clave pública;

b) Una Autoridad de Registro (RA por sus siglas en inglés), cuya función será validar los requerimientos de certificados digitales. La autoridad de registro autoriza la emisión de certificados de clave pública al solicitante por parte de la autoridad certificante;

c) Un sistema de administración de certificados;

d) Un directorio en el cual los certificados y sus claves públicas son almacenados;

e) El certificado digital incluirá el nombre de su titular y su clave pública, la firma digital de la autoridad certificante que emite el certificado, un número de serie y la fecha de expiración;

f) Suscriptores: son las personas o entidades nombrados o identificados en los certificados de clave pública, tenedores de las claves privadas correspondientes a las claves, públicas de los certificados digitales;

g) Usuarios: son las personas que validan la integridad y autenticidad de un documento digital o mensaje de datos, en base, al certificado digital del firmante.

³⁴ Tal es el caso de las claves del correo electrónico (Outlook, Google), redes sociales (Facebook, Instagram, Twitter, SnapChat), juegos en red (PlayStation Store, Microsoft Store), descarga de aplicaciones para celulares (App Store, Google Play), mensajería instantánea (WhatsApp, Telegram), home banking, facturación electrónica, contratación electrónica (Mercado Libre), billetera virtual (MercadoPago, TodoPago), entre otros.

³⁵ Conforme el artículo 3º de la ley 25.506 “*Cuando la ley requiera una firma manuscrita, esa exigencia también queda satisfecha por una firma digital. Este principio es aplicable a los casos en que la ley establece la obligación de firmar o prescribe consecuencias para su ausencia*”.

³⁶ Ver nota 8.

Como resultado de ello, para poder configurarse una firma digital es necesario que se den lugar los siguientes requisitos de manera concatenada:

a) debe haber sido creada durante el período de vigencia del certificado digital válido del firmante.

b) Debe ser debidamente verificada por la referencia a los datos de verificación de firma digital indicados en dicho certificado según el procedimiento de verificación correspondiente. Es así que se debe permitir verificar la identidad del autor de los datos (lo que se denomina autenticación de autoría).

c) Se debe poder comprobar que dichos datos insertos no han sufrido alteración desde que fueron firmados (proporcionándose integridad al documento electrónico).

d) Por último, dicho certificado debe haber sido emitido o reconocido, según el art. 16 de la ley, por un certificador licenciado. Es así que el certificado de firma digital debe haber sido emitido por una entidad certificante licenciada por el Estado, obteniendo la correspondiente autorización por la autoridad de aplicación nacional.

Estos requisitos están recogidos en el artículo 9 de la Ley 25.506, según el cual “*Una firma digital es válida si cumple con los siguientes requisitos: a) Haber sido creada durante el período de vigencia del certificado digital válido del firmante; b) Ser debidamente verificada por la referencia a los datos de verificación de firma digital indicados en dicho certificado según el procedimiento de verificación correspondiente; c) Que dicho certificado haya sido emitido o reconocido, según el artículo 16 de la presente, por un certificador licenciado*”.

Cumplidas estas exigencias la Ley 25.506 reconoce a la firma digital dos presunciones (a) presunción de autoría³⁷ y (b) presunción de integridad.³⁸ Asimismo, los documentos electrónicos firmados digitalmente son considerados originales y tiene valor probatorio.³⁹

En síntesis, tal como señalan los comentaristas del Código Civil y Comercial antes citado,⁴⁰ los instrumentos informáticos tienen hoy día una potencialidad extraordinaria y resulta indudable el avance de ellos en todos los ámbitos del mundo actual.

Aun así, estos autores advierten, con razón, que todavía no se ha llegado a poder vincular la firma digital con la persona viva, en tanto la firma digital, es en términos sencillos, un sello que puede ser utilizado por cualquier persona, sin consentimiento ni conocimiento de su titular. Se han propuesto —sin resultados hasta ahora— métodos de asignación a través de la retina del ojo, la saliva, o la sangre.

Tampoco se han descubierto -hasta la fecha- técnicas que aseguren, con plena certeza, la imposibilidad de acceso por parte de personas no autorizadas, y certeza para evitar de modo pleno accidentes informáticos (cambios de intensidad del suministro eléctrico, obra de insectos, etc.). Por ello, todavía se utiliza de modo preventivo el sistema de back up, o sea copias que permitan recuperar la información en caso necesario. Es por ello que el art. 4° de la ley 25.506 excluye la utilización de la firma digital a las disposiciones por causas de muerte; a los actos personalísimos en general; y a los actos que deban ser instrumentados bajo exigencias o formalidades incompatibles con la utilización de la firma digital, ya sea como consecuencia de disposiciones legales o acuerdo de partes.⁴¹

37 ARTICULO 7° — Presunción de autoría. Se presume, salvo prueba en contrario, que toda firma digital pertenece al titular del certificado digital que permite la verificación de dicha firma.

38 ARTICULO 8° — Presunción de integridad. Si el resultado de un procedimiento de verificación de una firma digital aplicado a un documento digital es verdadero, se presume, salvo prueba en contrario, que este documento digital no ha sido modificado desde el momento de su firma.

39 ARTICULO 11. — Original. Los documentos electrónicos firmados digitalmente y los reproducidos en formato digital firmados digitalmente a partir de originales de primera generación en cualquier otro soporte, también serán considerados originales y poseen, como consecuencia de ello, valor probatorio como tales, según los procedimientos que determine la reglamentación.

40 Ver nota 30.

41 Obra citada, p. 462.

Conclusiones

Cuando hablamos de la IA, no nos referimos a todos los programas informáticos, sino tan solo a los que pueden pensar y crear por sí solos, a los que poseen alguna capacidad creativa y de aprendizaje, pues eso es lo que define, precisamente, a la inteligencia humana, a la cual la IA pretende simular.

Sin perjuicio de su extraordinario desarrollo actual, en el mundo jurídico, ni la creación de las fuentes del derecho, ni la operación de las actividades y procesos en los cuales estás se aplican, pueden ser llevadas a cabo mediante la IA. Ello no empecé a que la tecnología informática presta actualmente un necesario e indispensable apoyo al mundo jurídico en numerosos y cada vez más variados campos, entre ellos, sin agotar la nómina, el del acceso a las fuentes de información, es decir la llamada informática jurídica y la del documento y firma digital que poco a poco van reemplazando al antiguo documento escrito en papel.

■ Inteligencia artificial y autoaprendizaje

Alberto C. Taquini hijo¹²³

“Por qué esta magnífica tecnología científica que ahorra trabajo y nos hace la vida más fácil, nos aporta tan poca felicidad? La respuesta es esta: simplemente porque aún no hemos aprendido a usarla con tino.”
Albert Einstein

Introducción

Desde sus orígenes hace algo más de dos siglos el sistema educativo estuvo orientado hacia la instrucción, tal es así que durante mucho tiempo los ministerios del área se denominaron de Instrucción Pública.

Para los estados nacionales una de las funciones del sistema educativo era consolidar la nacionalidad y los valores homogeneizando culturalmente poblaciones plurinacionales y diversas. Por el contrario, la concepción actual, comienza a apuntar a la construcción de valores de ciudadanía no territorial (Taquini et al., 1972), consciente del cuidado de los recursos naturales y preparando a los jóvenes para desarrollarse en una sociedad global que reclama procesos educativos permanentes donde la comunicación y las herramientas digitales cobran relevancia.

En este artículo nos referiremos a la potencia de la inteligencia artificial (AI) en el aprendizaje tutelado o autoaprendizaje, con el horizonte de su próximo uso sistemático en la escuela. Actualmente consideramos como AI a los desarrollos derivados de las tecnologías de machine learning (ML) y redes neuronales, pero no siempre fue así, antes los sistemas “inteligentes” eran mayormente sistemas exper-

tos basados en algoritmos que ordenan secuencialmente el conocimiento existente en la materia, es decir partían de datos conocidos.

Para comprender cabalmente los posibles alcances de la AI para el aprendizaje - lengua y matemáticas prioritariamente- será necesario primero evaluar qué significa actualmente AI. Para ello realizaremos en la primera parte, un recorrido histórico que nos sitúe en una mayor comprensión de la misma y para entender cómo esta tecnología impactará en el mundo en general y en el aprendizaje en particular, pondremos el foco en los cambios tecnológicos que se están gestando actualmente y qué, junto con ella, definirán los modos en que la AI se desarrolle, analizando los crecientes logros de las tecnologías cuánticas, entre ellas la computación cuántica, así como el contexto de conectividad de los próximos años, enmarcado por las tecnologías en la nube (Cloud, fog y edge computing), articuladas con la consolidación de la Internet de las cosas (*Internet Of Things*, IOT), que se apoyará en tecnologías de conectividad como el 5G, los satélites de banda K y los de órbita terrestre baja, entre otras. De este modo, la AI se enhebra como una pieza necesaria a la vez que beneficiaria de la conectividad, pero también aparece en el contexto cambiante de nuevos dispositivos que resignifican la conectividad. Este será el recorrido que proponemos para intentar comprender la profundidad de los cambios en gestación.

En la segunda parte, abocados de lleno a la relación entre educación y tecnología, exploraremos los hitos que preceden a la implementación de AI. Finalmente, abordaremos en específico el desarrollo del Machine Learning (ML) y la lógica por la cual los sistemas expertos basados en datos y algoritmos fijos irán cediendo su lugar a sistemas que, apoyados en la AI, permitan aprender de las huellas que los recorridos de los estudiantes proponen trazando espacios de aprendizaje más personalizados, para finalmente describir el estado actual de la AI en el aprendizaje a nivel mundial y las experiencias prácticas realizadas por nuestro equipo en la escuela en los últimos 10 años.

En el estadio actual de desarrollo, la AI se desenvuelve respecto a particularidades o áreas específicas, lo que se conoce como AI blanda o particular, por lo que dentro del ámbito educativo toca muchas áreas en caminos paralelos, que, sin embargo, no se integran en una AI general. Es decir los sistemas actuales con AI se especializan en la solución de problemas específicos en cada caso, y aunque algunos permiten más elasticidad en cuanto a ser multipropósito, como veremos más adelante, su elasticidad es limitada.

Por ello, es de nuestro interés señalar prioritariamente la potencia de la AI en el aprendizaje autónomo de la matemática y la lectoescritura desde edades muy tempranas hasta adultos, sin necesariamente ocuparnos de si este proceso se sigui-

1 Alberto C. Taquini hijo es miembro emérito de la Academia Nacional de Educación, Director General del Belgrano Day School y líder de *Nueva Educación*.

2 Este trabajo fue elaborado bajo la dirección del Dr. Taquini, con la participación del Lic. Fernando Andonegui (miembro de *Nueva Educación* y staff del Belgrano Day School), la Lic. María Jimena Vasta (miembro de *Nueva Educación* y staff del Belgrano Day School) y Paula Farinati (miembro de *Nueva Educación*).

3 Por razones de espacio, esta es una versión resumida de nuestros trabajos en esta temática que presentaremos en una publicación en desarrollo del Belgrano Day School.

rá dando todavía en la escuela o crecientemente en forma autónoma, incluso en el aprendizaje domiciliario.

El uso de la AI como herramienta nos invita a repensar radicalmente la institucionalidad de la escuela y el rol de sus actores -alumnos y docentes-, que desde su creación ha logrado transformarse en la actualización de los contenidos y su profundidad pero poco ha hecho en sus métodos, si observamos la vida actual de las aulas de nuestras escuelas en comparación con las aulas de hace 200 años. La utilización de recursos inteligentes no debe ser vista como una amenaza a la calidad humana de la función de enseñanza sino como un medio para potenciar el alcance de una trasmisión de conocimiento más personalizada y adecuada a las necesidades que tenemos como sujetos y que las instituciones educativas por su formato tienden a estandarizar y homogeneizar.

Desarrollo histórico de la inteligencia artificial⁴

Lejos de ser un concepto novedoso, la inteligencia artificial reconoce antecedentes muy antiguos: ésta se origina en la intención de lograr que una máquina o mecanismo reproduzca o imite cualidades o actividades de los seres animados. Ya desde la antigüedad esta vocación se tradujo en la producción de autómatas, artificios tenían en común la intención de buscar el asombro a través de reproducir movimientos y comportamientos naturales que se ejecutaban sin operador.

Luego de grandes avances en los siglos XVIII y XIX, en la década de 1930 Alain Turing realizó avances teóricos en definir el concepto de inteligencia de las máquinas, en 1943 McCulloch y Pitts definieron red neuronal, y en 1956 se llevó a cabo la Conferencia de Dartmouth bajo la consigna de que cada aspecto del aprendizaje o de la inteligencia podría ser descrito con tanta precisión que sería posible fabricar una máquina para simularlo. Fue allí donde se acuñó el término *Inteligencia Artificial*.

En los '70, el avance en AI se estancó debido a que el procesamiento, almacenamiento y disposición de datos, fijaban duros límites⁵. Hacia los '80, con la popularización de las computadoras, economizándose la potencia de cómputo y expandiendo el mercado y las aplicaciones de la informática, la AI comienza a

4 El recorrido histórico está basado principalmente en: Banda, 2014; OECD, 2019; UNESCO, 2019; Villena Román et al, 2015; Webb, 2020.

5 Entre ellos un fenómeno conocido como explosión combinatoria que se produce al aumentar la cantidad de variables analizadas lo que da origen a un crecimiento exponencial de los escenarios posibles.

exhibir éxitos principalmente a través de lo que se conoce como sistemas expertos, robótica industrial y control numérico, entre otros. Estos tienen en común partir de un conjunto grande de datos conocidos, y de un proceso de resolución informado por la experiencia y el conocimiento humanos, de forma de acotar las posibilidades combinatorias. Son de utilidad para hallar soluciones concretas para problemas conocidos, así como otros nuevos derivados de estos. Estos sistemas poseen escasa o nula capacidad de autoaprendizaje pero asisten a sus operadores en la toma de decisiones, o los reemplazan. Al estar basados en el conocimiento previo componen lo que se conoce como *knowledge-driven AI*.

Paulatinamente los sistemas expertos comienzan a mostrar otros logros destacándose en particular como contrincantes en varios juegos, tarea en la que alcanzan importantes hitos, uno de ellos: la Deep Blue de IBM que en 1997 logra vencer en ajedrez al campeón del mundo Garry Kasparov. Sin embargo dicha realidad comenzaría a cambiar en este siglo con la expansión y desarrollo de un tipo de tecnología de AI, que si bien no es y tal vez nunca sea general, sí en cambio es multipropósito.

La curva de penetración de Internet y la aceleración de las telecomunicaciones multiplicó la cantidad de datos disponibles (Big Data), así como la velocidad de acceso a los mismos, al tiempo que se derrumbó el costo de almacenaje, el cual migra a la nube⁶. Al mismo tiempo prosiguió el incremento de la capacidad de cómputo y su miniaturización (nanotecnología). También se optimizaron las tecnologías para el procesamiento paralelo, la virtualización y la computación en la nube. Estos hechos, permitieron el surgimiento de tecnologías AI que partiendo de un conjuntos de datos, o por prueba y error, pueden determinar patrones con una precisión creciente: se conocen en general como tecnologías de Machine Learning (ML) o aprendizaje automático⁷.

Ellas permitieron, por ejemplo, que la empresa DeepMind utilizando un modelo de ML basado en redes neuronales de aprendizaje profundo (Deep Learning y Neural Networks) lograra un nuevo hito con su equipo AlphaGo venciendo en 2016 en go⁸ al campeón Lee Sedol. Esta se basó en un set pequeño de datos y luego se en-

6 La nube no es más que un concepto, ésta se encuentra en realidad formada por centenares de miles de servidores interconectados, algunos situados en enormes granjas de servidores que pueden contar a su vez con centenares o miles de ellos preparados para optimizar servicios específicos, u otros por equipos más simples brindando servicios a través de la red

7 Para más información veasé: <https://www.ibm.com/downloads/cas/GB8ZMQZ3>

8 El go es un juego cuya complejidad en términos matemáticos es enormemente superior al ajedrez ya que las combinaciones de tableros posibles superan a las de este juego en 10^{100} , es decir un gúgol, o lo que es lo mismo ¡un uno seguido de cien ceros!

trenó con jugadores humanos hasta alcanzar mayor fortaleza. Su segunda versión, AlphaZero, de propósito más general, posee entrenamiento autónomo por refuerzo, y se volvió virtualmente invencible en go entrenando contra sí misma y contra su predecesora (AlphaGo). Del mismo modo se entrenó sola para otros juegos sin cambiar la programación.

El modelo de AI de ML que incluye varias tecnologías, entre ellas el aprendizaje profundo, es el modelo que lidera los avances actuales en AI multipropósito y logrando hitos impresionantes en reconocimiento de imágenes, comprensión y generación de lenguaje natural, traducciones, etc. Si bien cada aplicación de ML se especializa en la solución de un problema en particular llegando en muchos de ellos a resultados muy superiores a los humanos, los mismos no se encuentran aún cerca de formar algún tipo de AI general. Son sistemas especializados conocidos como AI blanda o débil. Reconoce imágenes pero no responde interrogantes espontáneos. Esta tecnología se conoce como *data-driven AI*.

Estas nuevas capacidades de la AI restablecen los debates sobre cómo sería una AI general y más aún cómo sería una AI superior, que refiere a aquella que en su desarrollo superaría a la inteligencia humana en todos los campos. Asimismo se reavivan discusiones sobre la relación hombre-máquina y la pérdida de control o autonomía, dado que la AI puede llegar a resultados imposibles de comprender para nosotros. El transhumanismo, pone sobre la mesa la discusión de los alcances y el condicionamiento de la persona por tecnologías que producen capacidades o cualidades distintas a las naturales (Bostrom, 2011)⁹.

Hoy la AI se encuentra integrada de forma invisible en múltiples aplicaciones que usamos a diario. y supondrá una verdadera revolución en muchas áreas para tareas que no requieren creatividad, empatía o una visión totalizadora, terminando con tareas rutinarias y aburridas.

9 Actualmente ya existen prótesis robóticas en desarrollo que a través del uso de AI interpretan el escaneo de ondas cerebrales para detectar la intención del sujeto y moverla en consecuencia, en este video se muestra el desarrollo de una de estas prótesis: https://www.youtube.com/watch?v=M5fjTXXMq_4

Computación y tecnologías cuánticas, y por qué podrían cambiarlo todo

El avance de la AI se da en el marco del desarrollo de la tecnología basada en la física cuántica. Por un lado, la computación cuántica (QC¹⁰) puede elevar exponencialmente la velocidad de cómputo por sus características, definidas por el uso del qubit en lugar del bit que permite administrar mayor cantidad de estados que sus homólogas digitales y acceder más rápido a la información. La tecnología cuántica promete revolucionar la transmisión y la seguridad de los datos, al aplicar una propiedad cuántica llamada entrelazamiento. Basado en ello se han diseñado sistemas de comunicaciones seguras a prueba de interceptaciones (National Science Foundation, 2020), modelándose ahora una Internet cuántica segura por diseño (Quantum Flagship, 2019). La QC podría convertir en obsoletos los métodos de encriptación de datos actuales, volviendo cualquier comunicación encriptada con ellos en transparentes¹¹ (Cirac, 2018).

El desarrollo de QC requiere diversos aspectos prácticos de ingeniería para convertirla en una tecnología totalmente funcional, entre ellas las dificultades de programación, escalabilidad, estabilidad, corrección de errores y tamaño. No obstante ello, se estima que en dos años podría alcanzar ciertas aplicaciones de gran impacto (Lara, 2021; Waters, 2021). Y es posible que su capacidad interconectada pueda ponerse al servicio de la AI creando modelos a velocidades hoy impensadas o bien brindado poder centralizado de procesamiento para aplicaciones de este tipo¹².

Un interés importante en esta tecnología está dado por que puede romper las barreras de la miniaturización de la tecnología digital (cantidad de transistores por milímetro cuadrado), con límite teórico en un átomo por transistor, aunque el efecto túnel hace que en tamaños aún mayores se dificulte la confección (Buck, 2021). También sus características son radicalmente distintas y pueden lograr determinadas tareas de manera no simulada, como la generación aleatoria (Thornhill, 2020).

La QC operará como una pieza más que potencia el contexto de interconexión, conectividad, redes y cálculo que analizaremos en el apartado siguiente.

10 Por sus siglas del inglés Quantum Computing.

11 Y esto vale también para toda comunicación encriptada que se haya almacenado.

12 IBM ya puso a disposición del público un servicio de computadora cuántica para experimentar online en <https://quantum-computing.ibm.com/>

La evolución de la conectividad: de la computadora al “mobile”

Actualmente el 67% de los habitantes del globo tiene un celular según WeSwea-resocial.com. Por otra parte, Internet en 2021 presenta una penetración global de casi un 59%, y según Cisco para 2023 será 70% de la población mundial (Anónimo, 2020).

Anualmente se venden 1.500 millones de smartphones, es decir se cubre la población mundial cada 5 años, son más potentes, versátiles y se están convirtiendo en computadoras conectadas permanentemente. Esta tendencia se mantiene en argentina (Andonegui y Taquini (h), 2020), y a nivel global:

Global						
	2019 Based on 37.5 Trillion Visits			2020 Based on 30.2 Trillion Visits		
	Desktop	Mobile	Tablet	Desktop	Mobile	Tablet
Visits	32%	63%	5%	29%	68%	3%
Bounce Rate	43.11%	53.49%	46.64%	41.69%	52.11%	46.82%
Page Views Per Visitor	3.75	2.68	3.40	3.95	2.67	3.21
Average Time on Site (Seconds)	313.99	154.37	227.03	351.54	160.13	237.13

Fuente: <https://www.perficient.com/insights/research-hub/mobile-vs-desktop-usage>

Este viraje hacia el *mobile* nos invita a replantear el diseño de las aplicaciones educativas en la dirección de la ubicuidad y la conectividad, para alcanzar la mayoría de los usuarios. El auge del *mobile* motoriza a la tecnología de plataformas que presenta la posibilidad de distribuir aplicaciones en varios servicios integrables gracias a APIs y al uso de microservicios en la nube.

La Internet de las cosas (IOT¹³) junto con las redes de quinta generación (5G) y la AI comenzarán a cambiar el juego modificando lo que actualmente entendemos por dispositivo, y es posible que estemos cerca del fin del móvil como lo pensamos hoy.

Centrándonos en los smartphones, los límites de sus pantallas y teclados parecen ir diluyéndose: pantallas plegables o proyectadas sobre superficies, lentes inteligentes, hologramas, pantallas compartidas, transparentes y eventualmente implantes ópticos. También las interfaces de ingreso de datos están cambiando, desde el reconocimiento vocal y el de gestos potenciados por AI como el proyecto Soli

13 Acrónimo inglés de Internet of things

de Google¹⁴ o Kinect de Microsoft, entre otros, allanan el terreno para que el dispositivo preponderante pueda ser móvil y en especial en los contextos educativos.

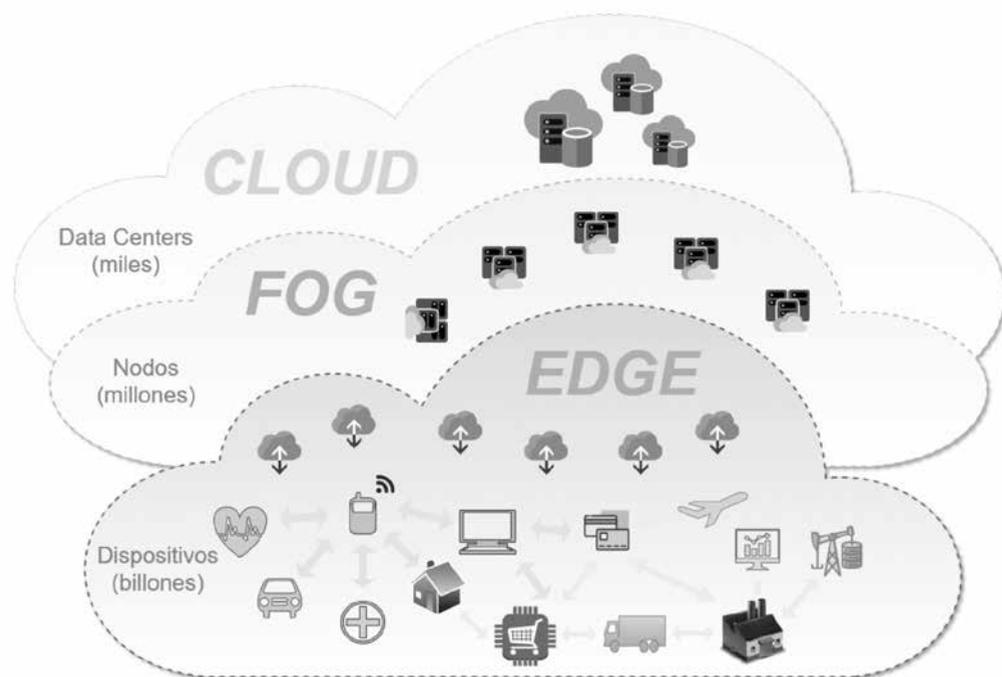
En otro campo, la conectividad actualmente se basa de manera principal en redes de banda ancha y fibra óptica, puntos de acceso de wifi, y tecnología móvil: principalmente 3G y 4G (3^{ra} y 4^a generación). No obstante, se espera que la expansión de la quinta generación (5G) tenga un efecto disruptivo con prestaciones muy superiores a las actuales¹⁵. El 5G es cien veces superior en velocidad y en dispositivos por punto de acceso, a la vez que posee menor latencia¹⁶ y permite antenas más pequeñas de menor consumo. Ésta, con los satélites de órbita terrestre baja (Starlink, Amazon), y los satélites (HTS) de banda K, proponen una conectividad más ubicua a la vez que habilita la interconexión de millones de dispositivos posibilitando la explosión de la IOT (Andonegui y Taquini (h), 2020).



14 Bajo el eslogan “Tu eres la única interfaz que precisas” Google espera revolucionar nuestra experiencia de comunicación con los dispositivos: <https://atap.google.com/soli/> y <https://youtu.be/0QNizfSsPc0>

15 Según un informe de VIAVI citado por Telesemana más de un tercio de las naciones del mundo cuenta con una red 5G activa: <https://www.telesemana.com/blog/2021/06/28/un-tercio-de-los-paises-del-mundo-tienen-por-lo-menos-una-red-5g/>

16 En palabras simples la latencia es la velocidad de respuesta, es decir la velocidad entre que se envía una petición y se recibe la respuesta de la red.



Fuente: Elaboración propia

La IOT y la cantidad creciente de dispositivos, así como las transacciones registradas entre ellos (blockchain, etc.), determinarán un proceso de crecimiento exponencial de la cantidad de datos generados pasando del Big Data al Huge Data (Maroto 2019). Esto permitirá avanzar hacia ciudades inteligentes potenciadas a partir de tecnologías como: IOT, 5G, las arquitecturas de computación en la nube, en la niebla (Chen et al., 2017), y en la frontera (cloud, fog y edge computing), así como por el desarrollo de la QC, que, como vimos, se prevé con aplicaciones prácticas en pocos años, potenciando la capacidad de cálculo del conjunto. Esta producción masiva de datos, y la potencia de cómputo ubicua, potenciarán las capacidades de la AI enhebrada con IOT, nutriendo los modelos de ML habilitando el procesamiento en forma independiente, aumentando su capacidad, y por lo tanto la precisión y velocidad de sus respuestas.

Será en este futuro que se acerca muy rápido que debemos pensar el modo en que los más pequeños darán los primeros pasos en el aprendizaje de algunas materias básicas, como son la lengua o las matemáticas jugando con la AI. No cabe duda que estos aprendizajes estarán imbricados en y con medios digitales, que el dispositivo, o mejor, conjunto de dispositivos, universo de ellos, o extensión física de conectividad, será parte de la realidad vital de cada persona del mismo modo que lo

será la conectividad de todas las cosas con todas las cosas, así como su inteligencia y capacidad comunicativa para adaptarse a las necesidades de cada persona y cada momento. Este mundo se aproxima y es necesario pensar la enseñanza en esa clave, si nos atrevemos podremos avanzar ¿comenzamos?

Educación ¿mediada por tecnologías?

Las tecnologías emergen como cuestión educativa

La omnipresencia de la tecnología en la actividad humana¹⁷, hace difícil sostener que la educación mediada por tecnologías sea un fenómeno o problemática novedosa. Muy por el contrario, es posible identificar en los procesos educativos, es decir *procesos de aprendizaje y transmisión de cultura*, la existencia histórica de todo tipo de tecnologías, ya sea en su forma material artefactual, como en sus múltiples formas simbólicas, tanto en forma de apoyos al proceso educativo, como parte del proceso o como contenido. Desde diagramas trazados sobre el suelo, pasando las formas de impresión artesanales e industriales como los libros, las tizas y los pizarrones, los espacios cerrados o abiertos dispuestos para el fin educativo, o bien el discurso escolar y pedagógicos, la educación se ha encontrado mediada tanto física como simbólicamente por tecnologías educativas del mismo modo que por los dispositivos sociales educativos propios de cada época.

Al pasar al mundo corriente las tecnologías se vuelven invisibles dado su familiaridad, y por oposición las nuevas tecnologías pueden aparecer como amenazadoras (Burbules & Callister (h), 2001). Aquellas tecnologías no invisibilizadas aparecen como externas a lo escolar y se perciben conflictivas, como una presencia disruptiva en competencia con el sistema educativo. Sucederá esto con las tecnología en auge, de surgimiento o difusión recientes, que no están aún incorporadas dentro de las tecnologías transmitidas y enseñadas, y para las cuales no existe aún currícula y hay muy pocos formadores¹⁸. Lo mismo sucede con las tecnologías que por sus características o dimensiones simbólicas conflictúan al sistema educativo, toda vez que retan o tensionan los discursos escolares, por ejemplo: el smartphone en el aula, la cultura digital que exige e impulsa nuevas formas de transmitir conocimiento, relacionarse, y nuevos problemas como ciberbullying, grooming, etc.

17 Taquini (h), A., Lehmann, F., Johansen, F., Vasta, M., & Maiocchi, C. (2014). *Proyecto TEC (de Tecnología, Educación y Cultura)* (p.32)

18 Ejemplo de ello sería en este momento AI o el Blockchain para el nivel medio o básico, que en unos años tal vez sea parte de algunas currículas obligatorias.

Durante la formación de los estados nación y en el proceso de desarrollo industrial, el sistema educativo se había estructurado en función de las necesidades de una sociedad basada en la producción masiva, organizándose en torno a tecnologías escolares dispuestas para producir personas aptas para una sociedad basada en la racionalización de las tareas. Y aunque este modelo produjo enormes logros en relación a la masificación de la enseñanza, comienza a disonar con los cambios post-industriales, tanto en la estructura social como en relación a los nuevos discursos emergentes. Como plantearía Mc Luhan & Carpenter (1974) defendiendo la importancia de incorporar los “nuevos medios” en la formación:

“Hoy en nuestras ciudades, la mayor parte de la enseñanza tiene lugar fuera de la escuela [...] Este desafío ha destruido el monopolio de libro como ayuda a la enseñanza y ha derribado los propios muros de las aulas de modo tan repentino que estamos confundidos, desconcertados” (p.155)

De este modo la televisión fue una de las primeras tecnologías no escolares en convertirse en “problema” en la agenda educativa formal. Por el contrario, el modelo de educación a distancia, casi siempre ligado con la educación informal, vió una oportunidad en los medios masivos crecientes como forma de volverse más efectivo y ganar legitimidad.

Pero si bien los medios masivos de comunicación y los cambios sociales alteraron la lógica de las tecnologías escolares del siglo XX, todavía la escuela podía incorporarlos tibiamente a sus repertorios tecnológicos y a los dispositivos sociales de su gestión. Pero esta resistencia pasiva no parece viable en relación a los cambios que viene proponiendo el siglo XXI con la masificación de las *tecnologías digitales*, que han permeado la economía, la producción, el comercio, la ciencia, y de allí hacia todas las actividades vitales (Taquini, 2001). En cada momento y en cada lugar *las tecnologías digitales se vuelven manifiestamente omnipresentes y lo permean capilarmente todo*. El sistema educativo simplemente no podrá ni puede obviar estas transformaciones, ni desde el punto de vista de la enseñanza de sus contenidos, ni desde el punto de vista de ser gestionadas, incorporadas, y comprendidas en los procesos educativos.

La instrucción mediada por tecnologías no escolares se ha presentado históricamente de diversas formas, las más notorias y difundidas son las que se realizaron con la modalidad de educación a distancia, la cual también es estrategia educativa. En ella no se condiciona el aprendizaje por espacio, distancia, tiempo, ocupación o

nivel de los participantes, sino que coloca al alumno en el centro, fundamentada en el autoaprendizaje: autodirigido, autónomo y autorregulado (Martínez Uribe, 2008; Taquini (h) et al, 2014).

Con la difusión de la computadora personal y el posterior uso de Internet cambiará radicalmente el concepto de educación mediada por tecnologías que dinamizará debates acerca de si debían, y en todo caso cómo, incorporarse en los procesos educativos. La pandemia Covid-19 definió la disputa consolidando la virtualidad.

Esto inspiró la aparición del software educativo que propuso recorridos y experiencias para el aprendizaje de las materias tradicionales, así como de programación. Del mismo modo incrementó la oferta de la educación a distancia mediadas por tecnologías digitales, con combinaciones entre tecnologías digitales y formatos tradicionales de enseñanza, como por ejemplo los MOOC¹⁹. Así como la virtualización de la enseñanza que propuso distintos niveles de integración on-line y off-line de estudiantes y profesores, creándose ambientes de aprendizaje no presenciales sincrónicos y asincrónicos (Taquini (h) et al, 2009, 2014).

Las tecnologías digitales definen distintas relaciones con los procesos educativos. Por un lado, parte de estos sistemas educativos incorporan desde el diseño en forma de algoritmos codificados, tanto concepciones pedagógicas como estrategias didácticas, y también, muchas veces, contenidos educativos procesados didácticamente, esto significa que la concepción de aprendizaje se encuentra integrada en los sistemas. La educación se encuentra embebida más que simplemente mediada por estos, es decir que la *educación está embebida en tecnologías digitales*. Las tecnologías digitales embeben a la educación en su diseño y funcionamiento convirtiéndose así en tecnologías escolares o al menos en escolarizables.

Por otra parte se hallarán dispositivos tecnológicos que parecen extraños al entorno escolar, y para ser incorporadas a los procesos de enseñanza deben ser embebidos dentro de los ambientes educativos por medio de adaptaciones pedagógicas (Ambrosino, 2018). Deben ser resignificados en relación al contexto escolar para conformarse en *tecnologías embebidas a los procesos de enseñanza*.

Por ello, combinando ambos tipos es posible pensar en *tecnologías y educación mutuamente embebidas*.

¹⁹ MOOC es el acrónimo en inglés de Massive Online Open Courses: Cursos online masivos y abiertos. Se trata de cursos por internet al que se puede apuntar cualquier persona sin límite de participantes.

Tecnologías y educación mutuamente embebidas

En la Argentina la mayoría de los estudiantes, así como la población, tienen acceso a las tecnologías digitales (INDEC, 2020), no todos las experimentan del mismo modo, ni aun en el mismo contexto socioeconómico. Es necesario desandar la generalización del *nativo digital* (Prensky, 2001) para poder establecer la relación de cada estudiante con las tecnologías digitales más allá de su edad. Los entornos educativos mutuamente embebidos se diferenciarán de lo que todavía propone el aula. La presencia de los dispositivos personales en todo momento, la conexión permanente en la nube, el acceso e intercambio universal de contenidos proponen un modelo educativo completamente distinto. Como señala Lion (2006) el tiempo y el espacio de la educación se reconfiguran a través de la virtualidad, y estos no siempre coinciden con el tiempo de la escuela, un tiempo ficcional, artificial, arbitrario, que divide clases y ocio, más relacionado con la institución que con los procesos volitivos individuales.

Burbules (2014) caracteriza este cambio señalando que las oportunidades de aprendizaje se han multiplicado, tanto en contextos como en acceso dando lugar al *aprendizaje ubicuo*. Invita a abandonar la distinción entre aprendizaje formal e informal, el aprendizaje ubicuo propone un modo social en red de aprender en *comunidades auto-aprendientes*. Este aprendizaje no se basa en currículum sino en problemas, preguntas y propósitos prácticos e inmediatos, rompiendo el concepto de aprender ahora para utilizar después, aprendizaje en tiempo real (just in time)²⁰. El marco de referencia se mueve desde uno orientado en el maestro ha orientado desde el estudiante. El docente colabora con los aprendices para que integren y organicen su aprendizaje de formas significativas, con la inspiración, motivación y modelado del aprendizaje como una empresa activa proveyendo apoyo o asistencia para quienes tienen dificultades.

La nube, aparece entonces como expresión simbólica de la conectividad omnipresente y la red-sociabilidad permite pensar una realidad en otro plano que corre paralelo y simultáneo al presencial (Taquini, 2001). La pandemia de Covid-19 arrojó a los procesos educativos dentro de ese ciber-plano, dinamizando una inmersión sin precedentes y rudimentaria de toda la comunidad educativa en las tecnologías embebidas y aún no embebidas. Esto hizo emerger todas las potencialidades de las formas y modalidades de la educación doblemente embebidas en tecnologías digitales, pero subrayó también sus límites. Dependiendo de la experiencia y recursos,

²⁰ Para lo que se requiere un aprendiz autónomo con el método y la lógica del aprender a aprender

tanto materiales como simbólicos, de cada institución educativa y su comunidad académica, dichos límites se manifestaron en algunos casos como dificultades, de distintos tamaños pero salvables, así como en otros como un verdadero naufragio educativo.

Es necesario pensar la *nueva educación* incluyendo estas experiencias en un mundo donde las fronteras entre virtualidad y presencialidad se diluyeron y los espacios de aprendizaje trascienden el aula, los tiempos educativos se personalizan, y los contenidos múltiples y universales, físicos o virtuales, y las elaboraciones tienen, y son compartidos en múltiples entornos. La AI permitirá avanzar a cada uno paso a paso según sus habilidades y logros. Avanzaremos más en el particular en los próximos apartados.

Siguiendo la huella: de los sistemas expertos al machine learning. Prospectivas de la AI en educación

El desarrollo de la AI comienza basada en modelos de decisión que estructuran y sistematizan conocimientos y datos preexistentes (knowledge-based). En estos sistemas conocidos como expertos, logran grandes hitos como el del equipo *Deep Blue* de IBM al lograr vencer al gran maestro y campeón del mundo Garry Kasparov en ajedrez en 1997, por medio de algoritmos de búsqueda heurística ejecutados por una computadora capaz de procesar 200 millones de jugadas por segundo en una extensa base de datos (Anónimo, 2021). No obstante su poder, esta tecnología poseía como límite partir de un diseño especializado, requería el suministro previo de las jugadas y su sistema primario y hasta algunos de sus coprocesadores sólo estaba diseñado para jugar ajedrez no pudiendo adaptarse con fines multipropósito y su capacidad de aprender estaba limitada a cargar nuevas jugadas a su base de datos. Estos sistemas expertos, aunque se siguen utilizando, han pasado a un segundo plano debido a la creciente expansión, desarrollo y profundización del uso de la AI impulsada por datos (data-driven AI), liderada por ML, cuyo éxito se basa en la explotación directa de los datos, en su entrenamiento con bases de datos etiquetadas y en su capacidad de refinamiento de resultados a medida que se enfrenta a más casos. El aprendizaje automático se lleva adelante generalmente a través de sistemas conocidos como redes neuronales inspiradas en la estructura del cerebro (BID, 2020), y las aplicaciones de esta tecnología son infinitas. El caso paradigmático es el de la empresa DeepMind, que utilizando un modelo de ML basado en redes neuronales de aprendizaje profundo (Deep Learning) lograra un nuevo hito

con AlphaGo venciendo en 2016 en el milenar juego chino del go a Lee Sedol, un maestro de 9no DAN y uno de los más fuertes oponentes en el mundo. Esta primera versión se basó en un set de datos pequeños y luego se entrenó con jugadores humanos utilizando el ML hasta alcanzar mayor fortaleza. La segunda versión AlphaZero, de propósito más general, posee entrenamiento autónomo por refuerzo, y se volvió virtualmente invencible en go entrenando contra sí misma y contra su predecesora (AlphaGo).

Esta misma tendencia que se observó en los juegos es el camino para el desarrollo de los sistemas y plataformas aplicables al autoaprendizaje de la lengua y la matemática. Comenzando por los modelos más difundidos que prescriben un camino adaptativo, pero prediseñado, transitando hacia esquemas que permitan construir soluciones totalmente originales para la formación, mapeando de manera multidimensional las debilidades del estudiante y buscando los recorridos que le permitan lograr el aprendizaje, incluso en una compleja matriz de conocimientos puntuales y/o transversales como hacen Squirrel AI²¹ desarrollado en China, o como Aleks de McGraw & Hills²² sobre los que profundizaremos.

En este sentido hemos seguido con atención el premio otorgado por X-Prize²³ que lanza en 2014 un premio llamado *The Global Learning X-Prize*²⁴ con 15 Millones de dólares para quienes alcancen las metas de crear una aplicación móvil escalable de código abierto capaz de enseñar en un plazo de 15 meses y en un proceso autoguiado las bases de la lectura, la escritura, y la aritmética a niños de naciones en desarrollo. Los primeros cinco finalistas tuvieron que probar su aplicación en el campo. En 2019 se anunció un premio compartido entre dos: *Kitkit School* de Corea del sur y EEUU, y *Onebillion* de Kenya y Reino Unido, ambos llegaron a un nivel similar de aumento de competencias según jueces independientes²⁵.

Ninguno de los ganadores menciona utilizar AI en el sentido actual de la palabra (ML), y si bien tuvieron algún éxito en mejorar los indicadores educativos medidos, al ser sistemas expertos podemos intuir paralelismos a lo ocurrido con la Deep blue, que aunque efectiva fue muy superada por modelos que utilizan ML

como AlphaGo. Tecnología que si usan Robotutor, Squirrel AI o Aleks, entre otros. En este sentido los sistemas educativos que se basan en la huella del aprendizaje utilizando AI para adaptar los contenidos, el recorrido, la dificultad, la evaluación y las certificaciones, a las posibilidades, intereses y evolución del estudiante pueden definir una nueva dimensión en la instrucción, en particular de la lengua y las matemáticas elementales, redefiniendo a su vez los métodos y roles en la enseñanza.

Inteligencia Artificial en la educación

Según BID (2020) la AI tendrá las siguientes aplicaciones en la educación:

- *Personalización de la Educación*: En los sistemas de enseñanza adaptativos que persiguen personalizar el proceso pedagógico a las necesidades y capacidades individuales de cada estudiante a través de analizar las huellas de sus acciones. La AI detecta los patrones y construye mapas de los conocimientos y dificultades del estudiante y modifica el recorrido reforzando el aprendizaje allí donde lo detecta necesario.
- *Colaboración*: en plataformas sociales y foros puede encontrar patrones, generar síntesis del contenido o alertar situaciones.
- *Plataformas de Juego*: Los juegos pueden adaptarse al jugador, brindando un recorrido diferencial, reforzar el trabajo en equipo y la comunicación y permite evaluar el modo de resolución.
- *Diagnóstico*: como apoyo al diagnóstico de problemas, por ejemplo la dislexia (L-Explore), o Benteveo desarrollada por Belgrano Day School para evaluar la lectura.
- *Gestión Educativa*: habilita diagnósticos de diferente índole (predicción de la deserción escolar, rendimiento), feedback acerca del desempeño.

21 <http://squirrelai.com/>

22 <https://www.aleks.com/>

23 XPrize es una reconocida institución benéfica que organiza concursos basados en metas, y que propone el incentivo por medio de la competencia para lograr mejoras significativas en problemas desafiantes de la humanidad.

24 <https://www.xprize.org/prizes/global-learning>

25 <https://www.xprize.org/prizes/global-learning/articles/global-learning-xprize-two-grand-prize-winners>

Nos centraremos en particular en aquellas aplicaciones del AI orientadas al aprendizaje autoasistido, es decir plataformas de autoaprendizaje con tutores virtuales. Aunque la denominación de tutor virtual se presenta estrecha cuando nos referimos al modo en que la AI puede construir experiencias de aprendizaje y evaluación en sistemas educativos doblemente embebidos, ya que la personalización impregnará toda la experiencia educativa en sus diversas etapas.

La AI podrá construir recorridos personalizados orientando los escenarios y temas que no le son familiares reforzando los contenidos o lógicas que no logra comprender, fusionando el juego, la producción audiovisual y el aprendizaje en una única experiencia natural, realimentándose de los indicadores de atención para proponer descansos y juegos. Pero también, como en los juegos en red, el aprendiz podrá compartir sus ideas, logros y contenidos valiéndose además de la deslocalización que propondrán los dispositivos hiperconectados, aprendiendo entre todos.

El dispositivo del futuro es a la vez más y menos personal, más en el sentido que estará integrado a la persona y sus necesidades, proponiendo visiones transhumanistas (Bostrom, 2011), menos porque su deslocalización en dispositivos compartidos y compartibles y la facilidad de la comunicación y de crear, editar y compartir contenidos va a crecer aún más, dando una idea de un yo-red mayor también. Hoy todos los espacios presenciales se encuentran entremezclados con los virtuales, allí nos encontramos a jugar, crear, compartir y pensar en una amalgama virtual-presencial sin que ya sea posible separarlos. Las tecnologías hiperconectadas, la realidad virtual, la aumentada, y la multiplicidad de dispositivos harán crecer estas nuevas formas de socialización que sin dudas impactarán en espacios híbridos de aprendizaje y esparcimiento.

El diseño de las plataformas y su orientación pedagógica es vital, no sólo en el modo en el cual presenta los contenidos sino también en que deben orientarse a producir un conocimiento amplio y un enfoque adecuado, así como poseer una orientación fuerte a la construcción del conocimiento junto con otros desde el diseño, es decir debe incentivarlo y proponerlo activamente como concepción y no como opción, es decir debe estar embebido.

Así mismo deben propiciar el pensamiento crítico y la validación de fuentes en miras a la constitución de un ciudadano digital. Tal como las tecnologías embeben proyectos pedagógicos y miradas existe el riesgo implícito de que la monopolización de las plataformas educativas pueda traducirse en sesgos. El código abierto, o libre y los proyectos colaborativos podrían abonar en esta dirección. En contraposición el exiguo interés comercial por el ámbito educativo es un problema para que existan múltiples actores y miradas en ese mercado.

Del mismo modo que se verificó en las experiencias de Sugata Mitra (2010) en su famosa ventana, que el aprendizaje autoorganizado era propiciado por figuras que cumplían un rol de incentivo (las abuelas²⁶), conviene pensar también el papel del docente en este contexto asistido por AI y conectividad. Relevados de brindar contenidos básicos, así como de las tareas más repetitivas podrán concentrarse en los aspectos pedagógicos que brinden mayor valor al estudiante como incentivar el pensamiento crítico y el lateral, el conocimiento holístico, ayudar al desarrollo de las habilidades personales e interpersonales, así como valorar informes y diagnósticos basados en datos acerca de su grupo tomando acciones.

De las experiencias actuales en aprendizajes asistido con AI podemos encontrar algunos ejemplos que nos gustaría destacar: a) Robotutor²⁷ sistema de aprendizaje adaptativo de Carnegie Mellon University. Posee reconocimiento de voz y escritura, generación de pregunta, minería de datos educacionales, y adapta las tareas a la performance del estudiante; b) Aleks²⁸ de McGraw & Hill provee una plataforma con contenido propio, posee un sistema llamado PPL que incluye tres instancias (posicionamiento, preparación y aprendizaje) para una comprensión de cada estudiante, enfocándose en los gap de conocimiento y creando un recorrido para cerrarlos; c) RealizeIt ayuda a las organizaciones educativas a desarrollar plataformas customizadas, y tiene la habilidad de actualizar en tiempo real el estado de aprendizaje de los estudiantes; d) BYJU's provee contenidos para materias K-12 e inglés en varios niveles integrando enseñanza online, ejercicios y evaluación con videos muy detallados de gran calidad, creando caminos personalizados al recomendar cursos basado en las habilidades e intereses del estudiante en un entorno concebido con el concepto de gamificación y edutainment; e) Por último Squirrel AI²⁹ (Delloite, 2019), el primer proveedor de sistemas de aprendizaje adaptativo potenciado por AI en China, su Chief AI Officer es Tom Mitchell quien fue a su vez Decano de Computer Science en Carnegie Mellon University, creadores de Robotutor finalista de una etapa del Xprize, el sistema busca proporcionar una educación personalizada centrada en el estudiante, para ello aplica más de diez tipos de algoritmos de inteligencia artificial en el proceso educativo de enseñanza, aprendizaje, evaluación, pruebas y formación, utilizando la tecnología Intelligent Adaptive Learning System (IALS) que es pionera en la descomposición de componentes de conocimiento a nanoescala.

26 The Granny Cloud es una iniciativa de Sugata Mitra que se conecta con su enfoque SOLE (entorno de aprendizaje autoorganizado): <http://thegrannycloud.org/#http://thegrannycloud.org/#>

27 Mas información en <https://www.cmu.edu/scs/robotutor/what-is-robotutor/index.html>

28 Mas información en <https://aleks.com/>

29 Mas información en <http://squirrelai.com/>

Nuestra experiencia

La aplicación de AI en gestión educativa (BID, 2020) requiere un contexto organizacional y una infraestructura digital que permitan emerger el valor intrínseco encerrado en los datos (minería de datos³⁰), tal como señaló Taquini et. al (2014). Por lo tanto, prepararse para esta realidad empuja a reconvertirse en lo que se conoce como una *organización conducida por los datos* (data-driven organization), que es aquella donde todos sus procesos y decisiones están basados en datos. Ello requiere una infraestructura acorde, así como involucrar a todos los actores clave propiciando una cultura (data culture) y una disposición mental (data mindset) orientada a los datos, de modo de prepararse para un *proceso educativo conducido por los datos* (data-driven education).

Es necesario entonces habilitar a los sistemas basados en datos a colaborar con los docentes, con las instituciones y con el propio estudiante, para comprender mejor sus talentos y necesidades de manera oportuna e integral, es decir mucho antes de llegar a la calificación, y con mucha más riqueza.

En Belgrano Day School hemos emprendido el camino de la transformación digital propiciando un ambiente centrado en los datos, adaptando al colegio en estos desafíos. Para ello se ha creado un área institucional específica, y establecido criterios para los sistemas y entornos digitales, así como de data governance. También se ha impulsado una cultura centrada en los datos, y construido múltiples herramientas para la integración y coherencia de las fuentes de datos con el objetivo de unificar sistemas heterogéneos dentro de un sólo modelo. Ya desde hace bastante tiempo, tal como se describe en Taquini (h) et al. citado, se comenzó a explotar la información que subyace en los datos a través del desarrollo de analíticas acerca de varios aspectos de la actividad: métricas de utilización del entorno educativo virtual (LMS), de exámenes internacionales, o las sesiones de educación a distancia (GMeet), entre otras.

Del mismo modo, hemos explorado como organización la utilización de aplicaciones concretas de la AI. Por ejemplo, con el diseño de la aplicación *Benteveo*³¹ desarrollada por Belgrano Day School para la evaluación de la fluidez lectora de los alumnos de 1º, 2º y 3º grados de la escuela primaria, que presenta una interfaz simple que invita al niño a leer y luego a escucharse leyendo. Utiliza una combinación de servicios de AI de Google Cloud para procesar información en tiempo real

30 *Data mining*, en inglés.

31 Para más información <https://www.lanacion.com.ar/opinion/el-coronavirus-acelera-cambio-educativo-nid2433249/>

en la nube. El niño trabaja interactuando de un modo lúdico, leyendo a voluntad y sin sentir “que le están tomando prueba”. A su vez, el docente tiene un acceso diferente, en el que puede ver las estadísticas de uso y la *performance* de cada alumno. De esta manera, estamos cuantificando experimentalmente la fluidez lectora.

Tal como fue señalado en una publicación institucional³², la BDS Library tiene rol primordial en la exploración y curaduría de contenidos digitales. A lo largo de los años se han analizado y testeado sucesivamente diferentes herramientas disponibles, poniendo a prueba su eficacia e impacto en la autorregulación del aprendizaje. Entre todas ellas, *Mathletics*³³ y *Newsela*³⁴ se han convertido en recursos estables basados en AI para el aprendizaje de matemática y comprensión lectora en el nivel primario. Ambas plataformas priorizan la experiencia del alumno, posibilitan un recorrido singular en su aprendizaje y son recursos de calidad válidos para modelos híbridos donde se considera el espacio digital como aliado del aula física. El feedback que obtiene el docente le permite realmente tener un seguimiento desde las habilidades alcanzadas. *Mathletics* propone abordar los contenidos matemáticos dentro de un contexto inicial de gamificación fomentando la motivación del alumno y logrando un autonomía y progresión en su desempeño. *Newsela* por su parte, provee contenido educativo de lectura de no ficción en idioma inglés o español, especialmente artículos periodísticos de fuentes confiables y de gran actualidad, que están organizados en colecciones temáticas, y pueden adaptarse por nivel léxico y buscarse por habilidad a desarrollar. Asimismo se ha podido comprobar la relevancia y el poder de esta tecnología en experiencias pedagógicas bilingües en 3º grado del mismo nivel utilizando Alexa, el asistente virtual de Amazon. La experiencia de aprendizaje con dichas herramientas es muy enriquecedora, permiten abordar un abanico de habilidades y contenidos educativos en un contexto digital potente. Sin embargo, todas se encuentran en un estado de desarrollo inicial desde la impronta AI, y por consiguiente, muestran algunas limitaciones y tienen por delante la posibilidad de mejorar en base a la experiencia lograda en el ámbito académico escolar, y con seguridad se verán superadas en los próximos años.

32 Taquini (h), A., Pelliccia, A., Maiocchi, C., Sala, S. (2009). *El modelo Belgrano Day School: Biblioteca, contenidos digitales y calidad educativa*. Belgrano Day School (p.27)

33 <https://www.mathletics.com/latam/>

34 <https://newsela.com/>

Reflexión final: Hacia una nueva educación

La escuela, desde sus orígenes hace dos siglos estuvo orientada hacia la “instrucción”, con objetivo en la formación de la lengua, la matemática y el pensamiento lógico. Muestra de ello es que las pruebas PISA concentran su evaluación en tres áreas: competencia lectora, competencia matemática y competencia científica. En estas páginas hemos propuesto un recorrido centrado en algunos conceptos referidos a la AI, para mostrar la vinculación y potencialidad de su uso y su impacto en los procedimientos del aprendizaje en la edad escolar.

Desde la aparición del término “inteligencia artificial” a hoy, señalamos como hito la sofisticación de los sistemas expertos con el icónico caso de Deepblue, la supercomputadora que venció a Kasparov en 1997, y era un sistema experto³⁵. Ello llamó la atención por la capacidad de aprendizaje de la tecnología en relación al hombre. Fue un desarrollo del ámbito privado (IBM) con alcance a determinados usuarios.

Mientras que el ajedrez se puede formalizar mediante reglas, el juego de mesa chino go no. Por lo tanto, nunca fue posible construir un sistema experto capaz de vencer a un jugador go humano. Sin embargo, una red neuronal profunda (deep neural network) puede ser entrenada para jugar go simplemente jugando contra humanos. Esto se entiende como inteligencia artificial propiamente dicha, porque utiliza un enfoque de abajo hacia arriba (bottom-up) imitando la estructura del cerebro (por ejemplo a través de redes neuronales) y utilizando vastas cantidades de datos para obtener conocimiento de forma autónoma. Esto es similar a como un niño aprende a reconocer un rostro, no mediante la aplicación de reglas formalizadas por sus padres, sino al ver multitud de rostros y, en algún momento, poder diferenciar entre lo que es un rostro de otros objetos.

La escala económica del desarrollo de soluciones de AI aplicables a la educación dista mucho de la de otros servicios y la industria. Por eso, la convocatoria pública de Xprize sirvió para mostrar una potencialidad: se pone de relieve la posibilidad de generar aprendizaje humano a través de Intelligent Tutoring Systems (ITS). Es decir, que softwares adaptativos, a través de su conexión a la nube y el acceso a grandes cantidades de información de usuarios, aprendan autónomamente a promover el aprendizaje en forma personalizada.

³⁵ Sistema experto: colección de reglas programadas por personas con una estructura condicional (si > entonces). Hoy se los considera fuera de la inteligencia artificial porque carecen de la posibilidad de aprender autónomamente de datos externos.

En el ámbito de los ITS, la convocatoria del premio Xprize analizada en este *review* premió las propuestas de Onebillion y Kitkit, que se pueden aplicar sin conexión a internet. Éstas, por sus características, se asemejan a las de un sistema experto: son enteramente programadas con una estructura condicional, en la que si el niño responde correctamente a A, el estímulo siguiente será B. Sin embargo, como fue también referido en estas páginas, otro de los finalistas (Robotutor) sí se vale de AI, mostrando un camino que abre posibilidades superiores.

Estimamos que, como resultado de experiencias como estas, muy pronto se dispondrá de softwares con AI para el aprendizaje autónomo de los niños en aspectos de la lengua y la matemática inicial que hoy requieren mediación humana directa. Es decir, los parámetros señalados como primordiales en pruebas como las PISA, podrían ser delegados en estos instrumentos, dando aún mayor entidad a esta nueva realidad en la que la educación y la tecnología se encuentran mutuamente embebidas y en el que la persona que aprende se sitúa en un nuevo rol, en el que puede autorregular en forma creciente su aprendizaje. Su uso penetrará a la escuela.

Como ejemplo de uso de lo antedicho, repasamos experiencias de este tipo a nivel internacional como así también algunas concretas de AI en uso en el colegio Belgrano Day School. En esta línea, desarrollamos la aplicación Benteveo arriba descrita, con el objetivo de contar con una herramienta de autoevaluación en función del aprendizaje.

La AI penetra la escuela y también la transformará, más allá de la instrucción, porque este contexto abre nuevas formas de socialización, poniendo a pares y a educadores también en roles radicalmente diferentes a los de la escuela tal como la conocemos en la actualidad. Los invitamos a compartir, entonces, el interrogante acerca del impacto de esta nueva realidad en el sistema educativo. ¿Cómo será la nueva escuela? ¿Será escuela o se reconfigurará o diversificará en distintos espacios de aprendizaje que combinen la formalidad con la informalidad? ¿Se crearán otros ámbitos distintos dónde el autoaprendizaje fluya? ¿Qué perfil requiere el mediador humano en el aprendizaje autónomo?

Junto a la casa inteligente, la ciudad inteligente y la escuela inteligente integradas, se redefine un nuevo espacio virtual, nuevo escenario del aprendizaje.

Trascendiendo lo tratado en este artículo, advertimos la necesidad de abordaje de los desafíos derivados de la incorporación la tecnología para modificar capacidades físicas, cognitivas y volitivas de las personas. Es decir, así como la tecnología se ha ido incorporando paso a paso como prótesis de las personas (marcapasos, bomba de insulina, y pronto, por ejemplo, nanorobots y nanochips de múltiples funciones), se abre un dilema: que el ser humano deje de dominar la tecnología

para pasar a verse subordinado por ella en su condición de persona. Como referimos en este texto, el debate planteado por el transhumanismo se hace cada vez más necesario y obliga a análisis profundos acerca de las fronteras éticas del uso de la tecnología con relación a los alcances de la conciencia humana.

La inteligencia artificial, en definitiva y en síntesis, es capaz de procesar e interpretar probabilísticamente una cantidad de datos tal que una persona no podría hacerlo. Para decirlo en palabras simples, la AI tiene la capacidad de ver “imágenes” frente a una gran nube de datos con la misma naturalidad que una persona interpreta imágenes visuales. Esta característica, unida a la gran disponibilidad de datos, hace y hará que la AI sea cada vez más inteligente, relevante y necesaria en múltiples ámbitos de la vida, incluido el del aprendizaje, con su consecuente impacto en el sistema educativo.

Referencias bibliográficas

- Ambrosino, A. (2018). La educación embebe a la tecnología, no la toma ni la usa. *La Diaria*. Recuperado de: <https://ladiaria.com.uy/educacion/articulo/2018/10/alejandra-ambrosino-la-educacion-embebe-a-la-tecnologia-no-la-toma-ni-la-usa/>
- Andonegui, F., y Taquini (h), A. (2020). *Conectividad universal y educación. Hacia una nueva educación*. (1ra. ed.). Buenos Aires, Argentina: Nueva Educación. Recuperado de: <https://bit.ly/3rR8vz5>
- Anónimo (10 de Febrero 2021). La historia de Deep Blue, la máquina que hace 25 años venció a Garry Kasparov. *La Nación*. Recuperado de: <https://www.lanacion.com.ar/deportes/la-historia-deep-blue-maquina-hace-25-nid2598232/>
- Banda, H. (2014). *Inteligencia Artificial: Principios y Aplicaciones*. Recuperado el 2/4/2020 de: <https://www.researchgate.net/publication/262487459>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2020). *Usos y efectos de la Inteligencia Artificial en educación. Documento para discusión N° IDB-DP-00776, BID*
- Bostrom, N. (2011). *Una historia del pensamiento transhumanista. Argumentos de razón técnica*, 14, 157-191. Recuperado de: <https://www.bioeticadesdeasturias.com/wp-content/uploads/2018/01/Una-historia-del-pensamiento-transhumanista.pdf>
- Buck, C. (29 de marzo 2021). Más que Moore. *Porsche Newsroom*. Recuperado de: <https://newsroom.porsche.com/es/2021/tecnologia/PLA-porsche-engineering-moore-ley-electronica-chips-24044.html>
- Burbules, N. (2014). El aprendizaje ubicuo: nuevos contextos, nuevos procesos. *Entramados: educación y sociedad*, 1(1), 131-134.
- Burbules, N., y Callister (h), T. (2001). *Educación: Riesgos y promesas de las nuevas tecnologías de la información*. Barcelona, España: Granica.
- Chen, S., Zhang, T., y Shi, W. (1 de marzo 2017). Fog Computing. *IEEE Journals & Magazine / IEEE Xplore*, 21(2). Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7867739>
- Cirac, I. [Telefónica]. (9 de febrero 2018). *Así cambiará el mundo la computación cuántica: Ignacio*

Cirac [Vídeo]. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=WJ3r6btgzBM>

Deloitte. (2019). *Global development of AI-based education*. Recuperado de: <https://www2.deloitte.com/cn/en/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/development-of-ai-based-education-in-china.html>

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2020). *Encuesta permanente de Hogares-MAUTIC*. Recuperado 31/8/2020 de: <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel3-Tema-4-26>

Lara, C. F. (13 de mayo 2021). En dos años, el cómputo cuántico comenzará a dar un valor real a la humanidad. *Forbes Colombia*. Recuperado de: <https://forbes.co/2021/05/13/tecnologia/en-dos-anos-el-computo-cuantico-comenzara-a-dar-un-valor-real-a-la-humanidad/>

Lion, C. (2006). *Imaginar con tecnologías. Relaciones entre tecnologías y conocimiento*. Buenos Aires, Argentina: La Crujía.

Maroto, C. (2019). El salto del Big Data al Huge Data. *Harvard Deusto Business Review*, 285, 47-60. Recuperado de: <https://www.harvard-deusto.com/el-salto-del-big-data-al-huge-data>

Martínez Uribe, C. (2008). La educación a distancia: sus características y necesidad en la educación actual. *Educación*, XVII(33), 7-27.

Mc Luhan, M. (1974). El aula sin muros. En E. Carpenter & M. Mc Luhan, *El aura sin muros*, (2nd ed., pp. 155-156). Barcelona, España: Editorial LAIA.

Mitra, S. (2010) *The hole in the wall: self organising systems in education*. En: ALT-C 2010 'Into something rich and strange' - making sense of the sea-change, 7 - 9 septiembre 2009, Nottingham.

National Science Foundation. (3 de septiembre 2020). *Secure quantum communication: Safe from hackers* [Vídeo]. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=7Nf7ly95mFg>

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (2019). *Artificial Intelligence in Society*. Recuperado 2 abril 2020 de: <https://doi.org/10.1787/eedfee77-en>

Prensky, M. (2001). Digital natives, digital immigrants part 2: Do they really think differently?. *On the horizon*.

Quantum Flagship. (17 de junio 2019). *The Quantum Communications Infrastructure (QCI)* [Vídeo]. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=sheIkirO778>

Squirrel AI. (2020). *Press. Squirrel Ai Learning*. Recuperado de: <http://squirrelai.com/testimonials>

Taquini (h), A., Urgoiti, E., Rifé, S. De Cea, R. (1972). *Nuevas Universidades para un nuevo país*. Buenos Aires: Editorial Estrada.

Taquini (h), A. (2001). Educación Superior y Ciberespacio. En A. C. Taquini, *Nuevas Universidades para un nuevo país y la educación superior 1968-2010*. Academia Nacional de Educación.

Taquini (h), A. (2009). El nuevo paradigma. En *Tecnología, Cultura y Educación en la sociedad global* (p. 14). Belgrano Day School.

Taquini (h), A., Lehmann, F., Johansen, F., Vasta, M., & Maiocchi, C. (2014). *Proyecto TEC (de Tecnología, Educación y Cultura)*. Recuperado 3/4/2020 de: http://www.bds.edu.ar/images/publicaciones/ProyectoTEC_UnaNuevaEducacion-5.pdf

Taquini (h), A., Pelliccia, A., Maiocchi, C., Sala, S. (2009). *El modelo Belgrano Day School: Biblioteca, contenidos digitales y calidad educativa*. Belgrano Day School. Recuperado de: <https://bds.edu.ar/images/publicaciones/BDSTecnoCulturaEduc2010.pdf>

Thornhill, J. (30 de septiembre 2020). *Informática cuántica: la aleatoriedad como servicio. Expansión*. Recuperado de: <https://www.expansion.com/economia-digital/innovacion/2020/09/30/5f6c7181e->

5fdea07328b4687.html

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2019), *Artificial intelligence in education: challenges and opportunities for sustainable development*.

Villena Román, J., Crespo García, R., & García Rueda, J. (2015). *Historia de la Inteligencia Artificial* — OCW - UC3M. Recuperado 2/4/2020 de: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-telematica/inteligencia-en-redes-de-comunicaciones/material-de-clase-1/01-historia-de-la-inteligencia-artificial/view>

Waters, R. (24 de abril 2021). Goldman Sachs predicts quantum computing 5 years away from use in markets. *Financial Times*. Recuperado de: <https://www.ft.com/content/bbff5dfd-caa3-4481-a111-c79f-0d38d486#myft:my-news:page>

Webb, A. (2020). *Los nueve gigantes*. Paidós Empresa Colombiana.

ACADEMIA NACIONAL DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA

Desarrollo de nuevos fármacos mediante inteligencia artificial

Jean-Paul F.C. Rossi, Nélide Mondelo y Osvaldo Cascone

Resumen

La búsqueda de nuevos medicamentos debe tener el objetivo humanitario de prevenir, aliviar o curar enfermedades que hoy carecen de una terapia farmacológica adecuada. La primera etapa se fundamenta en la optimización del acoplamiento molecular entre un receptor y un ingente número de fármacos potenciales, para determinar cuál de ellos produce una mayor o mejor eficacia en el acoplamiento que redundará en una mayor competencia del medicamento.

El hallazgo de nuevos fármacos mediante técnicas de inteligencia artificial (IA), se ha transformado en un tema fundamental para la industria farmacéutica de innovación, frente a la posibilidad de manejo del enorme caudal de datos existentes para seleccionar al mejor candidato para el blanco deseado, cuidando del delicado equilibrio entre su potencia, su selectividad -asociada en gran medida a su toxicidad- y su farmacocinética, entre otros. Es un hecho conocido que la primera etapa de selección se acelera enormemente mediante IA, lo que augura un extraordinario desarrollo de los fármacos en los próximos años.

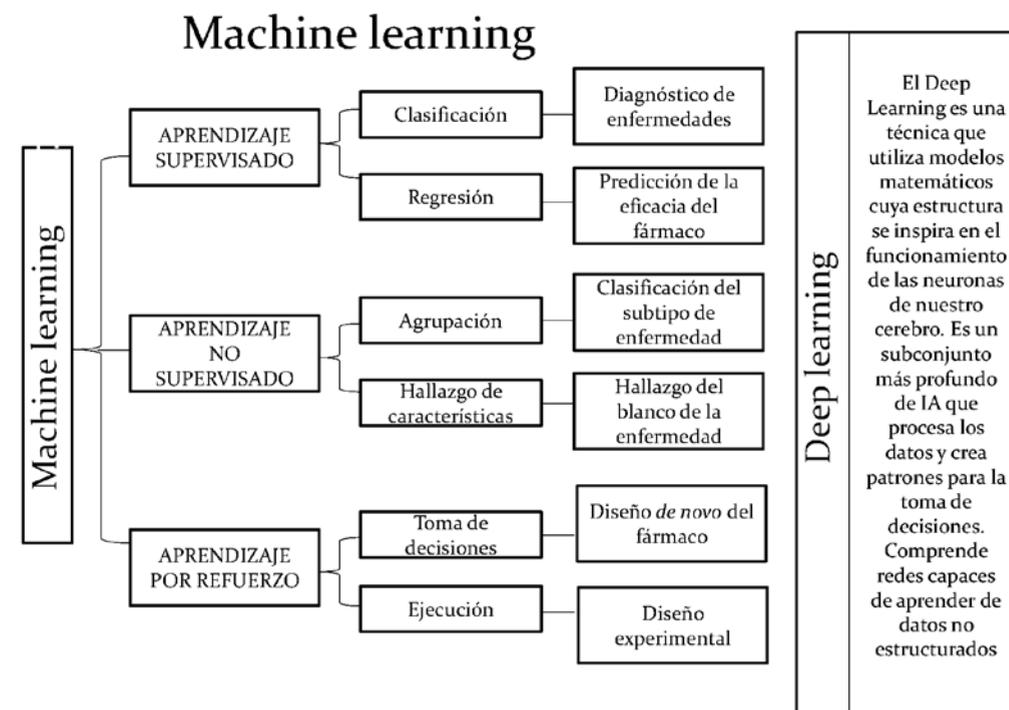
Consideramos que es oportuno, a esta altura del progreso de la IA en el área biomédica, reflexionar acerca de sus potenciales ventajas y desventajas inherentes en acelerar procedimientos tradicionales que habían alcanzado un consenso general. Este documento plantea una serie de interrogantes sobre el desarrollo de nuevos fármacos mediante inteligencia artificial:

- a) ¿Cuál es el propósito de utilizar la IA para el desarrollo de un nuevo fármaco?
- b) ¿Cómo funciona un programa de aprendizaje automático aplicado al desarrollo de fármacos?
- c) ¿Cuáles serían los procesos que podrían ser favorecidos por el uso de la IA en la industria farmacéutica?
- d) ¿Cuáles serían las medidas necesarias para implementar la enseñanza de la IA en las carreras de Farmacia y Bioquímica?
- e) ¿Cuáles son los problemas de índole ética aparejados al desarrollo de programas de IA?

Las herramientas de IA

Machine learning se define como un campo de las ciencias de la computación que le da a las computadoras la habilidad de aprender sin ser explícitamente programadas. Es una disciplina científica del ámbito de la inteligencia artificial que crea sistemas que *aprenden automáticamente*. Aprender en este contexto significa que puede identificar patrones complejos a través de analizar millones de datos, conocidos como *big data*. Para ello utiliza algoritmos, que son procedimientos por pasos con la finalidad de alcanzar un objetivo, normalmente resolver un determinado problema. La “máquina” que realmente aprende es el conjunto de algoritmos que revisan los datos y son capaces de predecir comportamientos futuros. *Automáticamente*, implica que estos sistemas mejoran de forma autónoma con el tiempo sin la intervención humana.

El siguiente esquema muestra las características que comprenden al *machine learning* o aprendizaje automático adaptado al desarrollo de fármacos:



Esquema 1. Los múltiples niveles del *machine learning*. El método de análisis de datos automatiza la construcción de modelos analíticos utilizando algoritmos que aprenden iterativamente de los datos. Las computadoras pueden identificar conocimientos ocultos sin estar explícitamente programadas. Modificado de *Drug. Discovery Today* 2021¹

Los datos de conocimiento acumulados sobre un tema determinado, si se organizan y procesan juntos, crean una base de datos que se puede utilizar para predecir comportamientos futuros, priorizar comportamientos destinados a mejorar los objetivos y evitar comportamientos dañinos. Esta enorme cantidad de datos es imposible para que un analista pueda sacar conclusiones, y mucho menos hacer predicciones. En cambio, los algoritmos pueden detectar patrones de comportamiento utilizando las variables que le proporcionamos y descubrir cuáles son las que han llevado, en este caso, a elegir un determinado camino para desarrollar un nuevo fármaco. Mediante las técnicas de *machine learning* el usuario ingresa al sistema una muestra del problema (por ejemplo una molécula) y el conjunto de algoritmos que constituyen el *software* desarrolla sus propios enfoques computacionales para proponer soluciones y la solución esperada (cómo dicha molécula se comporta finalmente como un fármaco).

Las técnicas de *machine learning* se clasifican en tres grandes grupos: aprendizaje supervisado, no supervisado y por refuerzo.

Aprendizaje supervisado. En el aprendizaje supervisado tenemos un archivo de datos en el que disponemos de la variable a predecir (o campo objetivo o etiqueta) para entrenar el modelo. En nuestro caso una vez entrenado y validado el proceso de diseño se podrá utilizar para aplicarlo el número de veces que sea necesario.

Aprendizaje no supervisado. Para el entrenamiento del modelo disponemos de un conjunto de datos que no están clasificados y el algoritmo descifra la información y clasifica por sí solo. En este caso el algoritmo agrupará los datos según sus semejanzas respecto a alguna o algunas características de tal forma que los miembros de un mismo grupo sean lo más parecidos posible a la vez que cada grupo se diferencie de los demás lo máximo posible.

Aprendizaje por refuerzo. Las dos cualidades principales del aprendizaje por refuerzo son la prueba-error y la recompensa. Es un proceso similar al entrenamiento y al aprendizaje tanto en los seres humanos como en los animales. Un algoritmo que aprende por refuerzo lo que hace es recibir una recompensa positiva si el resultado de la acción es bueno y una sanción si es malo. El objetivo del aprendizaje se consigue cuando la recompensa recibida es la máxima posible.

La mayoría de las aplicaciones para el descubrimiento de fármacos basadas en IA adoptan la forma de una técnica llamada aprendizaje automático, que incluye el subconjunto del enfoque denominado aprendizaje profundo (*Deep learning*). La generalidad de los programas de aprendizaje automático puede funcionar con pequeños conjuntos de datos organizados y etiquetados, mientras que los programas de aprendizaje profundo pueden trabajar con datos sin procesar y no estructurados, pero requieren volúmenes muchísimo mayores de información (*big data*). Debemos tener en cuenta que un programa de aprendizaje profundo puede ser ventajoso solamente si se le brinda la adecuada calidad y cantidad de información para procesar.

El *Deep learning* es una técnica que usa modelos matemáticos cuya estructura está inspirada en el funcionamiento de las neuronas de nuestro cerebro. El equivalente a las neuronas dentro de la red neuronal es una expresión matemática que recibe datos, los transforma y los traspassa a la siguiente capa de neuronas. Todas las redes neuronales tienen una capa de entrada, por donde entran los datos y una capa de salida, que genera la predicción final. Por otra parte, en una red neuronal profunda también habrá múltiples capas ocultas por las que pasarán e interactuarán los datos antes de que salga con las consiguientes predicciones. Las conexiones entre las neuronas se dan a través de los pesos estadísticos que tienen asociados y representan la influencia de las neuronas de salida en conexión con las neuronas de entrada.²

La inteligencia artificial para el diseño de fármacos

La industria farmacéutica trata de desarrollar nuevos fármacos dirigidos a sus blancos moleculares, que puedan utilizarse en forma segura en la práctica clínica contra las enfermedades complejas como el cáncer, las metabólicas, genéticas, psiquiátricas, neurodegenerativas y contra los virus, bacterias y parásitos. El descubrimiento de una molécula de interés terapéutico se ha basado clásicamente en la demostración de su habilidad para modificar el curso de una enfermedad en modelos experimentales o, tras el advenimiento de los avances en biología molecular, de su capacidad para interactuar con blancos moleculares, toda vez que se conozca que tal interacción modifica el curso de la misma. Esta etapa se ha visto facilitada en los últimos treinta años por herramientas computacionales (*in silico*) y de selección de alto desempeño.^{3,4}

El desarrollo de fármacos involucra varias etapas; entre ellas se destaca la identificación de candidatos efectivos, es decir moléculas potencialmente activas para contrarrestar el efecto de una determinada biomolécula involucrada en una enfermedad. El ensamble molecular entre dos compuestos bio-activos está sujeto a una serie de fenómenos físicos presentes en la naturaleza y que se modelan a través de una función de puntuación o *score*. Estos modelos representan los comportamientos de las moléculas en la naturaleza, permitiendo trasladar esta interacción molecular a una simulación en plataformas computacionales.

El descubrimiento de nuevos fármacos es un tema fundamental para la industria farmacéutica de innovación, y la IA brinda la posibilidad de manejo del enorme caudal de datos existentes para seleccionar al mejor candidato para el blanco deseado manteniendo el preciso equilibrio entre su potencia, su selectividad- asociada en gran medida a su toxicidad- y su farmacocinética, entre otros.

La primera etapa de selección se acelera enormemente con la aplicación de la IA, lo que augura un extraordinario desarrollo de los fármacos en los años venideros.

Procesos industriales actualmente utilizados en la producción y el desarrollo de fármacos

Entre los diferentes tipos de selección de alto desempeño podemos reconocer ensayos libres de células, puramente bioquímicos (unión a receptores, reacciones enzimáticas y otros) y los que emplean células (acción sobre canales iónicos, receptores nucleares, etc.) siendo considerados estos últimos más cercanos al mo-

delo animal y especialmente atractivos ya que involucran transporte a través de membranas, metabolismo, citotoxicidad entre otros procesos. La identificación de una molécula promisorio suele ser la resultante de la experimentación con distintas dosis o concentraciones de varias de ellas en distintos sistemas bioquímicos o celulares y necesariamente requiere ensayos adicionales *in vitro*, *ex vivo* y/o *in vivo*, seleccionados “caso por caso” como prueba de concepto farmacodinámico.⁵

En el desarrollo de fármacos, las moléculas candidatas clínicas deben cumplir una serie de criterios diferentes. Junto a la potencia adecuada para el objetivo biológico, el compuesto debe ser lo suficientemente selectivo para evitar efectos no deseados y también exhibir adecuadas propiedades fisicoquímicas, así como absorción, propiedades de distribución, metabolismo, excreción y toxicidad (por sus siglas, *ADMET*). Por lo tanto, la optimización compuesta es un desafío multidimensional. Deben aplicarse diferentes métodos de predicción *in silico* a lo largo del proceso de optimización para que el diseño de compuestos farmacológicos sea eficiente.

En este punto se inicia otro desafío: el fármaco candidato que es dinámicamente aceptable (pues reúne eficacia y potencia) también debe ser admisible en sus propiedades farmacocinéticas. Si se tratara de un fármaco de administración no sistémica o que requiera actuar en sitios específicos (el sistema nervioso central, por ejemplo), su absorción a través de membranas puede ofrecer una limitación crítica. La distribución, el metabolismo y la excreción, procesos que se relacionan con la llegada del fármaco en forma activa al sitio deseado, su permanencia durante un lapso compatible con una posología racional y con eventuales efectos adversos, son los otros componentes que, en conjunto, deberán justificar la continuidad del desarrollo.⁶

Hoy en día, tenemos herramientas para predecir cómo cierto tipo de fármaco será absorbido, distribuido, metabolizado y excretado por el cuerpo (sus propiedades ADME) gracias a décadas de investigación sobre farmacocinética. Sin embargo, la mayor parte de los datos de farmacocinética humana provienen de datos clínicos y ensayos realizados en cohortes homogéneas de personas, seleccionadas en base a estrictos criterios de elegibilidad. Los médicos tienen que seleccionar el tratamiento y la dosis más adecuados para el paciente basados en casos “promedio”. Sin embargo, existen factores como la edad, el género y los microbios con los que compartimos nuestro cuerpo (el microbioma) que son fundamentales para el efecto de los fármacos.⁷

La secuencia se completa con las pruebas de toxicidad general (a largo plazo) y especial (de la reproducción y si fuera necesario de carcinogénesis, genotoxicidad, toxicidad local, cardiovascular o sobre el sistema nervioso central, etc.). Regula-

toriamente, estas etapas que proveerán la información para minimizar riesgos en la selección de dosis para la “primera vez en humanos” y sugerirán parámetros de monitoreo en ensayos clínicos tempranos, pueden ser concurrentes en algún punto con la investigación clínica y deberán completarse previamente a la etapa de comercialización, excepto algunas muy definidas situaciones especiales.^{6,8,9}

Actualmente se dispone de muchas aplicaciones que predicen las características o actividades como propiedades fisicoquímicas y ADMET que muestran la eficacia de esta tecnología cuando se aplican en las relaciones cuantitativas estructura-propiedad (QSPR) o en las relaciones cuantitativas estructura-actividad (QSAR). La IA en el diseño *de novo* impulsa la generación de nuevas moléculas biológicamente activas que gozan de las propiedades deseadas. La literatura reciente demuestra la eficacia de la IA en este campo. En combinación con la planificación y la facilidad de síntesis es factible que el descubrimiento de fármacos se automatice progresivamente gracias a la IA.¹⁰

Aunque el gasto para el desarrollo de fármacos ha ido en aumento, sólo cerca del 10% de todos los medicamentos en la Fase 1 eventualmente obtienen la aprobación regulatoria de la Administración de Drogas y Alimentos de los EE.UU. (Federal Drug Administration, FDA). La mayoría (39%) de los que no obtienen la aprobación se debe a un escaso conocimiento de la farmacocinética que tiene un impacto en la eficacia, seguridad y toxicidad de un compuesto farmacológico.¹¹

El panorama referido es una simplificación extrema del proceso de identificación de un fármaco con potencial utilidad clínica. Para que éste logre atravesar todas las etapas necesarias y llegar al paciente, deberán sumarse el desarrollo de procesos escalables de síntesis del ingrediente activo, integrarlo en una forma farmacéutica *ad hoc*, enfrentar y superar las etapas clínicas de investigación de seguridad y eficacia (Fases I a III) antes de considerar el inicio del proceso de solicitud de autorización de comercialización.

Finalmente, corresponde destacar el sometimiento a la enorme y costosa carga regulatoria que incluye el seguimiento de múltiples lineamientos de diseño y de calidad desde la muy temprana etapa de evaluación no clínica de seguridad hasta su aprobación y, posteriormente, durante su ciclo de vida. En este trayecto de muchos años, el escenario comercial y competitivo en el área terapéutica a la que la molécula en estudio pertenece puede modificarse sustancialmente, perderse el interés y decidirse, independientemente de la etapa alcanzada, la interrupción del desarrollo.

Es evidente que dada la mínima proporción de moléculas que completan exitosamente todas las etapas –aproximadamente 1 en 20.000–, que se trata de un proceso muy laborioso, largo, de alto costo y de alto riesgo lo cual seguramente

explica la presencia prácticamente nula de los países latinoamericanos en el descubrimiento e introducción en el mercado del medicamento de nuevas entidades químicas o biológicas.

La IA se ha transformado en un tema fundamental para la industria farmacéutica de innovación -y sus reguladores- ya que ofrece la posibilidad de análisis del enorme caudal de datos biomédicos existentes en distintos repositorios para una mayor rapidez, precisión y exactitud en las decisiones en cada eslabón de la cadena de desarrollo. De esta forma, se incrementa la probabilidad de selección del candidato con predeciblemente, un óptimo balance entre potencia, selectividad -asociada en gran medida a su toxicidad- y farmacocinética, entre otros.^{12,13,14,15,16}

Según distintas fuentes, la IA reducirá de 2-3 años a 4 meses la etapa de descubrimiento del fármaco ideal y sustancialmente la década que hoy se estima para que el fármaco llegue al mercado, con un costo considerablemente menor a los 2-3 mil millones de dólares promedio estimados. Un caso emblemático en USA y Japón fue el reposicionamiento de *Baricitinib*, un fármaco originalmente aprobado para la indicación contra la artritis reumatoide, como potencial tratamiento de COVID-19 en sólo nueve meses, luego que una compañía especialista en IA lo identificara en pocos días.¹⁷

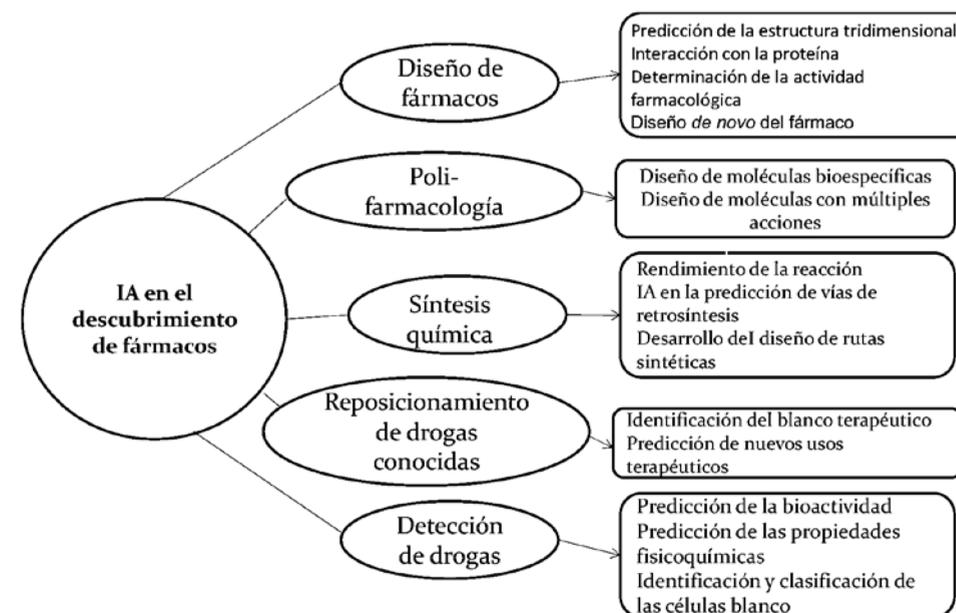
El futuro en la producción de fármacos

Hemos visto en los párrafos precedentes como la IA se implementa actualmente y como se constituye en uno de los avances más promisorios en la industria farmacéutica. Es de destacar el potencial de la IA en el desarrollo holístico de nuevos fármacos, entre otros que se irán progresivamente implementando como: diseño del fármaco; pruebas iniciales de efectividad terapéutica y seguridad: (*screening* dirigido); ensayos bioquímicos (preclínicos), de ensayos clínicos para determinar la efectividad y toxicidad; desarrollo del producto farmacéutico; producción en el laboratorio y en planta; control y aseguramiento de la calidad; asuntos regulatorios; gestión comercial del producto (*management*), fármaco-vigilancia, entre otros. Algunos de estos procesos pueden estar superpuestos en el orden de su realización o realizarse simultáneamente y en un futuro probablemente podrán adelantarse o suprimirse algunas etapas.¹⁸

El esquema 2 destaca la importancia de la IA en el descubrimiento de fármacos *de novo* así como en la reutilización de aquellos que han sido destinados para otros fines terapéuticos y en la poli-farmacología que es el diseño o uso de agentes farmacéuticos que actúan sobre múltiples objetivos o caminos de una enfermedad.¹⁹

El descubrimiento de fármacos basado en ligandos diseñados con técnicas de aprendizaje profundo, podrían facilitar el descubrimiento de nuevas entidades químicas que incrementen la disponibilidad de posibles agentes activos. A su vez la combinación de enfoques con y sin reglas previas promoverá la capacidad de la IA para entregar moléculas bio-activas sintetizables y explorar nuevas regiones del espacio químico.

La inteligencia artificial, la multitarea y el meta-aprendizaje, allanarán el camino para una nueva generación de modelos predictivos con una mayor capacidad de interpretación, aún con pocos datos disponibles. Por otra parte, los modelos de procesamiento del lenguaje natural se convertirán en soluciones comunes tanto en la retro-síntesis, -que es una técnica para diseñar síntesis orgánicas que transforma retroactivamente la molécula objetivo en una secuencia de estructuras precursoras cada vez más sencillas, hasta alcanzar aquellas que sean accesibles comercialmente- o simples como en la predicción de síntesis *de novo*.²⁰



Esquema 2. Papel de la inteligencia artificial en el descubrimiento de fármacos. La IA se puede utilizar de forma eficaz en diferentes partes del descubrimiento de fármacos, incluido el diseño de fármacos, la síntesis química, la detección de fármacos, la polifarmacología y el reposicionamiento de fármacos. Modificado de *Drug. Discovery Today* 2021.¹

El desarrollo farmacéutico involucra actividades destinadas a obtener datos físico-químicos, de fabricación y control que permitan la aprobación regulatoria, un proceso de fabricación robusto y económico, y el cumplimiento en la escala industrial de atributos de calidad especificados. Incluye la síntesis, purificación y control del ingrediente activo en caso de ser requerido, y el desarrollo de la formulación y el proceso de manufactura del producto farmacéutico, su escalado, la producción de lotes para ensayos clínicos, la calificación de proveedores de materias primas, los estudios de compatibilidad entre componentes y la estabilidad, la selección del material de acondicionamiento primario y, entre otros, el desarrollo y validación de la metodología analítica necesaria para la aprobación y controles del proceso de manufactura y de los ensayos físico-químicos de liberación. El potencial de IA en este campo, al que se le reconocen múltiples variables (tipo y cantidad de excipientes, eventual combinación de activos, distintos procesos según vía de administración y tipo de liberación requeridas) se manifiesta en las numerosas aplicaciones que se encuentran en la literatura actual.^{21,22}

A su vez, la IA también puede dar soporte y acelerar el proceso de desarrollo de métodos instrumentales, generadores de una enorme cantidad de datos, definiendo las condiciones operacionales (detector, fase estacionaria, fase móvil en sistemas cromatográficos y otras aplicaciones tecnológicas) que permitan una resolución adecuada entre los distintos componentes de una fórmula (ingredientes activos e inactivos, impurezas, productos de degradación)²³

En terapéuticas de avanzada como las nanomedicinas, las expectativas no son menores. La posibilidad de predecir las condiciones que pueden llevar a la agregación de nanopartículas -y perder la condición “nano”-, el impacto de la química de la superficie o la combinación con otros agentes para potenciar la internalización celular se anticipa como una aplicación de altísima relevancia durante la etapa de diseño de estas formas farmacéuticas.^{24,25,26}

La IA es ampliamente reconocida como una herramienta poderosa en facilitar la investigación clínica dirigida a determinar o verificar la eficacia, seguridad y/o estudiar la farmacocinética de un fármaco en seres humanos. Provee los recursos para el análisis e interpretación de la información total disponible en estudios previos, publicaciones, lineamientos y para un mejor diseño de protocolo clínico; optimiza y/o acelera el reclutamiento/estratificación de los pacientes adecuados haciendo uso de imágenes, comportamientos, bio-marcadores, análisis genómico y refinando la interpretación de la acción de la droga y finalmente durante la conducción del estudio, mejora la adherencia al tratamiento, disminuye los abandonos y fundamentalmente, asegura la evaluación en tiempo real de la progresión de la

enfermedad e indicadores de calidad de vida así como la manifestación de eventos adversos. Asimismo, se espera que el *machine learning* y el *natural language processing* ofrezcan ventajas relevantes para la confección del *Informe Final* que deberá ser sometido al escrutinio de las autoridades sanitarias.

Una prueba del enorme interés en la temática se manifestó en septiembre 2020 cuando, en forma simultánea, Nature Medicine, The BMJ y The Lancet Digital Health publicaron los primeros lineamientos internacionales para estandarizar la presentación de Protocolos (*SPIRIT-AI*) e Informes (*CONSORT-AI*) de ensayos clínicos que incluyan la intervención de IA. De esta manera y con exigencias específicas tales como identificación de algoritmos y del sistema de obtención de datos se pretende asegurar completitud y transparencia y evitar eventuales sesgos.^{27,28}

Los datos disponibles en el campo del descubrimiento de fármacos son de naturaleza fundamentalmente diferente de los de otros dominios en los que la IA recientemente ha logrado grandes avances, como los de reconocimiento de imágenes y reconocimiento de voz. Un importante escollo se relaciona con la falta de comprensión actual de los sistemas biológicos en particular, lo que crea dificultades para definir la relevancia de determinados puntos finales. Para avanzar ampliamente en el campo del descubrimiento de fármacos, y pasar de las aplicaciones del descubrimiento de ligandos para luego trasladarlas al desarrollo de fármacos, necesitamos comprender cuáles son los datos a generar para un determinado propósito, lo que implica en primer lugar comprender mejor dichos procesos biológicos. Sólo cuando seamos capaces de medir y captar los puntos finales biológicos relevantes *in vivo*, seremos capaces de aplicar ventajosamente los algoritmos computacionales actualmente disponibles para prosperar en esta área, produciendo compuestos de mayor eficacia y seguridad clínica.²⁹

Si se recorren las distintas etapas del ciclo de vida de un producto farmacéutico pueden imaginarse decenas de aplicaciones que no hemos considerado en este documento. Así es como algunas compañías farmacéuticas han usado plataformas de IA para identificar, entre miles de trabajos de investigación, aquellos que pudieran ser de interés para presentar a sus accionistas de forma de incluir en un portafolio de proyectos de desarrollo o para indagar en las percepciones de los pacientes y así tener una mejor estimación del presupuesto de ventas y la cadena de distribución y otras, para mejorar aspectos de comunicación unificando y adaptando la terminología en sus documentos según la audiencia a la que estaban destinados como reguladores, organizaciones externas de fabricación o investigación clínica, socios académicos, investigadores o personal de la compañía.^{30,31,32}

Durante la última década, la IA ha comenzado a penetrar en todas las industrias con la promesa de una automatización mejorada y una transformación impulsada por los datos. Cuando se aplica al descubrimiento de fármacos, la IA propone una ventaja convincente: un desarrollo de fármacos más asequible y un uso más inteligente de los datos para agilizar los plazos asociados con la comercialización de un nuevo fármaco. En el mundo del desarrollo de medicamentos, incluso la diferencia de un año puede marcar una diferencia increíble tanto para la empresa que está detrás de su creación como para las personas que se beneficiarán del uso previsto.³³

Debemos considerar que la IA no es una tecnología sino una nueva revolución industrial que toca profundamente todos los estamentos del ser humano.

La enseñanza de la inteligencia artificial en las carreras de Farmacia y Bioquímica

En los próximos 10 años, un 75% de los empleados de las empresas habrá nacido entre 2000 y 2010. Esta nueva generación de *Millennials* se caracteriza por ser nativos digitales, estar abiertos a los cambios, vivir el presente, buscar soluciones rápidas a los problemas que les surgen, estar siempre conectados y preferir lo visual antes que el contenido escrito. Estas nuevas generaciones necesitan aprender de otra manera: quieren trabajar de modo diferente en el aprendizaje universitario, saber cómo extraer conocimiento relevante de la información que nos rodea, aprender de manera colaborativa, potenciar determinadas competencias y desarrollar nuevas habilidades. Este hecho evidencia la urgente necesidad de los cambios en las formas de enseñanza, en forma independiente de la necesidad impuesta por el progreso.

Esto implica que no solamente deben cambiarse los programas de estudio sino también adaptar nuevos medios de enseñanza. Estos medios deberían recuperar las virtudes ventajosas del aprendizaje, para que el estudiante mantenga la atención, desarrolle la capacidad de concentración y la memoria, que es neutralizada por el exceso de estímulos, tanto visuales, táctiles y auditivos, provenientes de tecnologías invasivas y aceleradas, que no pueden ser amortiguadas y normalizadas al mismo tiempo que aparecen.

La biotecnología pertenece a las tecnologías de cuarta generación que promueven la unión de tecnologías digitales, particularmente la IA y las redes de sistemas inteligentes, la robótica, la internet de las cosas (*Internet of Things, IOT*), las tecnologías de nuevos materiales y la nanotecnología. Las aplicaciones que surgen de

la convergencia de la IA con la biotecnología ofrecen inmensas oportunidades que podrían beneficiar en forma muy importante a la salud humana y a la bioseguridad.

Como en el caso de muchas tecnologías que precedieron a la IA, las nuevas oportunidades a menudo presentan paralelamente nuevos riesgos, que no se pueden soslayar en los planes de enseñanza de esta disciplina. La inteligencia artificial atraviesa varias áreas del conocimiento y una de ellas es la educación. Muchos países están haciendo un análisis conjunto con los ministerios de educación, ciencia, industria, y demás, para detectar cuáles van a ser las habilidades que se van a demandar en el futuro y cuáles debe tener la ciudadanía para elevar sus competencias.³⁴

Algunas instituciones ya tienen en sus planes de estudio de pregrado cursos de IA, y además hay oferta de cursos de posgrado de enseñanza de la IA con orientaciones diversas.

Tanto en las Facultades de Ingeniería de la UBA y de la UN Cuyo, así como en la Facultad de Informática de la UNLP y la UTN ya la IA está incipientemente presente en los planes de estudio. En los países del primer mundo como Canadá, Finlandia, Israel, Japón, Reino Unido, Alemania y Estados Unidos la enseñanza de la IA ocupa cada vez un lugar más importante en los planes de estudio, lo mismo que en algunos países de América Latina.

En las facultades de Farmacia y Bioquímica de nuestro país, es imperativo la implementación de tecnologías digitales y entre ellas la enseñanza de la IA como herramienta indispensable. La IA debería implementarse en varias etapas de la carrera ya que prácticamente todas las asignaturas la necesitarán para no quedar obsoletas. La implementación de dichas tecnologías modificará sustancialmente el plantel docente y el plan de estudios de las carreras cumplimentando los siguientes puntos:

Implementar nuevos cargos docentes y asignaturas específicamente dirigidos hacia la enseñanza e investigación en el campo de la IA. Los nuevos profesores tendrán que capacitar a los docentes involucrados en todas las asignaturas con los fundamentos de la IA tanto para las carreras de Farmacia como las de Bioquímica.

Introducir tópicos de IA en las asignaturas de base de las carreras para que los alumnos adquieran los conocimientos necesarios para integrarla en las aplicaciones de la Farmacia y de la Bioquímica.

Introducir en los planes de estudio de las carreras de Farmacia y de Bioquímica, especializaciones dirigidas al diseño de fármacos y enfocadas al desarrollo de reactivos de diagnóstico mediante IA. Estas especializaciones formarían profesionales superiores con un perfil aplicado a la investigación, desarrollo y producción de productos, procesos y servicios que utilizan microorganismos o sus componentes biológicos en los ámbitos de la Bioingeniería, Biotecnología industrial y Biomedicina.

Cada carrera tendría una sólida base conjugada con los conocimientos fundamentales de medicina y biología, complementados con materias específicas de aplicación de tecnología: electrónica, informática, robótica, óptica, etc., para satisfacer las progresivas demandas de la medicina y la biología.

Durante su carrera los estudiantes recibirían conocimientos básicos de IA, mientras que otros desarrollarían su especialización, reflejada en maestrías y doctorados, particularmente dirigidas a nuevas aplicaciones en el campo de la Farmacia y de la Bioquímica que la sociedad demandará inevitablemente en un futuro próximo.^{35,36,37,38,39,40}

Problemas de índole ética aparejados al desarrollo de programas de inteligencia artificial: el papel del ser humano como último árbitro

Si se piensa que las decisiones inherentes a los programas de IA proceden con mayor o menor independencia de la intervención humana, es imprescindible considerar los límites éticos o morales que son necesarios para evitar conflictos de esta naturaleza. Se generan preguntas que deberían contestarse antes de implementar la IA en todos los niveles como: ¿Hasta dónde podemos llegar con la tecnología? ¿Hasta dónde reemplazar al ser humano por máquinas que a través de procesos matemáticos lleguen a decisiones trascendentes? ¿Con qué principios éticos vamos a programar nuestros algoritmos de IA cuando se enfrenten a dilemas complicados? Por ejemplo, podemos encontrarnos con un fármaco capaz de curar una enfermedad pero que al mismo tiempo afecte los derechos o las creencias religiosas de la persona.

La sociedad humana no está preparada para los cambios que trae la IA debido a que va mucho más allá de la automatización tal como la conocemos. La automatización se ocupa de los medios; logra los objetivos prescritos racionalizando o mecanizando los instrumentos para alcanzarlos. En cambio, la IA se ocupa de los fines y establece sus propios objetivos. En la medida en que sus logros sean en parte moldeados por sí misma, la IA es inherentemente inestable. Los sistemas de IA, a través de sus mismas operaciones, están en constante cambio a medida que adquieren y analizan instantáneamente nuevos datos, y luego buscan mejorarse a sí mismos sobre la base de ese análisis. A través de este proceso, la IA desarrolla una capacidad que antes se pensaba reservada a los seres humanos. Emite juicios estratégicos sobre el futuro, algunos basados en datos recibidos como código (por ejemplo, las reglas de un juego) y otros basados en datos que recopila por sí misma.

Un porcentaje creciente de la actividad humana, dentro de un período de tiempo medible, será impulsado por algoritmos de IA. Pero estos algoritmos, al ser interpretaciones matemáticas de los datos observados, no explican la realidad subyacente que los produce. Paradójicamente, a medida que el mundo se vuelve más transparente, también se volverá cada vez más misterioso. Viviremos en un nuevo mundo diferente al que hemos conocido, para lo cual tendremos que administrar la IA, evitar que haga daño, y evitar que compita con el ser humano disminuyendo su idoneidad y capacidad.

Si la IA aprende exponencialmente más rápido que los humanos, debemos esperar que acelere, también exponencialmente, el proceso de prueba y error mediante el cual generalmente se toman las decisiones humanas y en consecuencia cometer errores más rápido y de mayor magnitud que los humanos. Puede llegar a ser imposible moderar esos errores, como a menudo sugieren los investigadores en IA, al incluir en un programa advertencias que requieren resultados éticos o razonables.⁴¹

La Unión Europea considera que la IA, la robótica y las tecnologías conexas deben considerarse de alto riesgo cuando su desarrollo, despliegue y uso entrañen un riesgo significativo de causar lesiones o daños a particulares o a la sociedad, vulnerando los derechos fundamentales y las normas de seguridad establecidas en el Derecho de la Unión. Considera que, a efectos de evaluar si las tecnologías de IA entrañan un riesgo de ese tipo, deben tenerse en cuenta el sector en el que se desarrollan, despliegan o utilizan, su uso o finalidad específicos y la gravedad de la lesión o daño que cabe esperar que se produzca. Subraya además que la evaluación de riesgos de estas tecnologías debe efectuarse sobre la base de una lista exhaustiva y acumulativa de sectores de alto riesgo y de usos o fines de alto riesgo; por lo que debe haber coherencia en lo que respecta a la evaluación de riesgos de estas tecnologías, especialmente cuando se evalúan a la luz de su conformidad con el marco regulador para la IA y de conformidad con cualquier otra legislación sectorial aplicable.⁴²

Queda claro que en Europa hay una marcada estrategia de que el ser humano sea el centro de la cuestión. Esto quiere decir que las aplicaciones de IA no sólo deben ajustarse a la ley, sino que también deben respetar los principios éticos y garantizar que su implementación evite daños involuntarios o colaterales. Se suman a estas las recomendaciones del Foro Económico Mundial, en las que se proponen distintos métodos para asegurar un buen uso de la IA por parte de empresas y Gobiernos; y los informes publicados por las Naciones Unidas y por la Unesco.³⁴

Por otra parte, las decisiones, aún aquellas importantes como las médicas, económicas o sociales, son hoy en día el resultado de la voluntad humana y de una se-

rie de contribuciones algorítmicas. A nivel personal la era digital cambia la percepción del espacio, del tiempo y del cuerpo, y ello infunde un sentido de expansión de sí que ya no parece encontrar más los límites y se afirma la homologación como el criterio de agregación prevalente, es decir, que reconocer y apreciar la diferencia se hace cada vez más difícil.

Sin embargo, estos peligros no deben ocultarnos el gran potencial que nos ofrecen las nuevas tecnologías, es un recurso que puede dar buenos frutos. Se señala que las ciencias biológicas están haciendo un uso cada vez mayor de los dispositivos puestos a disposición por la inteligencia artificial, y que dicho desarrollo induce a cambios profundos en la forma de interpretar y gestionar los seres vivos y las características de la vida humana, que es nuestro compromiso proteger y promover.

No basta sencillamente con confiar en la sensibilidad moral de quienes investigan y diseñan dispositivos y algoritmos, sino que es necesario crear organismos sociales intermedios que aseguren la representación de la sensibilidad ética de los usuarios y los educadores.⁴³

En América Latina y en la Argentina, en particular, no existe ninguna normativa que regule la industria de la IA ni principios éticos que deban regirla.

En relación con las conductas morales, en el ámbito jurídico, nuestra legislación ha receptado, tradicionalmente, dos estándares de conducta asociados a la ética que han sido reconocidos por la mayoría de las normativas vigentes en América Latina: el “buen padre/madre de familia” y el “buen hombre/mujer de negocios”.

Un buen padre o una buena madre de familia cuidan de sus hijos, les procuran guarda, alimento y esencialmente cariño, amor y respeto. Lo pregona el derecho, pero surge de la propia lógica del sentido común.

La buena persona de negocios actúa responsablemente en la conducción de las actividades empresariales propias o ajenas, planifica, practica la honestidad y protege el interés de quienes adquieren sus productos o utilizan sus servicios.

Estos principios estandarizados suelen tomarse en cuenta para resolver conflictos que involucran sistemas de IA, como asimismo normas generales que marcan niveles de responsabilidad en el uso de estas tecnologías. En efecto, la utilización de tecnologías de IA puede encuadrarse en el concepto de actividad riesgosa previsto en el artículo 1757 del Código Civil y Comercial de la Nación, por la que debe responder, en forma objetiva, el dueño o gobernador del algoritmo, esto es, quien ejecuta la actividad, se sirve u obtiene provecho de ella (artículo 1758 del mismo texto legal).

Es por eso que, aplicando los principios generales mencionados y la normativa legal expuesta, en el caso de daños y/o perjuicios sufridos por una persona deriva-

dos de la utilización de sistemas de IA deberá responder quien los gobierna (dueño o creador) y las personas que tienen a su cargo el diseño y funcionamiento de esos sistemas. Por esta razón es fundamental que las empresas y el Estado desarrollen programas de capacitación en prácticas éticas aplicadas a la IA para quienes intervengan en la formación de algoritmos inteligentes.

La educación sobre los principios y las conductas éticas de la IA será uno de los pilares esenciales para evitar futuros desmanes de una tecnología que actualmente avanza como el correccaminos, en un espacio sin ley.⁴⁴

En conclusión, aplicar la ética a la IA es una necesidad urgente, no sólo para las tecnologías que hoy se utilizan, sino también para las que se desarrollen en el futuro. La pregunta es si, dada la aceleración de los procesos inherentes a la IA se debería incluir un *software* que utilice un algoritmo para cumplir los códigos o reglas adecuadas para no dañar al hombre (¿una “Algorética”?).

La IA no es una tecnología, sino una infraestructura económica y social, que se manifestará a escala global y, por lo tanto, cada país decidirá su modelo de adopción específico, con un gran potencial por realizar. Podría otorgar a los ciudadanos control sobre su gobierno y las grandes corporaciones, exigiendo una mayor transparencia de su parte.

Cualquiera que sea el mecanismo implementado las expresiones de preocupación de las organizaciones seculares y religiosas marcan la urgente necesidad de establecer reglas y leyes, tanto éticas como morales, para que las nuevas tecnologías no dañen ni avasallen los derechos propios del ser humano.

Bibliografía

- [1] Debleena P., Sanap G., Snehal S., Kalyane D., Kalia K., Tekade, RK. (2021) Artificial intelligence in drug discovery and development. *Drug Discov Today*, 26: 80–93. Published online 2020 Oct 21.
- [2] Rivas, P. (2020) Deep learning for beginners. Packt Publishing Ltd. Livery Place September 2020 1-397 ISBN 978-1-83864-085-9.
- [3] Zoete V., Grosdidier A., Michielin O. (2009) Docking, virtual High Throughput screening and *in silico* fragment-based drug design. *J Cell Mol Med*, 13:238-248.
- [4] Knowles J., Gromo G. (2003) Target selection in drug discovery. *Nat Rev Drug Discov* 2:63–69. <https://doi.org/10.1038/nrd986>.
- [5] Andrade EL., Bento AF., Cavalli J., Oliveira SK., Freitas CS., Marcon R., Schwanke RC., Siqueira JM., Calixto JB. (2016) Non-clinical studies required for new drug development. Part I: early *in silico* and *in vitro* studies, new target discovery and validation proof of principles and robustness of animal studies. *Braz J Med Biol Res*, 49 (11):e5644.
- [6] Andrade EL., Bento AF., Cavalli J., Oliveira SK., Freitas CS., Marcon R., Schwanke RC., Siquei-

ra JM., Calixto JB. (2016) Non-clinical studies required for new drug development. Part II: early *in silico* and *in vitro* studies, new target discovery and validation proof of principles and robustness of animal studies. *Braz J Med Biol Res*, 49 (11):e5646. doi: 10.1590/1414-431X20165646.

[7] <https://www.technologynetworks.com/drug-discovery/ebooks/kinetics-in-drug-discovery-349176>. Fecha de acceso agosto de 2021.

[8] ICH, M3 (R2) (2009) Guidance on non-clinical safety studies for the conduct of human clinical trials and marketing authorization for pharmaceuticals.

[9] EMA (R1) (2017) Guideline on strategies to identify and mitigate risks for first-in-human and early clinical trials with investigational medicinal products.

[10] Bender A., Cortes-Ciriano, I. (2021) Artificial intelligence in drug discovery: what is realistic, what are illusions? Part 2: a discussion of chemical and biological data. *Drug Discov Today* 26, Number 4, April 2021.

[11] Kinetics in Drug Discovery (2021) <https://www.technologynetworks.com/drug-discovery/ebooks/kinetics-in-drug-discovery-349176> Mayo 2021.

[12] Fleming N. (2018) How artificial intelligence is changing drug discovery. *Nature* 557:7706.

[13] Reda C., Kaufmann E., Delahaye-Duriez, E. (2020) *Comput Struct Biotechnol J* 18:241-252.

[14] Davies N. (2021) The FDA turns to AI to accelerate drug development and approval. *The Pharma Letter*, April 22.

[15] Davies N. (2021) The FDA and artificial intelligence. *The Pharma Letter*, June 6.

[16] Freeman DH. (2019) Hunting for new drugs with Artificial Intelligence. *Nature* 576:19-26.

[17] Fukuoka K., Kusashio T., Zhang Y. (2021) AI slashes time and cost of drug discovery and development, *Asia.nikkei.com/Business/Pharmaceuticals/AI-slashes-time-and-cost-of-drug-discovery-and-development*. Fecha de acceso: agosto 2021.

[18] Heskett C., Faircloth B., Roper S. (2018) Artificial intelligence in Life Sciences: the formula for Pharma Success across the drug lifecycle. *L.E.K.*, vol. 20:1-6.

[19] Sirois C., Houry R., Durand, A. *et al.* (2021) Exploring polypharmacy with artificial intelligence: data analysis protocol. *BMC Med Inform Decis Mak* 21:219.

[20] Hessler G., Baringhaus KH. (2018) Artificial Intelligence in Drug Design. *Molecules* 23:2520.

[21] Krishnaveni Ch., Arvapalli S., Joginpally BR., Sharma, JVC. (2019) Artificial intelligence in pharma industry-A review. *IJIPSR* 7:37-50.

[22] Singh L., Kumar Tiwari R., Verma S., Ram Murti S., Sharma V. (2019) The Future of Artificial Intelligence in Pharmaceutical Product Formulation. *Drug Delivery Lett* 9:277-285.

[23] <https://www.labmanager.com/insights/the-power-of-algorithms-in-analytical-chemistry-23167>. Fecha de acceso agosto 2021.

[24] Sacha GM., Varona P. (2013) Artificial intelligence in nanotechnology. *Nanotechnology*. 24:452002. doi: 10.1088/0957-4484/24/45/452002.

[25] Mehta CH., Narayan R., Nayak UY. (2019) Computational modeling for formulation design. *Drug Discov Today* 24:781-788. doi: 10.1016/j.drudis.2018.11.018.

[26] Ho D., Wang P., Kee T. (2019) Artificial intelligence in nanomedicine. *Nanoscale Horiz.* October 4:365-377. doi: 10.1039/c8nh00233a.

[27] Taylor K., Properzi F., Joao Cruz M. (2020) Intelligent clinical trials. Transforming through

AI-enabled engagement. <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/life-sciences/artificial-intelligence-in-clinical-trials.html>. Fecha de acceso: agosto de 2021.

[28] Ibrahim H., Cruz Rivera S., Moher D., An-Wen Chan AW., Sydes MR., Melanie J., Calvert MJ., Alastair K., Denniston AK. (2021) Reporting guidelines for clinical trials of artificial intelligence interventions: the SPIRIT-AI and CONSORT-AI guidelines. *Trials* 22:1-5. <https://doi.org/10.1186/s13063-020-04951-6>.

[29] Brown N., Ed. (2021) Artificial Intelligence in drug discovery. The Royal Society of Chemistry. *Drug Discovery Series* Nº 75, pp. 1-246. ISBN: 978-1-78801-547-9.

[30] The Accelerating Therapeutics for Opportunities in Medicine (ATOM) <https://atomsience.org>. Fecha de acceso: agosto 2021.

[31] <https://www.iqvia.com/-/media/iqvia/pdfs/library/white-papers/leveraging-artificial-intelligence-and-machine-learning-to-drive-commercial-success.pdf>. Fecha de acceso agosto 2021

[32] Kudumala A., Ressler D., Miranda W. (2020) Scaling up AI across the life sciences value chain, <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/life-sciences/ai-and-pharma.html>. *Deloitte insights*. Fecha de acceso agosto de 2021.

[33] <https://blog.dataart.com/ai-in-drug-development-a-glimpse-into-the-future-of-drug-discovery>. Fecha de acceso septiembre 2021.

[34] Villalba JF. (2020) Universidad Católica de Córdoba.

<https://revistas.unlp.edu.ar>. DOI: <https://doi.org/10.24215/25916386e062>.

[35] Schapira D. (2018) Inteligencia artificial: nuevo reto para la educación. *Diario Los Andes*, mayo 9.

[36] Solmeglas Lab (2020) Inteligencia Artificial y sus aplicaciones en la Biotecnología del futuro. Posted 26 Oct 2020 in *Biotecnología, Blog, Laboratorio*.

[37] O'Brien JT., Cassidy N. (2020) Assessing the Risks Posed by the Convergence of Artificial Intelligence and Biotechnology. *Health Security* volume 18, number 3. Mary Ann Liebert, Inc. DOI: 10.1089/hs.2019.0122.

[38] Oliveira, AL. (2019) Biotechnology, Big Data and Artificial Intelligence. *Biotechnol J* 14, 1800613.

[39] Dónde estudiar inteligencia artificial en todo el País, *Télam*, 27 Enero 2019.

[40] Rivas, P. (2020) Deep learning for beginners. Packt Publishing Ltd. Livery Place, pp. 1-397. ISBN 978-1-83864-085-9.

[41] <https://www.getabstract.com/en/summary/how-the-enlightenment-ends/33755> Fecha de acceso septiembre 2021.

[42] Resolución del Parlamento Europeo, de 20 de octubre de 2020, con recomendaciones destinadas a la Comisión sobre un marco de los aspectos éticos de la inteligencia artificial, la robótica y las tecnologías conexas. https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2020-0275_ES.html#title1 Fecha de acceso agosto 2021.

[43] Papa a Pontificia Academia para la Vida: tecnologías bien utilizadas pueden dar buenos frutos. <https://www.vaticannews.va/es/papa/news/2020-02/papa-pontificia-academia-vida-palabra-tradicion-ayuden-interpret.html>. Fecha de acceso agosto 2021.

[44] Tomeo F. (2021) Una ética para la inteligencia artificial. <https://www.lanacion.com.ar/opinion/una-etica-para-la-inteligencia-artificial-nid20072021>. Fecha de acceso agosto 2021.

Agradecimientos

Los autores agradecen la valiosa colaboración de los Acads. M.C. Añón, N. Fink C.A. Fossati, R.C. Rossi, A. Salibián, y muy especialmente a M.M. Salseduc y F. Stefano por sus sugerencias y por la exhaustiva revisión de este documento.

ACADEMIA NACIONAL DE GEOGRAFÍA

La cultura geográfica digital ante los desafíos sociales del siglo XXI

Horacio Esteban Ávila, Ezequiel Pallejá y Héctor Oscar José Pena

Introducción

El dato constituye en sí mismo un objetivo para todas las ciencias, pero también el punto de partida necesario para organizar el conocimiento humano en información aprovechable que permita avanzar en las investigaciones, que resulte factible de aplicarlo a la solución de los problemas existentes y mediante su acceso y empleo contribuir al bien común.(1)

Es condición imprescindible conocer sobre su calidad y confiabilidad para poder asociarlo, relacionarlo o compararlo con otros a los que deba vincularse en los distintos procesos y de acuerdo a los objetivos que se persigan.

Los medios tecnológicos disponibles actualmente y los que se vienen sucediendo regularmente exigen trabajar con otras fuentes similares que provean información fundamental; que apliquen estándares compatibles; donde se puedan evaluar y catalogar a los metadatos y que posean además la capacidad de analizar la eficiencia de los procesos empleados.

Seguramente, resultará imprescindible establecer, dentro de la brevedad posible, una norma legal con respaldo científico- técnico para aplicar a un proceso de cambios sociales complejos y que resulta muy difícil vislumbrar en su proyección futura.

Para la Geografía y según nuestro entender, el primer eslabón de la cadena lo constituye el dato geográfico, que con una calidad debidamente comprobada, siempre actualizado y factible de ser verificado, es el reaseguro para el éxito en los distintos estudios o aplicaciones.

El desarrollo de esta presentación sigue la evolución histórica seguida en la República Argentina para la captura, gestión, procesamiento o análisis y empleo de dicho dato, vinculándolo obviamente con las distintas etapas temporales transcurridas y con las indispensables referencias internacionales.

El enfoque está apoyado en bibliografía reconocida, en fuentes informativas confiables y en las experiencias propias de los autores, tanto en la gestión y como en la enseñanza.

En los estudios geográficos se viene alcanzando un señalado nivel de ejecución autónoma en cuestiones de posicionamiento espacial, en aplicaciones sobre movilidad, en la confección de documentos cartográficos y en la explotación de recursos naturales, entre otros temas.

A partir del año 2020 y como consecuencia de las restricciones impuestas por la pandemia del Covid 19 se incrementaron los hábitos informáticos de la población argentina, sobre todo para la ejecución del trabajo en casa y por la intención de educación a distancia.

Se aceleró la puesta en funcionamiento de algunos procedimientos robotizados que, en ocasiones, evidenciaron la necesidad de ajustes para su optimización, pero a la vez inauguraron una tendencia que se puede consolidar.

Existen opiniones muy fundadas sobre las posibilidades ciertas de desarrollo que, esta revolución en el empleo de los datos, puede ofrecer para países como el nuestro, dentro de la nueva y distinta revolución industrial.

Los temas que son de interés de la Geografía y su entorno científico, pueden encontrar aliados valiosos en los investigadores con desarrollos propios de la **Inteligencia Artificial (IA)** que se desenvuelven alrededor del procesamiento con la mayor cantidad y variedad de datos, para generar otros que permiten tomar decisiones que se aproximan a las humanas (2)

En general se emplean herramientas con modelos predictivos con capacidad de análisis y que aprenden mediante los ejemplos conocidos.

La velocidad y seguridad de los resultados que se obtienen están directamente relacionados con la calidad de los programas empleados, la confiabilidad de los datos y el correcto manejo de la máquina, que son decisiones y responsabilidades del hombre.

Complementar las capacidades de ejecución con el empleo de nuevas tecnologías que aportan velocidad y seguridad de procesamiento, en tareas pesadas, difíciles, peligrosas, cansadoras y repetitivas, parece el mejor camino para el hombre. No habrá horarios o descansos rígidos, pero se tendrá que evitar la delegación de decisiones que, además de utilitarias, puedan afectar el componente laboral.

El mantenimiento de los valores esenciales de la sociedad, como la libertad individual y la ética en los procedimientos, serán algunos de los límites que deberán asumirse ante las consecuencias disruptivas de eventuales avances de la llamada **IA**, posibles pero no convenientes.

El dato geográfico

Se considera al **dato geográfico (DG)** como todo elemento concreto vinculado con el medio donde se desarrolla la vida humana. La **información geográfica (IG)** es la resultante de un análisis o resumen de un conjunto de datos.

Para la Geografía siempre resultaron fundamentales para la evolución científica, tanto en el pasado cuando se trataba básicamente de la descripción del paisaje como cuando fue avanzando en la complejidad del estudio de las interrelaciones existentes entre el hombre y el medio.

La representación espacial ha sido y es una de las formas más efectivas para conservar antecedentes de lo alcanzado. Inicialmente por medio de dibujos, grabados y modelos sobre distintas superficies. Más tarde, impresos en papel y en nuestros días sobre un soporte informático que facilita el mantenimiento, su eventual aprovechamiento e incluso la actualización o modificación.

El uso del plano o la carta analógica sobre papel o soportes parecidos conserva vigencia para tareas especiales sobre grandes espacios, por la seguridad que ofrece el contar con la guía de su contenido. Para la enseñanza, como representación en tres dimensiones, aún no fue superada.

Antes de abordar otros tipos de representaciones en formato digital debemos recordar que un componente esencial del dato es la geolocalización que exige contar con un marco de referencia de coordenadas, cuya creación supone un trabajo formidable.

Previo a la existencia de los sistemas de posicionamiento satelital cada determinación insumía largas sesiones de observación astronómica, bajo un cielo sin nubes ni brumas, generalmente en noches calmas y frías, para poder alcanzar las precisiones adecuadas. Tengamos presente que durante siglos la Estrella Polar fue la principal referencia.

LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Primera etapa

En los inicios de la vida nacional el acervo geográfico disponible lo constituían los testimonios de los adelantados, los expedicionarios, los viajeros y los exploradores científicos, que sumados a los evangelizadores, atesoraron información sobre la morfología y extensión del territorio emergido o cubierto por aguas, algunos accidentes topográficos, las percepciones climáticas, las biodiversidades más ca-

racterísticas y los comportamientos poblacionales de mayor significación. A ello se sumaba cartografía, de distinto origen y finalidad, obtenida en forma expeditiva o por compilación.

Desde entonces fueron objetivos crecientes alcanzar el mejor reconocimiento del territorio y profundizar los conocimientos heredados, avanzar en el estudio de la dinámica terrestre, registrar los valores meteorológicos y, en especial, seguir atentamente el desenvolvimiento de los aspectos poblacionales.

Los propósitos perseguidos dependieron de la intervención de los actores involucrados en ello, de los elementos técnicos disponibles y de las exigencias sociopolíticas.

La obtención, verificación, empleo y almacenamiento del dato geográfico se inició con una prolongada etapa de impronta analógica, donde sobresalió la observación directa y la ejecución “personalizada”, a cargo especialmente de profesionales de gran prestigio e idóneos vocacionales, en casos con formación autodidacta, pertenecientes básicamente a entidades estatales, con fines de servicio.(3)

La tarea exigió el empleo de variado instrumental que fue creciendo en complejidad y calidad pero que partió de realizaciones muchas veces artesanales, incluyó adaptaciones y actualizaciones a otras de distinta procedencia y finalmente correspondió a la producción de empresas especializadas, de gran prestigio.

Independientemente de la precisión del instrumento debía considerarse el coeficiente de comportamiento y reacción propio de cada operador y las condiciones ambientales en el momento del registro (4)

Los datos formaron parte de registros, informes, encuestas, censos, fotografías, gráficos y memorias que aún se conservan en amplias instalaciones y tienen difusión limitada. La mayor parte fue digitalizada a posteriori (5)

La conquista del espacio

Durante una veintena de años, partiendo de 1955, se registró una auténtica carrera espacial que, además de un mayor conocimiento planetario redundó en un nuevo y acelerado desarrollo de las ciencias y técnicas. La llegada a la Luna del Apolo XI, con Neil Armstrong y Edwin Aldrin a bordo, fue un acontecimiento que conmovió al mundo.

En los trabajos geodésicos los satélites comenzaron a ocupar el lugar y la función de las estrellas ganándose con ello precisión, comodidad y rapidez en la tarea.

La Geodesia Satelital comienza a cobrar sentido práctico a partir de 1971 cuando el Instituto Geográfico Militar – IGM (Pasó a ser IGN en el año 2009) incorporó a sus procesos los receptores que utilizaban el efecto Doppler y que con sus sucesores permitió incrementar sensiblemente los datos geodésicos disponibles.

Desde 1998 comenzó la instalación y distribución en el territorio nacional de antenas de recepción continua de datos que, facilita el uso del sistema y permite recalcular diariamente el marco de referencia geodésico, junto con otras capacidades como los estudios geodinámicos asociados al movimiento de las placas terrestres.

El valor de la tarea geodésica es tan importante que, en 2015, la Asamblea General de las Naciones Unidas adoptó la resolución: “Marco de Referencia Geodésico para el desarrollo sostenible”; mediante la cual reconoce su importancia económica y científica.

Los sensores remotos

Desde hace más de cien años, los sensores remotos, primero con tomas desde lugares escogidos de la superficie terrestre o bien desde aviones tripulados y con escaso equipamiento, pasando después por modernas aeronaves dotadas de cámaras diversas, hasta llegar a los espectaculares y actuales desarrollos satelitales, vienen transformando los procesos con continuas y renovadas aplicaciones, permitiendo análisis y ejecuciones indirectas, atemporales, innovadoras y con objetivos multidisciplinarios (6)

No debe olvidarse que la disponibilidad de luz solar fue un gran limitante para la obtención de las fotografías aéreas, pues reducía a pocas horas mensuales las operables e impedía o dificultaba actuar en zonas de nubosidad persistente.

Lo que estaba reservado a agencias estatales o empresas multinacionales cuenta en nuestros días con mayores participantes, como los proyectos colaborativos basados en IG liberada y los llamados emprendedores que buscan cubrir necesidades más acotadas. Creció el mercado de oferta y demanda y con ello se vio facilitado el acceso a nuevos productos o subproductos.

El modelo vector es consecuencia de los complejos y lentos procesos de la carta analógica basados en la aerofotogrametría, que partían de la imagen virtual en tres dimensiones que se “construía” en la mente del operador, aprovechando su visión estereoscópica y así podía restituir en su hoja de trabajo, con adecuada precisión, las distintas entidades espaciales que observaba.

La tarea continuaba con la edición cartográfica y culminaba en los originales de impresión sobre materiales de gran estabilidad dimensional, que luego se archivaban para futuras actualizaciones o nuevos productos.

A fines de los años 1970 comenzó la incorporación de instrumental asistido por computadoras para los procesos fotogramétricos fundamentales, que permitieron avanzar hacia el modelo de datos vectoriales que utilizaba los puntos con coordenadas para construir todos los objetos representados, con sus atributos asociados.

Los datos planimétricos se expresan sobre un plano de referencia regular y los correspondientes a la altimetría mediante curvas de nivel, normalmente referidas al nivel medio del mar.

La informática facilitó y aceleró los procesos de producción simplificando la realización de otras tareas relacionadas como la digitalización y la edición y archivo de los productos en soporte digital.

El paso a los procesos digitales comenzó a aportar beneficios en la producción de **IG**. Las primeras consecuencias fueron la revitalización de los estudios geográficos por la mayor disponibilidad de información específica.

Se registraron adelantos significativos en la toma de fotografías aéreas con las cámaras digitales y a la vez multispectrales. El IGN tiene incorporado un sistema que registra las coordenadas de cada toma permitiendo automatizar otros procesos y generar productos como las ortofotos, los modelos digitales de elevaciones de las áreas de trabajo y las cartas topográficas, con los datos de base.

La captura de datos geospaciales para distintos usos se amplió con los drones que mejoraron su configuración técnica y disminuyeron sus costos, ampliando el número de productores y usuarios.

Impulsada por la carrera espacial surge la teledetección que va dejando atrás el concepto de fotointerpretación. El concepto básico de funcionamiento parte de la estructura física de un objeto que se encuentre por encima del cero absoluto (-273°) irradia energía por medio de ondas electromagnéticas. Esta irradiación energética se manifiesta en longitudes de ondas más cortas con el aumento de la temperatura del objeto detectado.

Esas características de los objetos que cubren la superficie terrestre, captadas con sensores, nos permiten identificarlos y también determinar sus condiciones o estados. En este proceso de transmisión, la atmósfera juega un papel importante impidiendo o limitando la transmisión de algunas longitudes de ondas del Espectro Electro-Magnético (EEM) o también generando ventanas de comportamiento regular.

Varios sensores montados sobre plataformas satelitales capturan y registran la energía procedente de la superficie en celdas (píxeles) que reunidos ordenadamente conforman una imagen satelital.

La expansión en el uso de zonas de EEM, más allá del espectro visible, fue posible por el desarrollo de sensores pasivos y activos. Los primeros conforman la imagen a partir de la energía solar, emitida o reflejada, tanto en el espectro visible como en el infrarrojo.

Los sensores activos mediante el RADAR crean una pseudo imagen, analizando las características e intensidad de la señal de retorno (eco) y el tiempo que emplea en regresar. Su ventaja es que no requiere de luz solar, que por su longitud de onda atraviesa la atmósfera y en consecuencia puede trabajar con cualquier condición meteorológica.

Con un criterio similar de funcionamiento se trabaja con LIDAR, que utiliza pulsos de luz láser (*zona del EEM entre el visible e infrarrojo cercano*) por lo que interactúa con la atmósfera; La respuesta de terreno, combinada con los datos GPS correspondientes, generan una densa nube de puntos de coordenadas x y z, que exige una gran capacidad de procesamiento posterior, pero logra resultados muy precisos por ejemplo para la creación de modelos altimétricos se ha convertido en una alternativa muy rentable para utilizar con vehículos no tripulados a bajas alturas y con gran detalle.

Ambos sensores (pasivos y activos) han abierto una amplia gama de aplicaciones sobre líneas de investigación geográfica como el seguimiento de la capa de ozono, el cambio climático, la salinidad del mar, el modelado de movimientos sísmicos, la polución y otras.

Un factor importante para establecer el sensor más conveniente para satisfacer el objetivo que se persigue está dado por su capacidad de resolución.

La resolución espacial expresa el mínimo nivel de detalle que puede captar el sensor. En la actualidad varía entre cientos de metros y centímetros. Ejemplos: el satélite Terra/Aqua (lanzado en 2000) con su sensor Modis ofrece una resolución espacial de 250m; el satélite Envisat con su sensor Meris (lanzado en el 2002) de 300m; el satélite Quickbird, lanzado en el 2001 con 0,65m y el satélite Ikonos (lanzado en el 1999) con 1m.

La resolución espectral se establece por el número de bandas en que puede trabajar el sensor. Cuanto mayor es el número de bandas, mejor es la definición de las cubiertas captadas por las imágenes

El estudio de la reflexión de las diferentes cubiertas a los distintos tipos de longitud de onda ha generado el concepto de firma espectral. Entre los sensores

de menor resolución espectral se pueden mencionar al radar, de un solo canal o el Ikonos de 4 bandas. Como casos inversos al sensor Modis con 36 canales en el espectro visible y térmico o también los sensores denominados hiperspectrales, como el EO-1 con su sensor Hyperion (lanzado en el 2000), de más de 200 bandas.

La resolución radiométrica expresa la sensibilidad para distinguir las características de la señal. En una fotografía, equivale a niveles de gris, en imágenes digitales se mide por la cantidad de bits por pixel. Actualmente la mayoría de los sensores ofrecen 256 niveles por pixel, los sistemas más avanzados como Ikonos 11bits (2048 niveles) o Radarsat con 16 bits (65536 niveles)

La resolución temporal indica la periodicidad con que el sensor vuelve a captar la misma porción de la superficie terrestre, concepto que se relaciona con las características operativas de la plataforma sobre la que se monta el sensor, pero en el caso de los sensores ópticos también pueden verse afectados por las condiciones atmosféricas.

Para disminuir dichas dificultades se crearon sensores que pueden enfocar la toma desde la órbita normal, generando observaciones no verticales como el Spot o el Ikonos. Los satélites meteorológicos, de órbitas geoestacionarias, proporcionan imágenes cada 30 minutos o de órbita polar, como el NOAA, cada doce horas. También son muy usados los Landsat 5 y 7, con resoluciones temporales de 16 días y el citado Ikonos, cada once días.

La altimetría digital

El modelo digital de elevaciones constituye una estructura de datos digitales con que actualmente se representan las formas del relieve terrestre de tanta gravitación en los estudios geográficos. Se puede utilizar para representar otras variables como temperaturas, precipitaciones, alturas de obstáculos, etc.

La densidad de puntos de coordenadas z , x e y , que conforman un modelo tiene directa relación con la fidelidad pretendida del mismo a la variable representada. Su distribución en el espacio puede ser regular, utilizando el modelo raster o bien irregular conformando una red de triángulos. Ambos modelos de datos altimétricos, tienen ventajas y desventajas, dentro de sus muchas aplicaciones posibles.

Aportes de la teledetección

La teledetección ha hecho aportes de gran significación para el conocimiento del planeta que habitamos por medio de la cobertura global que ofrecen diversos satélites o sistemas de ellos que debieron asociar sus movimientos orbitales para hacer posible la integración de la información que capturan.

Resulta de gran utilidad el inventario y estado de las áreas agrícolas, saber de las condiciones medio ambientales tanto en zonas urbanas como rurales, comprobar estadios de erosión de los suelos, constatar desastres en superficies cubiertas con vegetación natural, entre otros.

En investigaciones geográficas de tipo evolutiva, la cartografía analógica permitió, solo a través de sus actualizaciones y nuevas ediciones realizar este tipo de estudios aunque la periodicidad temporal en la renovación de datos fue muy espaciada. En este sentido la teledetección ofrece cambios sustanciales con ventajas irremplazables; su menor costo y rapidez para repetir la captura de nuevas imágenes satelitales, como también el mantenimiento en condiciones operativas durante mucho tiempo de plataformas y sensores capturando imágenes de toda la tierra de características técnicas similares, hacen posible a valiosas investigaciones evolutivas. Uno de los ejemplos más interesantes de este tipo es la serie de satélites Landsat (NASA) que desde 1972 en que se puso en operaciones el Landsat 1 hasta nuestros días con la versión 8 (operando desde 2013), nos ofrece una serie de imágenes dentro del espectro visible e infrarrojo, con mejor resolución espacial y similares características técnicas. Cabe destacar, que los Estados Unidos de América mantienen este importante programa de captura global desde hace 50 años (7)

Desde junio de 1985, la Unión Europea mantiene un proyecto denominado en principio CORINE, *que* reúne y alimenta bases de datos con información geoespacial de teledetección relacionada con su territorio, orientada especialmente a estudiar los cambios en los usos del suelo y problemas ambientales, los que se expresan en mapas digitales a escala 1:100.000. El proyecto se ha renovado en la actualidad, actualizando su **IG** e inclusive con mejores resoluciones

Próximamente se conocerá un mapa global de cobertura de suelos 2020 construido con imágenes del satélite Sentinel-2 de la Agencia Espacial Europea (ESA) y un nuevo proceso de elaboración automático que posibilitará su actualización anual orientada a reflejar los cambios sobre la superficie terrestre. Los datos geográficos comprenderán diversas capas y aplicaciones para su incorporación en SIG. La característica riqueza de la información espacial modelo raster y en este caso, además su renovada actualización facilitarán significativamente el conocimiento

geográfico, ofreciendo las siguientes coberturas: zonas urbanas; masas de agua líquida; masas de agua sólida; masas boscosas; vegetación herbácea; vegetación inundada; cultivos; zonas de arbusto/matorral; suelo desnudo.

La computación y sus aplicaciones

En los últimos sesenta años (8), de la mano de la computación, se produce el avance de la cultura digital sobre la analógica. Todos los procesos vinculados con el dato geográfico se aceleran, mejoran en precisión, pueden asociarse y transformarse en algoritmos factibles de ser procesados en volúmenes antes impensados, en lapsos breves y con resultados sorprendentes.

Ocupan especial atención los sistemas de información geográfica y las infraestructuras de datos espaciales que pueden trabajar con niveles informativos propios de distintas disciplinas, permitiendo encarar problemas de diversa complejidad.

Los Sistemas de Información Geográfica (**SIG**) constituyen herramientas dotadas de una creciente capacidad para la gestión y el análisis de la información georreferenciada generando nuevos productos de aplicación multidisciplinaria y facilitando la conexión digital con los públicos externos. Otra consecuencia favorable es la incorporación de nuevos conceptos organizativos que mejoran la productividad (9)

Las nuevas capacidades incorporadas a los **SIG** les permite desenvolverse a través de páginas institucionales con datos y servicios remotos e integrar bases de datos, creando un nuevo concepto de trabajo colaborativo denominado Infraestructura de Datos Espaciales (**IDE**)

Se trata de sistemas, basados en Internet, donde diferentes organismos adheridos ponen a disposición información y servicios para un aprovechamiento integrado de la **IG** disponible. Para su correcto funcionamiento se deben considerar las incumbencias correspondientes, las normas y estándares internacionales que aseguren la interoperabilidad de los datos y contar con un marco legal que regule la actividad.

En nuestro país se ha creado IDERA, como una comunidad de información geoespacial que tiene como objetivo propiciar la publicación de datos, productos y servicios, de manera eficiente y oportuna, como un aporte fundamental a la democratización del acceso de la información producida por el Estado y otros actores, con el apoyo en las decisiones de los ámbitos estatal, privado, académico, no gubernamental y la sociedad civil en su conjunto.

Se considera que esta amplia participación, sin exclusiones, resulta fundamental para garantizar el carácter nacional y federal de IDERA.

La inteligencia artificial

La expresión tiene una antigüedad de más de medio siglo de utilización, a nivel mundial, fundamentalmente en círculos relacionados con las especulaciones matemáticas.

En la actualidad se aprecia una creciente disposición para transitar en dirección a la **IA**, sustentada en las actuales posibilidades del intercambio de la información para aplicar a proyectos conjuntos, con participación multidisciplinaria.

La sociedad debe resolver durante el Siglo XXI muchos problemas, de distinta índole pero todos ellos de gran importancia. Los nuevos desarrollos durante los próximos años irán produciendo cambios de significación en la forma de vida.

En nuestro país, dentro de un periodo de recesión, con baja liquidez y tasas poco atractivas, se acentúa la tendencia a inversiones de riesgo en emprendimientos del sector digital, con servicios de calidad que se conocen como unicornios.

Se posee información sobre más de una docena de estas empresas tecnológicas locales que, por la magnitud de sus desarrollos y su especial valuación financiera, pueden escalar en otros mercados, contratar personal y conseguir clientes a nivel global, aún en países donde no cuentan con representación. El mercado mundial de valores lo lideran actualmente empresas tecnológicas.

Desde la Geografía nos detendremos en algunos de los temas a los que asignamos atención prioritaria, partiendo del supuesto que las máquinas aprenden lo que se les enseña y que sus límites se encuentran en la imposibilidad de poder transmitirles conciencia.

En todos los casos elegidos urge implementar medidas profundas y audaces para paliar emergencias, poder cubrir falencias existentes y avanzar con equidad.

Educación. Siempre merece consideración especial. Estamos convencidos que la interacción directa de educadores y educandos dentro de un establecimiento educativo influye favorablemente en la socialización, permite evidenciar las ejemplaridades, facilita el aprendizaje y la imprescindible comprobación de la asimilación.

Más allá de las consecuencias desfavorables que originó la emergencia sanitaria, existen en nuestro país ejemplos de periodos extensos sin escolarización y casos donde nunca llegó.

No tenemos dudas que con creatividad y la adecuada preparación previa, se alcanzará el desarrollo de plataformas digitales para alfabetizar adecuadamente a quienes hoy carecen de ese derecho.

Las experiencias ya desarrolladas, con urgencias y con un cierto margen de improvisación, dan pautas para pensar positivamente en los aportes que puede brindar

la enseñanza a distancia como complementación, actualización y especialización.

Un aspecto que debe considerarse en especial es la necesidad de capacitar para lo laboral ante la desaparición de empleos, la renovación de otros y ante nuevas necesidades que aparecen en ese campo.

Los modos de vida en el medio urbano y rural. En general el crecimiento de la población y su distribución no estuvo acompañado por una adecuada gestión de los problemas que de ellos derivan. Podemos citar entre otros una mayor demanda de insumos de todo tipo, la degradación del ambiente, las consecuencias de las grandes concentraciones urbanas y flagelos como la inseguridad, la marginación y la pobreza.

Todos son problemas vinculados al conocimiento geográfico, que exigen la toma de decisiones especiales para superarlos porque afectan nuestro presente y comprometen seriamente al futuro de la humanidad.

El cambio climático. La ONU ha establecido un grupo de trabajo para impulsar a la **IA** como una herramienta que permitirá analizar el comportamiento de los fenómenos meteorológicos extremos, que se han quintuplicado durante los últimos cincuenta años.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), ha lanzado un nuevo Grupo Temático para hacer frente a la creciente prevalencia y gravedad de los desastres naturales con la ayuda de la IA. El nuevo grupo, en colaboración con la Organización Meteorológica Mundial y el programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente apoyará los esfuerzos mundiales para mejorar la comprensión y gestión de los peligros en ese campo a través de la **IA**.

Se encuentran en aplicación sistemas de alerta temprana ante riesgos, incluyendo los provocados, donde se combinan variados sensores con datos estadísticos, ejemplos históricos y amenazas posibles, para actuar con rapidez ante la emergencia.

La robotización es una realidad en la agricultura argentina con innovaciones dentro de equipos que trabajan de manera autónoma. Los avances ya registrados son el piloto automático, la dosificación variable y localizada de nutrientes o plaguicidas, los cortes por sección para siembra, riego o pulverización y la regulación total de las maquinarias mediante una pantalla táctil.

No fue casual que en todo el desarrollo de nuestro trabajo siempre estuvo latente el mapa, el mejor aliado de la Geografía, describiendo a sus componentes significativos o como representación final de un proceso. Seguramente la disponibilidad y calidad del dato en los inicios de la historia considerada motivaron la realización de auténticas expresiones artísticas, con leyendas o dibujos que

muchas veces ocultaban imprecisiones o desconocimientos. Con los adelantos de la ciencia y de la técnica fueron ganando en precisión y los colores ayudaron a la percepción de las tres dimensiones.

La cartografía de los próximos años seguramente sufrirá cambios en la dinámica y fidelidad de los datos. Será una habitualidad la actualización autónoma y brindará nuevas prestaciones con la incorporación de estímulos no tradicionales como el sonido, texturas afines y olores vinculados al lugar representado o a su temática.

Se cree que actualmente cerca de la mitad de las decisiones de un individuo están controladas por algún algoritmo. Pero el hombre tiene reservada y asegurada la genialidad.

Un futuro posible

Todos los resultados alcanzados y la preparación para instancias superadoras insumieron tiempo y esfuerzo, hubo marchas y contramarchas, se registraron éxitos y fracasos. Siempre estuvo presente la forma del involucramiento humana para su empleo más noble.

El camino tecnológico que nos ocupa en este ensayo muestra resultados promisorios y dentro de una sociedad donde el cambio aparece como su única constante, la **IA** supone una fundada esperanza de adelantos para la sociedad.

LA ALTURA DEL TECHO DE AMÉRICA

Un dato emblemático

La **IA** cumplirá un rol trascendente en la actividad geográfica, pero como todo adelanto tecnológico, no debe dar la espalda a las técnicas y saberes tradicionales, que posibilitaron su existencia y a la vez sirvieron de catapulta para su concepción y realización.

En ese presupuesto, resulta interesante resaltar una experiencia real que muestra el rol de la tecnología en importantes cuestiones de la Geografía. Se trata de la determinación de la altura del Cerro Aconcagua, el más alto de América. Dos fueron las mediciones más importantes realizadas: una que fue publicada en 1956 y otra más reciente en el año 2006. Lo que sigue es una somera descripción de ambos esfuerzos, para intentar alguna conclusión relativa al asunto que nos ocupa.

La altura del imponente cerro Aconcagua fue motivo de discusiones en nuestra historia. A mediados del siglo anterior se manejaban distintos números: en general trascendía que su valor superaba los 7000m sobre el nivel del mar. El uso de barómetros era prácticamente la única fuente de información seria al respecto, y se sabe que la relación entre alturas y presión barométrica arroja resultados de poca precisión y exactitud, habida cuenta de la variabilidad de la presión debida al cambiante estado de la atmósfera, cuestión que justamente se agravaba en el entorno de la majestuosa Cordillera de los Andes. Por otro lado, el Cerro Ojos del Salado aparecía como una suerte de “competencia”, pues algunas fuentes hablaban de que poseía una altura superior a la de nuestra máxima cumbre.

Por entonces, el Instituto de Geodesia de la Facultad de Ingeniería de la UBA (10), bajo la dirección del Ing. Eduardo Baglietto, organizaba y realizaba campañas geodésicas durante los meses de enero en la zona cordillerana de la provincia de Mendoza, con la activa y fundamental participación del Ejército y su Escuela Superior Técnica. Alumnos y docentes de ambas unidades académicas contribuían a materializar una red geodésica de primer orden e investigar las particularidades de la geodesia en alta montaña. Esta red, dos décadas más tarde, iba a ser incorporada a la red nacional del IGM.

Esas campañas se desarrollaron desde 1934 hasta 1980, en total fueron 41. En algunas de ellas, allá por los años 1954 y 1955, se decidió obtener la altura del Aconcagua, con el propósito de aportar un valor de la mejor calidad posible con la tecnología de ese tiempo, de manera que la cartografía reflejara oficialmente el resultado. Se aprovecharía de esa manera los muchos trabajos geodésicos acumulados hasta ese momento, aportando un dato geográfico de gran valor y utilidad.

El IGM ya había desarrollado (y lo continuaba haciendo) una vasta red de nivelación, en una obra ciclópica que instaló decenas de miles de puntos fijos (mojones) con sus correspondientes cotas altimétricas, mediante campañas que llegaban a cada vez más rincones de nuestro vasto territorio, todo ello

teniendo como origen el nivel medio del mar determinado por el mareógrafo de Mar del Plata, luego de décadas de observaciones diarias en ese icónico lugar de nuestro litoral marítimo.

Uno de estos mojones, el más cercano a la zona de interés, era el Nodal de Plaza Chile en la ciudad de Mendoza, cuya cota altimétrica era según el IGM **755,331m**. A partir del mismo, mediante el procedimiento denominado nivelación geométrica de precisión, el Instituto de Geodesia en sucesivas campañas llegó a obtener la altura de mojones instalados en la zona de la Laguna de Horcones, un lugar desde el cual se ve en toda su esplendor y magnitud el gigantesco y desafiante cerro Aconcagua, lo que implicó recorrer a pie todo el itinerario desde la ciudad de Mendoza, unos 200km.

Un detalle no menor es que los valores de altitud en este tramo fueron modificados por la influencia del campo de gravedad, para lo cual se realizaron correcciones basadas en mediciones con gravímetros estáticos en un proceso que se adelantó más de medio siglo al realizado en todo el resto del país.

Finalmente, desde estos mojones y con el procedimiento denominado nivelación trigonométrica compuesta, se obtuvo el valor de la ansiada cota altimétrica. El proceso consistió en dirigir visuales a la cima del Aconcagua midiendo ángulos verticales y horizontales con teodolitos ópticos de alta precisión. Resulta interesante destacar que las mediciones debieron ser realizadas por la mañana muy temprano pues a partir de cierta hora se instalaba una nube rodeando la montaña que “tapaba” las visuales. Testigos de esas mediciones informaron que a las 4 de la mañana había que levantarse para estar listo a observar desde la salida del sol durante no más de un par de horas.

Los documentos técnicos de este procedimiento muestran como resultado el valor **6959,7** metros sobre el nivel del mar, con un entorno de error estimado de +/- 1,2m.

El IGM adoptó oficialmente el valor redondo 6959m para todos sus documentos cartográficos, muchos de los cuales son de actual circulación.

Poco después se supo que una comisión geodésica norteamericana realizó similares observaciones para determinar la altura del Cerro Ojos del Salado,

obteniendo para el mismo una altura 74m menor que el Aconcagua, terminando así con la duda de cuál es el cerro más alto de América.

Hacia 1990, llegando al fin del siglo XX, una nueva tecnología irrumpió en el mundo, revolucionando de raíz toda la geodesia práctica. Se trataba del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), un sistema que permite la obtención de coordenadas tridimensionales en cualquier punto del planeta y en cualquier momento del día o de la noche con la única condición de tener “cielo abierto”, y con precisiones que fueron mejorando en el tiempo hasta llegar a niveles centimétricos en la actualidad.

El IGM, consciente de esta impactante mejora tecnológica, no tardó en utilizarla para medir nuevamente la altura del Aconcagua. Para ello debía acceder a la cima, de por sí una gran dificultad, instalar allí un receptor GPS y dejarlo un tiempo recolectando y almacenando la información que recibe de los satélites. El procesamiento ulterior permitió conocer la altura sobre el elipsoide terrestre, una superficie de referencia que no constituye el origen de las alturas que se adopta en todo el país, que es el geoide, ligado al nivel medio del mar y al campo de gravedad terrestre. Para poder efectuar esta corrección se debía conocer la separación entre el elipsoide y el geoide en la zona del cerro Aconcagua, y esto se consiguió apelando a modelos internacionales y nacionales del geoide, que son el resultado de muchos años de mediciones y procesamientos dentro del ámbito de la Geodesia física.

Luego de varias pruebas y procesamientos se dio a conocer el resultado: **6960,8** metros. Aproximadamente un metro más que la mencionada determinación del Instituto de Geodesia (6959,7m+/- 1,2m). La coincidencia entre ambos resultados era tal que prácticamente se encontraba dentro del entorno de error de aquella antigua medición.

Pero faltaba algo más para que ambas determinaciones sean comparables. Hace pocos años, el ahora IGN se abocó a la corrección de todos los puntos fijos de nivelación del país por efecto gravitatorio, tal como se describió más arriba. Esto modificó ligeramente todas las cotas, resultando una nueva lista de alturas ortométricas de miles de puntos fijos, que pueden ser consultados en su página web.

Buscando la nueva cota del punto Nodal Plaza Chile que sirviera de origen para el cálculo del Instituto de Geodesia hace ya más de 70 años, se encontró que el valor actual es de **755,876m**, lo cual significa una modificación de +0,545m a su valor original. Con lo cual, si se hubiera partido de ese valor corregido, se habría obtenido para el Aconcagua en 1955 el valor de **6960,3** m, apenas 50 cm de diferencia con el valor actual.

En definitiva las dos tecnologías concordaron dentro del medio metro. Esto habla muy bien de la ejecución de los dos proyectos, separados medio siglo. A esta altura, podríamos esbozar algunas conclusiones:

- La tecnología tradicional obtuvo resultados casi coincidentes con la tecnología actual.
- La tecnología tradicional requería mayor contacto con la naturaleza por parte de los operadores, y un mayor y mejor conocimiento del medio físico.
- La tecnología actual es mucho más rápida y los esfuerzos de cálculo y procesamiento se han automatizado.
- Los conceptos científicos sobre los que se basan ambas tecnologías son prácticamente los mismos.
- Donde hay gran diferencia es en la comunicación de datos y resultados, que ha adquirido una velocidad tal que permite el trabajo y procesamiento en tiempo real, así como en el tamaño y peso de los receptores de información. Sin este último gran cambio no se podría haber intentado el camino de la **IA**, que se sitúa en el vértice superior de la pirámide del conocimiento y el saber, y cuya base debe ser el amplio y sólido desarrollo de las ciencias básicas fundamentales.

El hombre pudo pisar la luna utilizando en 1969 una tecnología muy inferior a la actual. Hoy lo podría hacer más rápido, y la verdadera diferencia es que puede procesar y transmitir sus observaciones en forma mucho más eficiente. Más aún, puede instalar robots que hagan parte de su trabajo en base a la inteligencia artificial.

Pero un edificio sin buenos cimientos siempre correrá el riesgo de su derrumbe.

Referencias

(1) Un dato muy importante para los estudios geográficos, para el conocimiento de la realidad social y para el establecimiento de políticas duraderas proviene de los censos, en especial de los inventarios de población. Son condiciones de calidad, no siempre cumplidas, mantener los lapsos de la toma, utilizar bases cartográficas con similar desagregación y emplear encuestas con criterios científicos.

(2) Se atribuye a John McCarthy haber acuñado el concepto de inteligencia artificial vinculándolo con métodos y máquinas computarizados que pudieran realizar tareas propias del ser humano. Desde 1955 se viene utilizando en ámbitos matemáticos.

(3) Entre aquellos que con sus hallazgos contribuyeron grandemente a la calidad de los datos geográficos en nuestro país, se encuentran los nominados como sitiales en la Academia Nacional de Geografía. A ellos los antecedieron o se sumaron después otros investigadores, técnicos y prácticos especialmente designados. Existen ejemplos de profesionales de otras disciplinas que vocacionalmente optaron por la ciencia de Estrabón. No deben faltar en la consideración los aportantes de datos, en casos anónimos, como meteorólogos, encuestadores sociales y económicos, geodestas, topógrafos, geólogos, biólogos, etc. A nivel internacional, en esta prolongada etapa, se conocieron las más importantes proyecciones cartográficas, se fijó el primer meridiano de Greenwich y fue aceptado el Elipsoide de Hayford como superficie de referencia.

(4) Medidores de distancias y ángulos, anteojos astronómicos, torres de observación adaptadas para su empleo en llanuras extensas, hidrógrafos, pluviómetros, reglas de cálculos, marcas, señales y muchos otros. Merece destacarse que por lapsos prolongados el autoabastecimiento fue política de Estado y existieron mínimas posibilidades de importar instrumental e insumos.

(5) Fueron necesarios grandes depósitos para archivar los antecedentes, en distintos formatos y soportes; resultaba costoso mantenerlos en buen estado y era complicado su aprovechamiento posterior. En general se consideraba información de uso restringido, casi con exclusividad por la entidad que los producía. Cuando la tecnología lo hizo posible, parte del material de estos repositorios fue digitalizado.

(6) En nuestro país los trabajos propios de la fotogrametría terrestre se iniciaron en 1910 y los de fotogrametría aérea una veintena de años después. Vinculado a los trabajos geodésicos y topográficos, en 1946 se adoptó como punto de tangencia el vértice Campo Inchauspe y en 1949 se estableció físicamente el Punto Altimétrico de Referencia Normal, en el Parque Independencia de la Ciudad de Tandil.

(7) Desde el año 1972, se mantiene operando la serie de satélites Landsat (NASA). La versión 8 que conocemos desde el año 2013 es la versión más moderna.

(8) La llegada de la emblemática "Clementina" que funcionó en el Instituto de Cálculo de la Universidad de Buenos Aires, entre 1961 y 1971, constituyó un paso trascendente para la computación en el país. En 1963, el entonces IGM incorporó su primera computadora científica. Una muestra del desarrollo registrado en este campo es que el más sencillo de los teléfonos móviles actuales, las supera en capacidad de almacenaje y ejecución.

(9) Se reconoce como el primer SIG al desarrollado por el canadiense Roger Tomlinson en 1969. Esta herramienta comenzó a popularizarse a fines de los 80 y pasó a constituirse en un gran aporte que brinda la informática al manejo de la información geográfica. Se lo puede definir como una integración organizada de datos para almacenar, manipular y desplegar en todas sus formas la información geográfica para

resolver problemas complejos, funcionando además como una base de datos alfanuméricos.

(10) Este Instituto creado en 1953, pasó a denominarse a partir del año 2006 Instituto de Geodesia y Geofísica Aplicada (IGGA). Las campañas geodésicas se realizaron desde 1934 hasta 1980, donde los docentes y alumnos empleaban un mes de su receso estival en el ambicioso proyecto.

Fuentes consultadas

Academias Nacionales. En torno a 1810, 412 páginas. Buenos Aires: Abeledo Perrot, 2010

Instituto Geográfico Militar. 100 años en el quehacer cartográfico del país. 1879-1979, 304 páginas, fotografías y un sobre con cartografía y planillas. Buenos Aires: IGM, 1979.

Instituto Geográfico Nacional. IGM 130 años IGN. 1879-2009, 2 tomos. Historia, 143 páginas. Testimonios. De las estrellas al GPS, 47 páginas y un CD. Buenos Aires: IGN, 2009.

Baglietto, Eduardo E. Contribuciones a la Geodesia Aplicada, 27/31 pág. Buenos Aires, Febrero 1958. Presentado en la VII Asamblea General y VIII Reunión de Consulta de la Comisión de Cartografía del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH)

Chuvienco, Emilio. Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio, 608 páginas. Barcelona: Ariel, 2010.

Academia Nacional de Geografía. Página Web

Instituto Geográfico Nacional. Página Web

Archivos y transformación digital en la caja de herramientas de los historiadores

Beatriz Bragoni

Si el pasado se torna digital, porque los nuevos vestigios que estudiaremos habrán sido originados por medios electrónicos o porque muchos de los viejos documentos habrán sido reconvertidos en dígitos binarios, tendremos que preguntarnos por las consecuencias e implicaciones de todo ello. (Analet Pons 2013, p.13)

Las transformaciones tecnológicas en materia de información, tratamiento y transferencia de grandes datos convirtieron a los Archivos, Bibliotecas y Museos en epicentro de reflexiones teóricas e intervenciones prácticas por constituir las principales instituciones públicas dedicadas a preservar el patrimonio memorial y cultural de la humanidad. Mirado en perspectiva, el “momento archivos” (como ha sugerido Lila Caimari en un artículo reciente),¹ no resulta del todo independiente de los debates que vienen cruzando a los historiadores sobre la tensa imbricación entre memoria (s) e historia regida por el cambio del “régimen de historicidad” y el clima “presentista” contemporáneo que reveló la “crisis de futuro” y trastocó el estatuto matricial de los tiempos modernos encajado en la categoría de “progreso”.² La nueva experiencia del tiempo -que hizo decir a Italo Calvino “la dimensión del tiempo se ha hecho pedazos”-, es la que fundamenta o hace comprensible no sólo la explosión de la era memorial contemporánea y el triunfo del testigo frente al testi-

1 Lila Caimari, “El momento Archivos”, *Población & Sociedad* 2020, Vol. 27 (2), pp. 222-233

2 La bibliografía sobre historia y memoria es abundante por lo que citaré algunos textos indicativos: Maurice Halbwachs, *La memoria colectiva*. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza, 2004 (1° ed. 1950). Paul Ricouer, *Tiempo y narración*, Vol. I: Configuración del tiempo en el relato histórico, México, Siglo XXI, 1995 (1° 1985) y *La mémoire, l'histoire, l'oubli*. Paris, Seuil, 2000 ; François Hartog, *Régimes d'historicité. Présentisme et expérience du temps*. Paris, Seuil 2003 y *Chronos. L'Occident aux prises avec les Temps*, Paris, Gallimard, 2020. Kosellek, Reinhart. *Futuro pasado: para una semántica de los tiempos históricos*. Barcelona, Paidós, 1993.

monio (escrito o el documento) sino que también ayuda a contextualizar la multiplicación de iniciativas o proyectos de patrimonialización como expresión de procesos identitarios diversos que pueden entrar en disputa o no con el canon interpretativo dominante, según la capacidad de intervención pública de los actores sociales.³

La reflexión sobre las complejas relaciones entre memoria (s), historia y patrimonio estuvo lejos de quedar encapsulada en el gabinete de los especialistas, sino que cruzó el umbral de las academias para ganar centralidad en la agenda pública internacional. A propósito de ello, vale la pena destacar el ambicioso programa lanzado por la UNESCO, *La memoria del mundo* (2002) cuya misión primordial consiste en incrementar la conciencia y la protección del patrimonio documental mundial, y lograr su accesibilidad universal y permanente. En función de ello, el registro, la preservación y la conservación de documentación en cualquiera de sus formas (escritas u orales) encabezan los protocolos de trabajo recomendados a las instituciones custodia con el fin de instrumentar una serie de medidas básicas que eviten el deterioro y garanticen la accesibilidad permanente del patrimonio documental mediante intervenciones técnicas mínimas.

En cualquiera de los casos, y más allá de las evidentes desigualdades nacionales e internacionales, la tríada de instituciones erigidas desde el siglo XIX en “lugares de memoria” preferenciales del acervo cultural de cada país, región o provincia en particular, han sido interpelados e intervenidos mediante técnicas y métodos digitales que impactaron en los procesos y prácticas de colección, selección, clasificación, almacenamiento y conservación de los materiales de sus fondos y colecciones, y en la caja de herramientas de los especialistas en humanidades y ciencias sociales. Como sugiere Pons, “hay una mutación tan general como evidente, derivada del impacto de las denominadas tecnologías de la información y la comunicación”.⁴ En idéntica dirección, Chartier subraya que la invención digital ha transformado la forma de inscripción, transmisión y circulación de los textos erigiéndose en una revolución técnica mayor a la tradición inaugurada por Gutenberg. A su juicio, se trata de una transformación que afecta nuestras “relaciones con la cultura escrita en sus dimensiones técnicas, morfológicas y culturales”.⁵

3 Fernando Devoto, “Los museos de las migraciones internacionales: entre historia, memoria y patrimonio”. *Ayer* 83 (3), 2011, pp. 231-262; Krzysztof Pomian, *Le musée, une histoire mondiale (I)*. París, Gallimard, 2020

4 Analet Pons (2013). *El desorden digital. Guía para historiadores y humanistas*. Madrid, Siglo XXI, p. 14

5 Roger Chartier, Del código al hipertexto. Entrevista a cargo de César Rendueles.

Por cierto, los cambios operados por el “giro digital” en la gestión documental y sus efectos en las prácticas científicas han dado lugar a debates, intercambios, balances y perspectivas de las que señalaremos de manera sintética tres asuntos o aristas cruciales: de un lado, las implicancias del pasaje del soporte analógico al digital en las formas de acceso a objetos digitales y los servicios de información en las prácticas de investigación social e histórica; del otro, la internacionalización de los archivos como resultado de invenciones tecnológicas y transformaciones en la gestión documental que facilitan el acceso remoto a materiales digitales distribuidas en una amplia gama de archivos, bibliotecas y repositorios; finalmente, el desarrollo de técnicas de inteligencia artificial (IA) y aprendizajes automáticos (ML) aplicados al campo de las humanidades (*Humanidades digitales*) que han permitido complejizar el análisis textual mediante el acceso a grandes colecciones de datos, mejorar los sistemas de búsqueda de palabras, términos o expresiones y pensar en términos de datos o cuantificación con el propósito de mejorar la comprensión del pasado y del presente mediado por dispositivos tecnológicos y digitales. Una última advertencia realizo al lector: este breve repaso constituye sobre todo impresiones de una usuaria fascinada y trajinante de archivos, bibliotecas y museos que conviven en los dos mundos que habitamos: el físico y el digital.

Archivos y giro digital

Es un lugar común referir al cambio tecnológico en materia de comunicación y el impacto correlativo de los sistemas de representación y transmisión de información por dígitos que se generalizó a partir de la invención y generalización de computadores personales junto a la multiplicación de la tasa de transferencia de información generada por Internet.⁶ Tales transformaciones reconfiguraron el espacio informacional en la forma que interactúan los actores o usuarios con los objetos “textuales” (imágenes) disponibles en plataformas, portales o repositorios, y afectaron muy especialmente la gestión archivística y bibliotecológica que mantenían casi intactos los sistemas de clasificación y acceso documental imantados por el

6 Guillermo Banzato y Claudia González, “Objetos digitales, espacios digitales y acceso a la información en el mundo académico”, Bárbara Göbel y Gloria Chicote (Ed.) *Transiciones inciertas: Archivos, conocimientos y transformación digital en América Latina*. La Plata: Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación; Berlín; Ibero-Amerikanisches institut, 2017

ordenamiento administrativo, científico, ideológico y hasta estético del siglo XIX.⁷

En efecto, la digitalización de documentos facilitó la movilización de objetos de alta velocidad y alcance espacial y contribuyó a establecer nuevas relaciones e interpretaciones entre objetos favoreciendo su accesibilidad y reduciendo asimetrías.⁸ El giro digital, en consecuencia, permitió el acceso remoto a diferentes tipos de objetos “textuales” (manuscritos, libros, revistas, prensa); objetos “visuales” (fotografías, videos), objetos “sonoros” (música, grabaciones, etc) y objetos “híbridos” (textos con imágenes, cartografías, carteles). En cualquier de sus formas, el pasaje entre los formatos clásicos al lenguaje o soporte digital introdujo novedades de primer orden en las prácticas de investigadores sociales e historiadores no sólo porque facilitaron y ampliaron el acceso a la documentación sino también por las implicancias del tratamiento digital de los textos u “objetos”, convertidos en fuente de información de cualquier pesquisa.

No obstante, el proceso mediante el cual los materiales o textos son digitalizados y puestos al servicio de los usuarios o lectores de manera remota no sólo supone o contiene un conjunto de decisiones o “mediaciones”, sino también expresa una nueva morfología textual de la que resulta conveniente traer a colación algunas notas. Por un lado, el soporte digital no sólo puede sustituir o complementar el soporte analógico sino que introduce novedades en la forma en que ese objeto / imagen es leído o considerada en cuanto abandona el carácter unívoco o lineal exhibiendo en su lugar un conjunto de enlaces (links) que, o bien pueden remitir al texto en sí (citas, notas, etc que refieren a antecedentes e independientes del autor), o bien pueden referir o conectar a sitios web u otras menciones ofreciendo al lector información inmediata. El texto, entonces, se desmenuza en fragmentos autónomos representando una especie de entramado o red de conceptos que puede llegar a ser infinito, y que, por consiguiente, exigen al lector ejercer un rol activo en la detección e interpretación de las conexiones o eslabones de la cadena disparada con la consulta.

7 Michel Foucault, *Las palabras y las cosas. Una arqueología de las ciencias humanas*. Buenos Aires: Siglo XXI, 1968; Graciela Swiderski, *Las huellas de Mnemosyne. La construcción del patrimonio documental en la Argentina*, Buenos Aires, Ed. Biblos, 2015

8 Bárbara Göbel y Gloria Chicote (Ed.) “Introducción”, *Transiciones inciertas: Archivos, conocimientos y transformación digital en América Latina*. La Plata : Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación ; Berlín : Ibero-Amerikanisches institut , 2017

Por otra parte, el progresivo incremento de digitalización documental y puesta en línea de fondos de archivo supuso un proceso de deconstrucción y construcción de objetos y colecciones instalando nuevos criterios de clasificación y catalogación que innovaron o resignificaron sistemas archivísticos y bibliotecológicos preexistentes distinguiendo los documentos digitalizados de los que nacieron en formato digital, y el archivado en la web.⁹ A su vez, y lo que no es menor, los criterios de selección del material para digitalizar se hicieron eco de la novedad instalada por la “demanda” o requerimientos de los usuarios e investigadores quienes se convirtieron en gestores discretos de los procesos de selección de materiales digitalizados realizados por el personal experto y ofertados en los portales o plataformas de las instituciones custodia. El rol que ocupan los lectores o usuarios mediante registros estadísticos de consulta suelen ser considerados por el personal de archivo o bibliotecas para orientar proyectos o planes de trabajo a futuro. Dicho tipo de interacciones constituyen un componente novedoso de la gestión archivística y documental contemporánea en tanto tuerce o modifica el clásico trabajo desempeñado por archiveros y bibliotecarios. En su lugar, el vínculo con los usuarios e investigadores en todas sus categorías se convierte en un insumo valorado por constituir grupos de interés comprometidos con la conservación y difusión de los contenidos o materiales de archivo, y por la información que pueden proveer para mejorar los descriptores de catalogación y fortalecer su contextualización.

Göbel y Müller puntualizan el carácter “radial” de la digitalización porque facilitan la movilidad de objetos que permiten borrar las rígidas fronteras de las instituciones custodia, y poner en diálogo colecciones documentales contribuyendo a la creación de “nuevos ecosistemas digitales de conocimiento” que permiten traspasar o tender puentes entre campos disciplinares.¹⁰ De igual modo, la era digital ha gravitado en una nueva organización o catalogación de los archivos dotándolos de nuevas cualidades al poner o colocar objetos o colecciones en relación con otros. No se trata por cierto de un fenómeno lineal o unidireccional del pasaje o transferencia de un soporte o lenguaje por otro, sino que supone un proceso de toma de decisiones de qué digitalizar y cómo digitalizar tanto cómo de la clasificación que facilite su acceso en el mundo digital. Es decir, comprende una “cadena de valorización digital” en la que intervienen una pluralidad de actores (archiveros, bibliotecarios,

9 Soledad Abarca de la Fuente, “Digitalización de fotografías de la Unidad Popular (Chile, 1970-1973): recuperación, visibilidad y movilidad de un patrimonio perdido”; Daniela Schütte González, “Hackeando la Biblioteca Nacional de Chile: Memoria Chilena”. Ambos en B. Göebel y G. Chicote (Ed.) op cit,

10 Barbara Göbel y Christoph Müller, “Archivos en movimiento: ¿Qué significa la transformación digital para la internacionalización de los archivos?”, en B. Göbel y G. Chicote, op. cit, p. 21

informáticos e investigadores) que facilita el acceso remoto de materiales y objetos hasta entonces restringidos a consultas presenciales sujetas a condiciones institucionales, geográficas o económicas. En tal sentido, los archivos digitales se erigieron en zonas de interacción y su acceso disparó en los usuarios e investigadores nuevas experiencias. Más precisamente, algunos historiadores sostienen que el tratamiento de documentación principal nacida digital conlleva interrogantes y problemas inéditos en torno a la misma noción de “archivo” y en las formas de clasificación de la información.¹¹ A su vez, los expertos han puesto en agenda la amenaza que gravita en la conservación, almacenamiento y longevidad de los documentos producidos por métodos digitales que en la actualidad afecta lo cotidiano o doméstico, lo empresarial y lo público-estatal (en lo administrativo, judicial, fiscal, etc).¹²

No obstante, y si bien los objetos, colecciones y fondos digitalizados ganan visibilidad a escala global, los especialistas han llamado la atención sobre los riesgos o desafíos que introducen a los investigadores en tanto el nuevo dato, testimonio o redes de documentos ofrecidos, puede hacer perder de vista la forma de organización o depósito originario eludiendo con ello una instancia crucial de la experiencia o práctica de archivo que constituye el humus o dimensión material medular de la operación historiográfica. No está de más recordar aquí el carácter subjetivo de las fuentes narrativas y la relación entre los testimonios o “huellas” y la realidad testimoniada que el historiador debe resolver mediante operaciones intelectuales orientadas a conectar el testimonio o caso con el contexto entendido como “lugar de posibilidades históricamente determinado”.¹³ Aun así, y teniendo en cuenta este tipo de recaudos, la era digital impactó de lleno en el rol de las instituciones culturales de la memoria al quebrar el paradigma estatal clásico de los objetos custodiados, y facilitar procesos de visibilización de fragmentos de historias o narrativas no conocidas que fueron en más de un caso rescatadas del olvido oficial o historiográfico.

11 Nicolás Quiroga, “Qué tengo si no tengo papeles? Materialidad y juego en el trabajo de archivo”, *Población y Sociedad*, Vol. 25, Núm.2, 2018

12 José Ramón Cruz Mundet, “El historiador y la historia en la Edad Oscura Digital”, *Ayer* 109/2018 (1): 369-384

13 Carlo Ginzburg, *El hilo y las huellas. Lo verdadero, lo falso, lo ficticio*. Buenos Aires, Fondo de Cultura Económica, 2010, p.439. Arlette Farge, *La atracción del archivo*

Internacionalización de los archivos

El giro digital no sólo instaló nuevas formas de gestión interna en materia archivística, sino que la generación de nuevos contenidos, objetos digitales y servicios de información instó a las instituciones a establecer lazos de cooperación intra e internacionales que pusieron sobre el tapete las fortalezas y desafíos de los sistemas de documentación histórica y gestión documental en la agenda pública y, en algunos casos, en el seno de las políticas culturales y científicas.

Una rápida mirada del desigual escenario de gestión archivística o bibliotecológica internacional permite visualizar algunos faros que ejercen fascinaciones ante la democratización del conocimiento y acceso a bienes culturales preciados por universos de lectores y usuarios dispersos en el mundo. En ese espectro sobresalen la *BDH* (Biblioteca Digital Hispánica), *Gallica* (Biblioteca Nacional de Francia); *Pares*, el portal de Archivos Españoles; *Library Congress* o el *Archivo General de Indias (AGI)* entre otros. Por su parte, no son pocas las bibliotecas y archivos latinoamericanos que emprendieron reformas sustanciales para modernizar la gestión documental en direcciones semejantes que incluyeron innovaciones legislativas, normativas y tecnológicas que gravitaron primordialmente en la puesta en línea de catálogos de fondos y colecciones. No obstante, la digitalización y puesta en línea de fondos cuenta con experiencias importantes. México innovó con la creación de un sistema destinado a armonizar los archivos estatales con el Archivo Nacional, y la creación de una plataforma de consulta virtual de fondos y colecciones; por su parte, la Biblioteca Nacional de Chile y el sitio Memoria Chilena innovaron y han sostenido en el tiempo políticas de preservación y rescate del patrimonio cultural de altísimo impacto nacional e internacional.

Asimismo, las iniciativas de cooperación internacional también se multiplicaron bajo diferentes programas articulando capacidades institucionales de archivos estatales y promoviendo lazos de solidaridad y financiamiento con el doble propósito de proteger y difundir el patrimonio documental y fortalecer la capacitación de los profesionales. Esa tónica estimuló la puesta en marcha de diferentes programas tales como Iberarchivos, el programa creado en 1998 que financia proyectos de rescate y puesta en valor de archivos y fondos del espacio iberoamericano, y también imanta diversos programas de colaboración encarados por la Unión Europea con idénticos fines u objetivos, y otras organizaciones internacionales.

Visto el fenómeno con lentes propias, la situación de los Archivos y Bibliotecas públicas en la Argentina dista de ser equiparada con los ejemplos antes presentados en tanto los actuales marcos regulatorios no garantizan la preservación sistemática

de la información producida por el Estado (nacional, provincial o municipal). La legislación vigente está lejos de emular sistemas eficientes y articulados en materia archivística en relación a la utilización de estándares de protección del patrimonio documental, y de acceso remoto a la información bajo su custodia, a excepción de la puesta en línea de sus catálogos. En su lugar, y con la excepción de algunos casos puntuales (como el Archivo provincial de Córdoba y el de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires), el Archivo General de la Nación, la Biblioteca Nacional, la Biblioteca del Congreso de la Nación, como la mayoría de los archivos provinciales, han estado sujetos a innovaciones parciales, y desprovistos de políticas institucionales capaces de intervenir decididamente en la optimización de fondos o colecciones. En contraste, algunas universidades nacionales, instituciones y centros de investigación han realizado inversiones de relieve en la digitalización de documentación y la creación de repositorios de acceso abierto bajo criterios bibliotecológicos y archivísticos internacionales, y han mejorado sustancialmente las condiciones de consulta y preservación de documentación en riesgo. En tal sentido, la ley 26899 (2013) dispuso la creación de Repositorios Digitales Institucionales de Acceso Abierto, propios o compartidos y el CONICET impulsó el proyecto CONICET DIGITAL. En esta línea, la creación del Sistema Nacional de Documentación Histórica (SNDH) constituyó un aporte valioso en cuanto promete replicar instrumentos ya vigentes en algunos países latinoamericanos y europeos que han permitido introducir reformas dispuestas a revalorizar el patrimonio cultural y conectarlo con los principios rectores de “ciencia abierta” y el acceso y democratización de la información por parte de la ciudadanía y no sólo para las comunidades científicas.

Si bien prevalece en la comunidad científica la convicción de mejorar la gestión archivística y bibliotecológica ante el abandono y precariedad de las inversiones en infraestructura edilicia, tecnológica y en la profesionalización del personal a cargo, la problemática no ha ocupado hasta la fecha un lugar de relieve en la agenda de las políticas públicas nacionales o provinciales. En su lugar, los proyectos e iniciativas de preservación, digitalización y puesta en valor de fondos y colecciones documentales procedieron de instituciones culturales, academias, fundaciones y grupos de investigación radicados en universidades nacionales, o en el CONICET, que a fuerza de voluntad de círculos estrechos de investigadores y subsidios ocasionales vigorizaron proyectos valiosos que bien idearon, diseñaron y gestionaron archivos virtuales que proveen de información ausente en los archivos públicos, como lo ejemplifica el caso del CeDInCI (Centro de Documentación e Investigación de la Cultura de Izquierdas <http://cedinci.org/>), o bien contribuyeron al rescate, digitalización y puesta en valor de colecciones o materiales en riesgo mediante proyec-

tos de cooperación (nacional e internacional) imantados por la eficaz y virtuosa tradición de la Fundación Antorchas, y seguida por el CEHIPE de Rosario (Centro de Estudios Históricos Parque España <http://cehipe.org.ar/>), entre otras organizaciones de la sociedad civil. Así también, la era digital permitió exhumar y poner a disposición del público archivos de intelectuales y de científicos entre los que se distinguen, el Archivo José Luis Romero (<https://www.jlromero.com.ar>), y el recién creado Archivo Houssay (<https://www.museohoussay.org.ar/archivo>).

Naturalmente, esta descripción está bien lejos de ser exhaustiva, aunque ayuda a considerar algo que resulta evidente: la centralidad de los archivos y la gestión documental en la agenda global, y las implicancias de las marcadas asimetrías entre las instituciones de los principales centros mundiales, y los menos provistos de infraestructura tecnológica y digital, aun aceptando la existencia de desigualdades al interior de cada país o entre países. Al respecto, no son pocos los especialistas que, si bien destacan las fortalezas de la gestión digital en materia de acceso al conocimiento y bienes culturales, no dejan de observar que la misma pueda profundizar las desigualdades preexistentes limitando con ello el alcance democratizador del giro digital. El péndulo entre los enrolados en las vertientes optimistas y pesimistas de la capacidad multiplicadora de conocimiento y acceso a la información en cualquiera de sus formas hizo patente la necesidad de instalar la gestión de archivos y bibliotecas (y museos) como instrumento de las políticas científicas en la escala nacional e internacional. En función de ello, Göbel y Müller recomiendan que resulta prioritario fortalecer la articulación entre las infraestructuras de información disponibles, y promover también la creación de infraestructuras de información más inclusivas con el propósito de atemperar las asimetrías derivadas de las diferentes capacidades institucionales y tecnológicas mediante la concurrencia o puesta en común de “cadenas de valorización digital sustentables” que permitan la movilidad de objetos a través de enlaces o interfaces entre diferentes archivos.¹⁴ No se trata, entonces, que las instituciones consolidadas o chicas resuelvan escanear o digitalizar objetos en sus diferentes formatos gráficos, fotográficos, sonoros o audiovisuales. Se trata también de aplicar identificadores persistentes, esquemas de metadatos, inserción de catálogos estables y de un adecuado almacenamiento en repositorios o plataformas sustentables. De modo que la compatibilidad de sistemas de clasificación se convierte en herramienta crucial de visualización y circulación de objetos digitales de archivos o instituciones pequeñas permitiendo atemperar la brecha que los diferencia con los archivos o instituciones centrales o

14 Barbara Göbel y Christoph Müller, “Archivos en movimiento: ¿Qué significa la transformación digital para la internacionalización de los archivos?”, en B. Göbel y G. Chicote, op. cit, pp. 19-36

metropolitanos. Por consiguiente, los expertos consideran de fundamental importancia avanzar en la adecuación o adopción de procesos compatibles que permitan articular estructuras de información heterogéneas con propósito de corregir las asimetrías preexistentes o las derivadas del cambio organizacional y digital. La interrelación entre ambas lógicas, pues, resulta prioritaria en el diseño y ejecución de “una geopolítica del conocimiento basada en las políticas de internacionalización científica con instrumentos sólidos y de largo plazo”. Naturalmente, las mismas no son independientes de las capacidades y acceso de dispositivos tecnológicos adecuados por parte de las desiguales comunidades científicas, y de usuarios ocasionales o regulares comprendidos en el gran público.

Cultura de datos e inteligencia artificial

En una revisión reciente sobre el desarrollo de las Humanidades Digitales en los ámbitos académicos argentinos, Gimena Riande del Río consignó: “el uso de herramientas computacionales en las Humanidades no es algo nuevo; no obstante, la disponibilidad masiva de datos y artefactos que trajo consigo el giro digital abrió nuevos enfoques para su investigación y enseñanza, poniendo de relieve un elemento que siempre estuvo presente pero que por mucho tiempo pasó desapercibido para los humanistas: los datos”.¹⁵

En efecto, la progresiva digitalización de corpus documentales y el desarrollo de técnicas de IA aplicadas al campo de las humanidades instaló nuevas perspectivas y estrategias de las pesquisas encaradas por los más convencidos en puntualizar alcances y proyecciones en la producción de nuevos conocimientos. Una primera advertencia o rasgo pone de relieve la comprensión crítica por parte del investigador de los “macrodatos”, esto es, el análisis crítico sobre el modo en que los algoritmos de búsqueda resuelvan por sí solos. Tal comprensión tiene como base la certeza que el recurso digital no es idéntico a su predecesor en papel porque el proceso de digitalización no es objetivo o neutro, sino que depende de decisiones o intervenciones que influyen en la información que se conserva o transfiere. Se trata de un conjunto de intermediaciones o procedimientos que concurren en la selección, clasificación e interpretación en el que participan un puñado conectado

15 Gimena Del Río Riande, “La cultura de los datos y los datos como cultura en las Humanidades Digitales”. Del Río Riande, G. (Coord.). *La cultura de los datos: Actas del II Congreso Internacional de la Asociación Argentina de Humanidades Digitales*. La Plata: Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación; Rosario: Universidad Nacional de Rosario, 2019.

de actores, y que puede o no diferir con sistemas de catalogación previos pero que resulta de vital importancia a la hora de fundamentar el andamiaje erudito y autoría intelectual de los humanistas digitales que trabajan con grandes datos.¹⁶

Un segundo rasgo reposa en las expectativas despertadas a partir de la digitalización de grandes fondos documentales y las capacidades que estos ofrecen para que las computadoras y las técnicas de IA contribuyan a la generación o problematización de nuevos conocimientos. En torno a ello, y como ocurre en otros campos disciplinares, están quienes depositan confianza en los sistemas de información y aprendizaje automático, y los que observan limitaciones u obstáculos en torno a problemas ligados con la construcción de la prueba y la naturaleza hermenéutica o interpretativa.

Aun teniendo en cuenta tales convenciones, las técnicas de IA y ML han permitido desbloquear fronteras y han facilitado el acceso a contenidos impensados convirtiéndose en valiosos instrumentos de colaboración de los humanistas y cientistas sociales.¹⁷ En efecto, y sobre la base de la creación de grandes bases de datos o la digitalización de enormes corpus documentales o textos, las aplicaciones o usos de tales técnicas han permitido agilizar los sistemas de búsqueda de palabras, expresiones o términos; cuantificar, cartografiar e identificar variaciones en las prácticas de lectura; y corregir anomalías o desvíos de carácter editorial.

Así, como señala Chartier, la edición electrónica de ciertos géneros de lectura fragmentaria (como los diccionarios de la lengua y enciclopedias) facilita búsquedas rápidas y de actualización de información constante mediante las cuales el usuario o investigador puede percibir y documentar deslizamientos o variaciones de sentidos o significados de las palabras en el tiempo. En el terreno literario, y de la mano de Franco Moretti, la digitalización de colecciones completas de novelas británicas de los siglos XVIII y XIX junto al procesamiento informático (y artesanal), ha permitido combinar el tratamiento cuantitativo y cualitativo de los cambios e interacciones en las formas de lectura, la creación del mercado editorial, la circulación y localización espacial, y las preferencias y sensibilidades del público lector.¹⁸

16 Shawn Graham, Ian Milliman & Scott Weingart, *Exploring Big Historical Data. The historian's Macroscopic*. Imperial College Press, 2016.

17 Hebe Vessuri, "Museos en la transición digital ¿Nuevas asimetrías?", B. Göbel y G. Chicote, op. cit. p. 42; Nicolás Quiroga, "El archivo y la toma de notas. El lugar del software en la interpretación histórica". *Revista de Humanidades digitales*, UNED Madrid, 2018

18 Franco Moretti, *Lectura distante*. Buenos Aires, Fondo de Cultura Económica, 2015 (1° ed. 2013)

De modo semejante, la posibilidad de disponer de grandes corpus de textos digitalizados (de autor o no) ha ofrecido a los especialistas enrolados en la historia conceptual o de la semántica histórica agilizar el trabajo erudito mediante la visualización de palabras-expresiones-vocablos inspirando nuevas preguntas y estrategias de investigación sobre el manejo de los materiales históricos y en cómo fueron o son percibidos. La visualización textual, en consecuencia, permitió realizar nuevas lecturas situadas y de largo plazo (zooming in / zooming out). Es decir, permitió modificar la mirada sobre el "texto" sin perder de vista el peso del contexto en las variaciones semánticas o de significados.¹⁹ En otro orden, las técnicas de aprendizaje automático también permitieron corregir anomalías de edición de grandes plataformas potenciando habilidades e "iniciativas mixtas" en las que los algoritmos organizan las intervenciones de usuarios/editores que deciden voluntariamente participar del proyecto.²⁰ En el campo de la arqueología, la aplicación de técnicas informáticas y métodos estadísticos ha sido puesta al servicio de la gestión de archivos, colecciones, cartografías de yacimientos arqueológicos y clasificaciones automáticas (tipos, asignación de grupos, etc.), y ha estimulado intensos debates sobre el alcance y desarrollo de "sistemas convenientes de representación simbólica" con el fin de incitar el vínculo entre tratamientos científicos y narrativos.²¹

Los ejemplos de este tipo de aplicaciones pueden proliferar en varias direcciones poniendo de manifiesto la creciente consolidación del campo de aprendizajes de las máquinas ante la disponibilidad masiva de datos y el incremento de la capacidad de cómputos.²² En el actual escenario, y desde la expansión de las computadoras personales, los historiadores más que cultivar algún tipo de "historia digital", utilizan técnicas y métodos tecnológicos mediante las cuales acceden a fuentes de información digitales y digitalizadas, aplican procedimientos estadísticos o probabilísticos según temas u objetivos específicos perseguidos, producen y editan sus textos y difunden los resultados de investigación mediante soportes electrónicos. En un balance reciente, José Ramón Cruz Mundet ha señalado: "Hasta ahora, la historia digital presenta tres momentos: el primero basado en el uso de documen-

19 Silke Schwandt, "Métodos digitales para la semántica histórica. Tras el rastro de los conceptos en corpus digitales", *Conceptos Históricos*, N° 5 (8): 160-196.

20 Jackeline Bucio García, "Shakespeare y los leones: posibles encuentros entre inteligencia artificial y humanidades", *Revista Digital Universitaria* Vol. 21, Núm. 1, enero-febrero 2020

21 Jean-Claude Gardia. "La inteligencia artificial en arqueología: hoy y mañana", *Complutum*, I (1991) Madrid (pp. 31-39)

22 César F. Caiafa y Sergio E. Lew, "¿Que es la inteligencia artificial?", *Boletín Radio@stronómico*, IAR, 69; 6-2020

tos y publicaciones digitalizados de los archivos, bibliotecas, etc.; el segundo es interdisciplinar y se caracteriza por incorporar otros medios, como los sistemas de información geográfica, y un tercero basado en el uso de datos y documentos electrónicos, con herramientas de explotación y de visualización, y algoritmos”.²³

En ese trajinar, y ya para finalizar, el historiador participa o incursiona en dos mundos: por un lado, aprovecha los beneficios del acceso abierto y remoto de información primaria o secundaria ofertada en portales y plataformas que mejoran la contextualización y comprensión del objeto pesquisado. Por otro, el historiador frecuente y consulta materiales alojados en bibliotecas y archivos que mantienen casi inalteradas las clasificaciones y ubicaciones físicas originarias. Ambas experiencias vertebran las prácticas de archivo que intervienen, modelan y corrigen las preguntas que formula sobre el pasado que pretende historiar, y lo colocan ante el desafío de ejercitar la difícil y fascinante operación intelectual y artesanal de utilizar testimonios indirectos para restituir y narrar uno de los pasados posibles.

23 José Ramón Cruz Mundet, “El historiador y la historia en la Edad Oscura Digital”, *Ayer* 109/2018 (1): 369-384

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

■ La inteligencia artificial en la ingeniería

Manuel A. Solanet. Autores: Arístides Domínguez; José Luis Rocas; Antonio Cadenas; Nicolás Gallo; Gustavo Devoto

El avance hacia la inteligencia artificial

Los problemas que más frecuentemente se dan a resolver a una computadora son expresados en la forma de un conjunto de operaciones, escritas en un lenguaje adecuado y encadenadas mediante una cierta lógica. ¿Podría hacerse que estas máquinas actúen con una cierta intuición? En ese caso sería posible preguntar si estas máquinas llegarán a poseer inteligencia.

La inteligencia es una facultad que se presenta con diferentes grados. Si se acepta que la inteligencia está estrechamente relacionada con el aprendizaje, es razonable pensar que ninguna máquina de funcionamiento totalmente algorítmico pueda tenerla en un grado muy significativo. Puede extenderse esta conclusión a las máquinas capaces de reconocer los caracteres del alfabeto y otros símbolos numéricos y no numéricos (lectoras ópticas).

Un sistema inteligente capaz de aprender tiene que tener la capacidad de auto organización. El interés en lograrlo provocó una floración de investigaciones y el consiguiente desarrollo de una clase de máquinas capaces de aprender, conocidas con el nombre genérico de perceptrones. Estas máquinas fueron concebidas tomando como modelo los mecanismos de reconocimiento de configuración del hombre. La red de células sensitivas es análoga a la retina, la célula de asociación es análoga a los ganglios nerviosos. No obstante, los perceptrones son aún modelos simplificados en comparación con el hombre. Aún no tienen la enorme complejidad del sistema nervioso humano, el tamaño físico tan pequeño de sus elementos componentes y la capacidad de su mecanismo de reconocimiento de configuración y aprendizaje.

Las investigaciones realizadas con miras a desarrollar sistemas auto organizables se han orientado en dos direcciones:

- la encaminada a desarrollar sistemas físicos dotados de mecanismos sensoriales y memorias organizadas en forma semejante a la del ser humano.
- la encaminada a implementar sobre las computadoras electrónicas actuales conjuntos de instrucciones que simulen los procesos de decisión del hombre.

La inteligencia artificial está tratando de descubrir la esencia de la cognición humana para acelerar la resolución de problemas complejos. La inteligencia artificial se ha desarrollado en base a la interacción de varias disciplinas, como son la informática, la teoría de la información, la cibernética, la lingüística y la neurofisiología. Entre las diferentes técnicas de la inteligencia artificial relacionadas con el aprendizaje se destacan: el aprendizaje automático (machine learning), el reconocimiento de patrones (pattern recognition) y el aprendizaje profundo (deep learning).

Todos estos procesos exigen la intervención constante de la memoria. Los primeros estudios cibernéticos realizados para simular el funcionamiento de sistemas inteligentes han partido de la hipótesis de que todo pasado se materializa en la memoria en la forma de un circuito particular de neuronas interconectadas eléctricamente. Las neuronas, existentes en el cortex cerebral (corteza cerebral) alcanzan el orden de diez mil millones. El número de elementos de unión entre ellas, las sinapsis, es aproximadamente unas cien veces mayor, o sea un millón de millones. Es desafiante el intento de cifrar el número de circuitos diferentes que pueden definirse a partir de estos diez mil millones de neuronas interconectadas entre sí por un millón de millones de sinapsis.

Durante siglos el estudio de la facultad de la memoria fue tema de especulaciones filosóficas. Sin embargo, el desarrollo de memorias artificiales ha descendido en el tiempo del plano metafísico al de las realidades concretas y este proceso es cada vez más rápido. Las máquinas dotadas de memoria son muy antiguas. En el siglo XVIII los autómatas y las cajas de música poseían un tipo muy rudimentario de memoria basada en un sistema de levas. Esa memoria era tan rústica que no podía ser comparada con la memoria humana. La aparición de las computadoras ha cambiado radicalmente esta situación. La memoria de la computadora electrónica actual puede ser asimilada a un enorme fichero con un número muy grande de compartimientos. La información se guarda en ellos o se borra en millonésimos de segundo. Para encontrar una cierta información almacenada en el fichero no hay

nada más simple que numerar los compartimientos, es decir asignar a cada uno de ellos un número de referencia. Esta característica permite establecer una diferencia fundamental entre la memoria de las computadoras electrónicas actuales y la memoria de los seres vivos:

- en las computadoras electrónicas corrientes la memoria está localizada y funciona por referencia,
- en los seres vivos la memoria es difusa o está dispersa y funciona por asociación.

La memoria localizada, con funcionamiento por referencia, característica de las computadoras electrónicas, es extremadamente eficiente en los procesos algorítmicos previamente definidos. Esto no significa que no sea posible simular otro tipo de procesos con ellas.

La memoria difusa, con funcionamiento por asociación, característica del ser humano, es apta para otra clase de procesos muy diferentes de los algorítmicos. En efecto, ella es capaz de establecer relaciones mucho más amplias con otras informaciones previamente almacenadas y generalizar las nociones que posee. Esta capacidad está relacionada con el mecanismo de invención. Es indudable que los aspectos verdaderamente originales de la inteligencia tienen una base intuitiva.

La realimentación y el aprendizaje

El hombre ha llegado a reconocer que él también forma parte del Universo en el que se encuentra sumergido y que percibe por medio de su sistema sensorial. Su cerebro y su sistema nervioso coordinan la información que sus órganos receptores le proporcionan y esta información se combina con sus vivencias anteriores, acrecentando su experiencia e influyendo a su vez sobre sus acciones futuras.

El comportamiento del hombre se basa en un proceso de realimentación a distintos niveles. La realimentación simple compara la desviación entre el resultado obtenido en una acción y el deseado y corrige la acción para lograr una mayor aproximación. La forma más elevada del proceso de realimentación involucra el aprendizaje, que llega a modificar toda su regla de conducta.

Para entender esto es necesario establecer la interrelación entre los conceptos de información, conocimiento, comunicación, lenguaje, mensaje, memoria, inteligencia, conciencia y aprendizaje, que de alguna manera hay que individualizar.

No existe aún una teoría que explique cómo con información selectiva, que es subjetiva, puede construirse información estructural, que es la que aparentemente configura el concepto de conocimiento objetivo, y cómo con ésta puede construirse información semántica, que es intersubjetiva (comunicación hombre-hombre, hombre-máquina, máquina-hombre, máquina- máquina).

Lo que sabemos transmitir con mayor precisión es la información cuantitativa, a través de la matemática, mirada esta última como un modo de expresión que guarda una estrecha relación con la lógica.

A pesar de lo anterior y de la complejidad de nuestro sistema psicosenorial, resulta aún difícil describir matemáticamente como resuena en nuestra subjetividad la introducción de un conocimiento. Una dificultad práctica reside en el hecho de que nadie ha podido separar con buen éxito la realidad subjetiva, que es el conjunto de las impresiones personales de sus sentidos, de la realidad objetiva, que es la que ha adquirido del contacto con los demás individuos, tanto del presente como del pasado.

Los organismos o sistemas capaces de realizar un aprendizaje tienen estructuras con diferentes grados de elaboración. La adopción de una decisión varía en cada caso con la organización del sistema sensorial y nervioso, con el grado de inteligencia (capacidad de análisis y comprensión) y con el grado de complejidad de la situación con que se enfrenta. En el caso simple del reflejo condicionado la decisión es inmediata. En cambio, si el grado de inteligencia es más elevado, hay: 1. un reconocimiento de configuración, es decir de aquello que caracteriza la una situación dada, 2. un análisis de las consecuencias de cada posible elección.

Las sucesivas etapas de reconocimiento de configuración y análisis de consecuencias, previas a la decisión en sí son selectivas e implican las dos operaciones siguientes:

- la extracción de información útil de entre la masa de información existente. Esta operación está orientada hacia el fin perseguido, en consecuencia puede afirmarse que está regida por criterios de finalidad.
- la organización y clasificación de la información recogida y su comparación con configuraciones y consecuencias registradas en decisiones anteriores. En esta operación, la imagen abstracta de la situación actual y de las consecuencias de una posible elección son comparadas con otros esquemas creados mentalmente cuando dichos conocimientos fueron adquiridos. Puede comprenderse el rol esencial que desempeña la memoria en esta operación.

El análisis de las consecuencias de una posible elección requiere la intervención de criterios de evaluación. La elección final determina la conducta del sistema (hombre, animal o inteligencia artificial (máquina)). El análisis de las conductas registradas en situaciones similares permite determinar si éste se atiene a una regla de conducta o si su conducta es errática.

El hombre toma decisiones en cada instante de su vida, y la experiencia prueba que el conocimiento de una situación nunca es completo. Resultaría imposible, aún para el hombre más inteligente, extraer de la masa de información existente toda la necesaria para definir completamente una situación. Tampoco resultaría posible analizar todas las consecuencias de cada posible elección. Es evidente entonces que en toda decisión existe una componente de naturaleza intuitiva y que ella implica la aceptación de un riesgo. De acuerdo a esto último, las componentes de una decisión pueden ser clasificadas en las dos categorías siguientes:

Componente racional: Basada en el conocimiento de la situación.

Componente intuitiva: Basada en una evaluación probabilística de lo desconocido y por consiguiente en la aceptación de un riesgo.

Se denomina artificial a todo aquello que no es natural, es decir a todo lo hecho por el ser humano, más allá de sus actividades biológicamente condicionadas.

Los hombres, los animales y las máquinas son capaces de realizar acciones. Hay acciones que podemos llamar puras y otras que podemos llamar tecnológicas. Una acción pura no es tecnológica, ya que para serlo debe ir acompañada de la reflexión. Es posible establecer la secuencia: Problema, análisis, solución, invento de lo artificial, acción tecnológica y reflexión sobre la acción. Hubo un momento en que el ser humano comenzó a ser capaz de prever el resultado de sus acciones y reflexionar sobre las consecuencias de sus actos. En ese momento comenzó a evaluar los resultados de su acción y a distinguir si éstos serán nocivos o beneficiosos para sí mismo, para otro o para su comunidad. Allí nació la Ética.

La comparación entre un ser vivo y un “ser” artificial nos lleva directamente al corazón del problema. No podemos entender un ser vivo sin entender su diseño formal y funcional, su anatomía, su fisiología, su psiquis, su lógica de pensamiento. Los “seres” artificiales (objetos, artefactos, ingenios, procesos) en cambio son diseñados por seres vivos, o sea son pensados, y diseñados por sistemas que han sido diseñados por un ser biológico (el hombre), pero esos sistemas no tienen vida, no tienen alma, no tienen conciencia, no son responsables. ¿Cuál es su ética?

La ética en el uso de la inteligencia artificial

El desafío que encierra el incalculable crecimiento de la Inteligencia Artificial plantea debates de mayor profundidad y complejidad sobre los eventuales límites éticos, según los diferentes campos. Su desarrollo se ha expandido en su utilización para fines determinados, mostrando retornos ágiles y cada vez más importantes y sostenidos en e-commerce, en la globalización de la conectividad, en la automatización de procesos y en la modificación de bioestructuras de los reinos de la naturaleza, entre otros.

Machine Learning, Data Sciences, Big Data, aprendizaje automático, redes neuronales y otros conceptos similares son, en términos sintéticos, la base del sistema, sea para extraer información de datos, procesarlos, asociarlos, interconectarlos, enfrentarlos y proyectarlos de forma constructiva, predictiva y presuntiva. Todo parte de la digitalización binaria, donde los algoritmos que combinan matemáticas y lógica son los instrumentos finos- el soft ware -, el complejo de las máquinas cada vez más eficientes y más potentes, son las herramientas- el hard ware - y los programadores, sus actores.

Aquí reside el núcleo principal de la problemática ética, ya que un programador humano podría desarrollar algoritmos que alimenten la capacidad de generar nuevos programas, en forma teóricamente ilimitada. El concepto de transhumanismo deviene de esa teoría ya que no se concibe una máquina con principios éticos, mientras el ser humano, sea religioso, agnóstico o militante de la inexistencia divina, tiene el sentido ético en su propia conformación. Llevada al extremo esta reflexión, podría sin embargo existir la potencialidad de crear programas que respeten una normativa ética, aunque el dictado de la norma finalmente se originará en el programador humano.

La aplicación de la Inteligencia Artificial a la tecnología interviene en varios procesos; algunos más identificables por su incidencia inmediata en el análisis de sus entornos éticos y en el desafío de la necesidad del debate.

Consensuar el juzgamiento de las biotecnologías aplicadas al ser humano y a la propia naturaleza de la que forma parte, en relación a la ética, puede ser difícil. Los límites no siempre son claros. El alargamiento de la vida o extensión de las facultades fisiológicas integrales del ser humano mediante la manipulación de

los radicales libres, para postergar el envejecimiento por el proceso de pérdida de electrones, puede tener tantos condicionamientos como la manipulación de la flora bacteriana para prevenir y curar enfermedades.

Ambos ejemplos, donde el término manipulación está presente, contienen vastos escenarios de desconocimiento de sus efectos secundarios y de transmisión genética y podrían, además, ser iniciadores de complejos e inescrutables efectos demográficos y sociales. El fondo del problema reside aquí que las potenciales consecuencias, incluso los razonamientos especulativos, necesitan plazo para ser evaluados y material biohumano para comprobación.

Y así como los avances de la inteligencia artificial en la biotecnología y su confrontación ética quedan en los ámbitos de diferentes ángulos de análisis, no ocurre lo mismo con los intentos de clonación humana, cuyo rechazo surge de violentar la esencia de la naturaleza humana. Como decía Aristóteles: el alma es forma; el cuerpo es materia. Este mundo material tiene los atributos de extensión y movimiento, que no se encuentran en el espíritu. Mientras el cuerpo se rige por las leyes de la mecánica, la física y la química, no hay leyes materiales que se aplican al espíritu.

La biotecnología no es el único ámbito de trabajo de la inteligencia artificial que presenta interrogantes, sobre el alcance de su penetración y consecuencias. También la aplicación de la Ingeniería Artificial a procesos de manufactura, distribución del conocimiento y utilización de los bienes de la naturaleza, tiene sus aspectos éticamente juzgables, sea por no respetar el principio de prudencia ante lo desconocido (consecuencias), la falta de dimensión de los posibles daños, (ausencia del análisis de riesgos y de consenso sobre su entidad), la facilidad de la generación de monopolios globalizados (tema crucial en la administración de la comunicación que se liga indisolublemente con la educación) el probable incremento en la desprotección de los excluidos (por carencia de base formativa mínima y/o de infraestructura de conectividad) y la creación de situaciones generalizadas de desempleo, por sustitución, sin red alguna de protección.

Todo está directamente relacionado con los peligros de los avances científicos que no han estudiado previamente a fondo sus consecuencias indirectas, asociadas, derivadas, imprevisibles e inesperadas, en base al análisis de riesgo. Aún peor, ante la falta de consenso sobre la definición del riesgo, y sus implicancias para deter-

minadas culturas donde las amenazas pueden ser oportunidades y las debilidades, fortalezas, la elasticidad de límites éticos a la investigación y aplicación de la inteligencia artificial, puede, simplemente, no tener contornos físicos desde el punto de vista del riesgo.

El mundo tecnológico actual y proyectado puede verse como un sistema global de dominio sobre la naturaleza y sobre la sociedad; una red de sistemas digitalizados que interactúan incrementando la complejidad de las interrelaciones y el alcance espaciotemporal de sus efectos, gobernado por las tecnociencias aparentemente uniformes. En esta trayectoria uniforme se cruzan las coordenadas de la eficiencia con las de la individualidad y el punto óptimo de encuentro es dinámico, ya que al final dependerá de la ubicación del concepto de la totalidad.

Repensar las condiciones y estructuras del mundo tecnológico en el que vivimos está vinculado a su origen. Si su racionalidad se alimenta del imperativo tecnológico de transformación y dominación de todos los objetos naturales, se puede entrar en un proceso similar a la fagocitosis en busca de la supervivencia sin respetar las incógnitas. No obstante, como en el origen del desarrollo está la actividad humana, todos los proyectos tecnológicos pueden ser reorientados o modificados si implican riesgos desconocidos para la naturaleza y para la vida humana. El desconocimiento de los efectos de la aplicación sin límites del ejercicio del conocimiento resulta entonces un argumento esencial para este debate y, al mismo tiempo, es el disparador para construir una ética común para el mundo tecnológico.

Es posible encontrar en el ámbito de la filosofía los mayores argumentos para encarar una ética para la inteligencia artificial. Y ellos están en la certeza de que la conciencia es parte del sujeto. El parangón con la conciencia como gran buscador de la verdad, puede que llame a confusión, porque una máquina podría programarse en igual sentido para determinados objetivos. Sin embargo, la conciencia conlleva en sí misma la dimensión infinita de objetivos. El espíritu se manifiesta a través de modalidades y tonalidades sin límites: la creatividad, los inacabables tonos de la pasión; la alegría; la congoja; el amor; la envidia; la tristeza; el entusiasmo; la desesperación; la fé y la tenacidad, son ejemplos al azar que pueden afectar, sin duda, las decisiones de la mente. Cabe recordar, en esta instancia, que el cerebro humano a través de las redes neuronales biológicas, destina la mayor parte de su capacidad a tratar y procesar información interior afectada por el innumerable conjunto de estados de ánimo, y solo utiliza un mínimo para procesar información externa.

Si la conciencia es la estructura que da pie a la ética, comprendiendo a ésta como el conjunto de valores vinculantes, normas inalterables y actitudes internas fundamentales personales que pertenecen al ámbito interior del hombre y que toman sentido en la esfera de la conciencia moral, que es inalcanzable por las leyes humanas hasta ahora, resulta lógico posible pensar que el terreno de la conciencia no es alcanzable por la máquina.

Esta conclusión, a la que se puede llegar con diferentes procesos de razonamiento, puede tener sus detractores que tratarán de demostrar lo contrario, pretendiendo que una máquina puede tener conciencia; es decir, puede tener espíritu; o negar que el espíritu sea parte de la naturaleza humana.

En materia científica es extraordinariamente difícil poner límites precautorios a la investigación, salvo que esté en juego la ruptura de límites naturales con incalculable gama de inciertas consecuencias o la disrupción de los equilibrios universales socioculturales sin remediación, al menos, en tiempos perceptibles.

No puede desconocerse el estímulo a la inteligencia humana que pueden significar la interacción con los superordenadores ni tampoco la extensión de la capacidad humana para encarar y resolver complejíssimos problemas que presenta el funcionamiento de la naturaleza. Y tampoco puede olvidarse el extraordinario estímulo que la adrenalina ejerce cuando deriva de la especulación. Ello forma parte del debate, como también lo es el escepticismo moral que pretender neutralizar la responsabilidad ética, o transformar a la conciencia en una definición vacía de contenido. Volvemos por ello entonces a referirnos a los dos grandes componentes de la naturaleza humana: la inteligencia que abreva de la razón y la sabiduría que abreva del espíritu y del modo que la historia de la existencia se ha incorporado en cada ser. Podría hablarse, en otras palabras, del ADN cultural de cada ser humano.

Aunque podrá persistir la duda sobre la auto represión, o auto censura preventiva, es responsabilidad del hombre ser lo suficientemente sabio para orientar el uso de la inteligencia artificial para bien de la comunidad mundial e impedir su abuso que solo aportará daños desconocidos a la propia vida. Una visión de que es posible una Ética Global en la Inteligencia Artificial, se basará en el entendimiento que solo la conciencia individual es la que guía las conductas bajo el principio universal de la unidad entre existencia humana y conciencia, dada la interdependencia entre todos y la conclusión de que, como individuos, somos responsables de todo lo que realizamos.

La tecnología de avanzada aplicada a la actividad bélica ha encontrado sus propios límites por la mera supervivencia del género humano. Ocurrirá sin duda lo mismo con la inteligencia artificial en sus diferentes campos de desarrollo, cuando la ética se incorpore al debate permanente en los avances, anteponiendo la sabiduría a la ciencia.

La inserción del avance tecnológico y la Inteligencia Artificial en nuestras vidas.

La responsabilidad está referida a una característica específicamente humana: “la capacidad y la obligación asociada a ella de hacernos cargo de las consecuencias de nuestras acciones”. “Un objeto artificial diseñado por el hombre es una respuesta a un problema práctico”, pero no debe olvidarse que el artefacto diseñado está dirigido a los usuarios e inspirado en los usuarios. Para ello, debe tener presente que: “Todo diseño novedoso constituye una presencia inquietante para el usuario”, consecuentemente, “en el diseñador recae la responsabilidad de lograr que la tecnología y los humanos convivan pacíficamente”.

La tecnología debería permitirnos controlar la realidad sin perder el control de nosotros mismos, o sea lograr que sus productos se inserten de forma armoniosa en nuestras vidas. Cuándo un sistema cibernético cumple con su propósito de “regular un proceso”, ¿está realizando una acción tecnológica? De acuerdo con nuestros criterios actuales deberíamos responder que no, ya que el sistema no hace una reflexión sobre su acción y no puede modificarla gracias a los resultados de esa reflexión. Pero ¿qué sucede con los sistemas inteligentes que sí pueden hacer algunas de esas cosas?

Muchas de las tecnologías tradicionales y algunas de las contemporáneas, pueden ser consideradas como originadas en intentos sucesivos y exitosos por extender el alcance de los medios físicos del hombre como ser biológico (robots), o aún de reemplazar mediante órganos artificiales algunas habilidades percibidas en otras especies y de las cuales carecemos o habilidades perdidas por ejemplo en la amputación de un miembro.

A lo largo de la historia hemos progresado, de aumentar el alcance de nuestros miembros y la fuerza de nuestros músculos a reemplazarlos paulatinamente por herramientas y fuentes de energía extrahumanas. Luego hemos reemplazado nues-

tros sentidos por sensores, y, finalmente, nuestro cerebro por sistemas cibernéticos llamados “sistemas inteligentes” o “sistemas con inteligencia artificial” (robots inteligentes y otros sistemas).

Heidegger describe a la Tecnología como una acción que va mucho más allá de lo meramente instrumental (ámbito en el que se la suele colocar). Ortega dice que el sistema tecnológico ha sido creado para facilitarnos las cosas y que logra hacerlo. Pero también dice: Desde que nos reconocemos como humanos, debemos hacer aquello que es nuestra obligación ética. Heidegger llega a la conclusión que éste es a la vez no sólo el mayor peligro al que estamos expuestos, sino el peligro por antonomasia. Este peligro consiste en que el humano avance cada vez más en su camino a ser un insumo adaptado a este nuevo mundo, el de lo artificial creado por él mismo, pero que ya no controla, y queda prisionero de él. Aún más, el sistema tecnológico que nos engloba tiende a hacérsenos invisible. Hay tantas cosas del mundo tecnológico a las que nos hemos acostumbrado, que sólo las percibimos cuando nos faltan. Una de las consecuencias del predominio actual del mundo tecnológico sobre el mundo natural es que somos cada vez más dependientes de los productos de la tecnología moderna (tecnoddependencia).

A la vez, la Tecnología se ha complicado de tal modo que la inmensa mayoría de los humanos ya no la comprende y se ven reducidos a una postura comparable a la de un salvaje, que ante los fenómenos de la naturaleza –que no controla, pero que determinan su vida– toma una actitud de reverencia, desconfianza y rencor. Es importante destacar aquí la falta de límites en lo que Heidegger y otros críticos de la tecnología contemporánea perciben como una invasión de la Tecnología a aquellos ámbitos donde no debería reinar soberana.

La inteligencia artificial tiene una potencialidad inmensa para estar presente en la mayoría de las actividades humanas. Estamos en presencia de un cambio profundo, pues se estima que en 2025 el 80% de las personas tendrán presencia digital en internet y estarán conectadas en el mundo a través de más de un billón de sensores (Schwab, 2016). Intentando dar una visión simplificada de su impacto, hemos elegido algunas áreas de interés para ejemplificar las aplicaciones existentes y futuras de la inteligencia artificial y a la vez mostrar la verdadera dimensión del desafío que ésta representa para la ingeniería que tenemos como país y para nuestra sociedad.

La inteligencia artificial es más que una nueva ola tecnológica. Es una combinación de capacidades de predicción, diseño y aprendizaje que debería lograr aumentos de productividad a ritmo exponencial en muchos sectores de la producción

de bienes y servicios. Por ejemplo, en la agricultura el reconocimiento de imágenes aplicadas en equipos de fumigación selectiva puede lograr incrementos de un 30% de los rendimientos por hectárea. En la industria automotriz, la demanda de nuevas fuentes energéticas en reemplazo de los motores de combustión, junto con las capacidades predictivas, otorgando autonomía y seguridad, son demandas concretas de inteligencia artificial para el rediseño de los móviles del futuro, que se convertirán en máquinas digitales dejando obsoletas las mecánicas del pasado. El Parlamento Europeo, ya ha aprobado la incorporación de vehículos autónomos a partir de 2030 y ha previsto en su desarrollo hasta seis niveles de autonomía, donde el grado cero corresponde a los autos actuales y uno a los que ya incorporan funciones como estacionamiento inteligente. Gracias a la inteligencia artificial, estamos en las proximidades, de una nueva revolución en la movilidad.

Los pronósticos basados en redes neuronales artificiales (RNA) permiten mejoras de hasta 300% de la capacidad predictiva en el mercado de commodities agrícolas, dejando atrás los tradicionales modelos econométricos.

La inteligencia artificial es la impulsora de una “*automatización inteligente*” aplicable en casi todas las industrias basadas en tres condiciones complementarias. Primero, la de automatizar tareas complejas de carácter físico que requieren adaptabilidad, agilidad y aprendizaje, por medio de la robotización. Segundo, la capacidad de resolver problemas en base a la asistencia de bots conversacionales (Chatbots) (*) como asistentes virtuales en línea de consultas para operarios y empleados.

(*) **Bot conversacionales (Chatbots):** Aplicaciones de software que surgieron en los años 60, y que simulan mantener una conversación con una persona al proveer respuestas automáticas previamente establecidas por un conjunto de expertos a entradas realizadas por el usuario.

Tercero, con la característica más poderosa del autoaprendizaje, en base a la repetitividad y la identificación de patrones de evolución de variables y el uso de redes neuronales, como ya ocurre en las líneas de producción alimenticia y en la industria farmacéutica.

Una condición muy diferenciadora de la automatización inteligente es que a diferencia de la automatización tradicional que se degrada en el tiempo, ésta puede mejorar constantemente por su capacidad de aprendizaje. Por ello ya se define que el valor de la inteligencia artificial es equivalente a un nuevo factor de producción que se adiciona a los ya tradicionales del capital y el trabajo. Por esta condición, en el futuro las máquinas que puedan completar tareas cognitivas serán más importantes que las que puedan lograr tareas físicas (Brynjolfsson, McAfee, 2014)

El comercio digital es una consecuencia de la mayor y más rápida conexión entre individuos y grupos, junto con la rápida difusión de la conectividad y el intercambio de información que ha permitido un incremento de las opciones y alternativas de comercialización junto con un aumento de la transparencia de las transacciones. Estos factores con refuerzo de aplicación de la inteligencia artificial, tienen impacto significativo en los modelos de negocios y en los canales de comercialización.

La inteligencia artificial profundiza las tendencias en los patrones de comercio internacional con cambios en las cadenas globales de valor, los flujos de comercio e inversión y la logística internacional. El análisis de los enormes flujos de datos de intercambio comercial, posiciones arancelarias, normas técnicas y sanitarias impulsa nuevas estrategias que pueden promover negociaciones que dan distintas oportunidades de negocios a ciertos productores y a la vez generan mejoras de agregado de valor.

Los sistemas de recomendación son sistemas de filtrado de información que se alimentan de datos provenientes de los consumos masivos de los usuarios (música, películas, libros, noticias, imágenes, otros) y permiten una personalización automatizada de los sitios en línea con el comercio electrónico, lo que busca aumentar las ventas y la fidelización del cliente. Dos casos exitosos globales son Amazon y Netflix, sirven de ejemplo para entender su extensión a todo tipo de modelo de negocios, donde la masividad y la selectividad son factores esenciales en aplicaciones complejas de inteligencia artificial.

Otra aplicación significativa de la inteligencia artificial en el comercio es la asistencia y atención al cliente en base a los asistentes de voz. Dentro de estas tecnologías, los chatbots (bots conversacionales) han probado alta efectividad, con simulaciones y frases que permiten mantener una charla con cierta estructura lógica, que le otorga realismo para indagar preferencias y proponer alternativas u ofertas para la adquisición de productos y servicios.

Otro campo importante en los procesos comerciales, complementario al comercio electrónico es la asistencia automatizada de reclamos, en base a desarrollos por aplicación de la inteligencia artificial que se acercan a la interacción humana y permiten la creación de patrones de análisis y respuestas, generando retroalimentaciones a los procesos con mayor efectividad que los humanos.

Ante los avances exponenciales de la tecnología, la educación muestra cambios lentos y en evolución lineal. En la sociedad actual hay un desafío clave ¿Cómo no quedarse atrás de la evolución tecnológica? La incorporación de la inteligencia artificial en los servicios de educación permite cambiar la lógica preexistente al proveer de elementos para acelerar el proceso cognitivo y personalizado de cada alumno, teniendo en cuenta sus estilos de aprendizaje, sus perfiles psicosociológicos y sus motivaciones particulares. Hay dos tipos de ayudas aplicadas en la educación, los sistemas tutoriales para el alumno y los sistemas instruccionales para el docente (*BID, Beliz*, 2018). Un ejemplo de ello son las plataformas de aprendizaje adaptativo, que pueden detectar las necesidades de cada alumno y proveer de textos individualizados adaptados a ellas, con registro de sus avances y evaluaciones personalizadas. Knewton, Carnegie learning, Learn Smart son ejemplos existentes hace más de 10 años, con mejoras permanentes en los recursos didácticos y alcance global. Su combinación con “*learning management systems*” como Moodle y Black board entre otros, da origen a una distinta conceptualización de la educación del futuro, ya aplicadas en las instituciones más avanzadas del mundo, transformándose en ayudas efectivas al docente.

La inteligencia artificial ha transformado la lógica lineal educativa de la “cadena de montaje de conocimientos” en una lógica adaptativa, más adecuada a las características de cómo se desarrollan los procesos de aprendizaje en las personas. Los resultados de las mejoras del aprendizaje van tardando en su cuantificación, pero es indudable que estamos en un fértil campo de transformación. El entrenamiento docente en el mundo ya se enfrenta con una gran disrupción y un desafío inevitable si se desea cerrar la brecha existente.

En el campo de la salud, el impacto más notable de la inteligencia artificial se ha producido en un inicio al mejorar el diagnóstico en base al análisis predictivo por medio del reconocimiento de patrones provenientes de imágenes. En un paso siguiente la incorporación de redes neuronales en los últimos años ha incrementado las posibilidades de disponer de medicina de precisión para atender terapias oncológicas personalizadas, como resultado de conocer la genética de cada paciente.

Consulta, diagnóstico e intervención, como actividades centrales de todo médico encuentran en las herramientas de computación cognitiva de la inteligencia artificial, un campo fundamental para ayudar a atender la compleja problemática de la salud y ha dado origen a una de las ramas más prometedoras de la ingeniería a

través de la “*bioingeniería*”. Sin dudas esta será el área de mayor impacto humano de la inteligencia artificial, permitiendo nuevos criterios de prevención y atención de la salud de las personas.

El sector público en sus áreas de gobierno es un campo muy apto para aplicaciones de inteligencia artificial. No solo para reducir los costos de transacción burocrática, sino también para acelerar y mejorar la calidad de las decisiones de sus trámites. Los ejemplos son numerosos en el mundo y ya empiezan a estar presentes en el país.

Las aplicaciones encontradas son las de procesamiento del lenguaje natural para la conversión de información no estructurada (textos) en estructurada (tablas), la clasificación automática de documentación, el monitoreo de imágenes satelitales para registros catastrales, fiscales y de obras; vigilancia de seguridad y de rutas, validación de registros biométricos, modelización predictiva de servicios y recursos, detección de fraudes, diseño de políticas públicas en base a patrones de comportamiento. Con este amplio número de oportunidades ponemos en evidencia que la transformación digital permite imaginar criterios de “*gobierno inteligente*”, donde la inteligencia artificial es la tecnología para lograr estados más eficientes y de mejor servicio a la comunidad.

Los robots

Un robot es una entidad virtual o mecánica que en los casos en que capta información y que procede en base a ella, entra en la categoría de inteligencia artificial. En la práctica, por lo general es un sistema mecatrónico que, por su apariencia o sus movimientos, ofrece la sensación de tener un propósito propio.

Tipos de robots

- Robots domésticos o del hogar.
- Robots médicos (por ejemplo los robots empleados en cirugía).
- Robots para aplicaciones militares (desactivación de bombas, transporte, aviones de reconocimiento, drones especializados en la búsqueda y rescate de personas, etc.).
- Robots de Entretenimiento.
- Robots espaciales (por ejemplo, los utilizados en las naves espaciales, en la estación espacial internacional, en los vehículos a Marte y otros).

- Robots para Educación (utilizados para enseñar robótica, robots que son solo para el ámbito del aprendizaje).
 - Robots Humanoides (robots con aspecto humano que realizan tareas de seres humanos, incluso expresando emociones).
 - Nanorobots (serán utilizados el futuro para la cura de las enfermedades humanas ya que podrán actuar desde dentro del organismo).
- . Robots empleados en la industria
 - . Robots humanoides. Son robots con aspecto humano que realizan tareas de seres humanos, incluso expresando emociones.
 - . Robots espaciales

Los androides son robots humanoides, contruidos para parecerse estéticamente a los humanos. Los robots humanoides actualmente son usados como herramienta en investigaciones científicas.

Ejemplos concretos de aplicación de inteligencia artificial

1. Los asistentes de voz

Se trata de máquinas que utilizan el procesamiento de lenguajes naturales para interpretar qué es lo que se les está comunicando y, de este modo, poder responder a nuestros requerimientos, ya sea en forma verbal o mediante la ejecución de una acción concreta.

2. Los Smartphones

Los smartphones son otro buen ejemplo de máquinas que utilizan inteligencia artificial de forma constante. Cuentan con un asistente de voz que responde a las peticiones humanas, aunque la integración de la inteligencia artificial en los smartphones va mucho más allá, y está presente en multitud de acciones que ni siquiera percibimos. Por ejemplo, cuando seleccionamos el modo retrato de la cámara de fotos, es el propio celular el que mejora la foto de manera automática para que salgamos lo más favorecidos posible. Eso también es fruto de la inteligencia artificial.

3. El análisis de hábitos

Otro de los ejemplos de inteligencia artificial que nos acompaña a todas partes es la que se ocupa de analizar los datos que producimos de forma continua y que permiten conocer nuestros hábitos. Gracias a la combinación de tecnología Big Data y de inteligencia artificial, se pueden analizar los hábitos de consumo de cada persona, lo que además ofrece unas ventajas muy interesantes. Se puede así ofrecer contenido personalizado, de uso muy extendido en publicidad vía Internet, pero también es vital a para luchar contra el fraude digital en el sector bancario, el financiero o el de las aseguradoras.

4. Cirugía

Gracias a la inteligencia artificial, las máquinas inteligentes, algunas de enorme precisión y complejidad, colaboran hoy día con los médicos y cirujanos en mejorar los diagnósticos, hacer más rápidas y seguras las intervenciones quirúrgicas y reducir el tiempo de recuperación postoperatorio. Incluso las máquinas han adquirido hoy una cierta autonomía ya que pueden seguir un protocolo predefinido basado en el aprendizaje a través de imágenes médicas.

Argentina no está al margen de estas aplicaciones de la inteligencia artificial. Nuestro país cuenta con tres robots Da Vinci operativos: uno en el Hospital Italiano de Buenos Aires, otro en el Hospital Churruca-Visca y el tercero en el Hospital Madariaga en la provincia de Misiones. Las intervenciones más habituales son: el tratamiento del cáncer de próstata y de afecciones urológicas, ciertos casos de ginecología, cirugía general, cirugía oral y maxilofacial, cirugía pediátrica, cirugía torácica o cirugía cardíaca.

Un consorcio de investigación de cuatro universidades¹ europeas está enfocado en el desarrollo de un nuevo robot quirúrgico capaz no sólo de ‘ver’ sino de ‘oír’, de tener tacto e incluso olfato. Un robot capaz de unir inteligencia artificial y sensibilidad física, con sentidos superiores a los de los humanos, es indicativo de los avances que se prevén lograr en un futuro cercano.

5. *La Optimización de rutas*

La inteligencia artificial usada para la optimización de rutas a través del GPS u otros elementos, cumple un papel clave en el sector de la logística. Diariamente mediante estas inteligencias artificiales se optimizan los desplazamientos de miles de vehículos a partir de la combinación de un sinnúmero de datos, como los geográficos, los relativos al entorno del móvil que se está desplazando, las condiciones meteorológicas y la información relativa al tráfico. De hecho, gracias a aplicaciones como éstas, se pueden planificar y diseñar las rutas de reparto de una manera más eficiente, optimizando los recursos disponibles, brindando un mejor servicio a los clientes y reduciendo el consumo de combustible con todo lo que ello representa para la sociedad y el medio ambiente.

6. *En el campo doméstico*

La automatización de funciones en nuestro hogar es una evolución de la inteligencia artificial que hoy no está tan difundida como los Smartphone pero que existe y cada vez será más común. Desde entrar por la puerta y que se encienda la luz del palier, que la cafetera nos haga un café todos los días a la misma hora o que las persianas se suban y bajen solas según detecten los rayos de sol es una tendencia que va en aumento y que dentro de unos años será frecuente encontrar en la mayoría de las viviendas.

¹ En este proyecto de investigación internacional llamado FAROS (Functionally Accurate Robotic Surgery) intervienen cuatro universidades: KU Leuven en Bélgica, que está coordinando el proyecto e impulsando el trabajo en la detección no visual; la Universidad de la Sorbona en París, con una importante participación en la robótica a través del laboratorio ISIR (Instituto de Sistemas Inteligentes y Robótica); el King's College de Londres, que lidera el desarrollo de la inteligencia artificial; y el Hospital Universitario Balgrist de Suiza, que trabaja interdisciplinariamente en aspectos relacionados con robótica, informática e investigación clínica.

Las plataformas de streaming musical como Spotify o iTunes, entre las más conocidas, usan inteligencia artificial para recomendar contenidos. Identifican tus preferencias musicales según lo que hayas reproducido hasta el momento, y te ofrecen canciones similares según el estilo o la duración. Otro tanto ocurre en el plano audiovisual con Netflix que hace que tu interfaz te muestre de forma personalizada series y películas que probablemente te gusten, porque has seleccionado antes obras similares.

7. *En hidrología: Pronóstico de caudales para la operación de embalses*

Dado que los modelos de redes neuronales artificiales (RNA) son capaces de reproducir cualquier relación no lineal entre diferentes variables que describan un determinado proceso, durante las dos últimas décadas han sido empleados con éxito en hidrología para modelizar procesos como el de lluvia-escorrentía o el de propagación de ondas de crecida en un río.

En realidad las RNA no son muy diferentes a los modelos estadísticos de series temporales estocásticas de tipo auto regresivo (ARMA) históricamente utilizados para pronóstico, pero son más valiosas por su flexibilidad de implementación y por ende más adecuadas para la predicción dinámica de caudales porque los pesos asociados con los parámetros de las entradas al modelo pueden ser actualizados cuando se dispone de nuevas observaciones. Entre las múltiples ventajas de las RNA pueden citarse: la complejidad del modelo puede ser modificada con sólo cambiar la función de transferencia o la arquitectura de la red, son rápidas de construir y necesitan realizar menos pruebas con los datos de entrada. Tampoco es necesario conocer la distribución estadística de dichos datos y la no estacionariedad de éstos es tenida en cuenta implícitamente por la estructura no lineal de la red. Las RNA tienen la habilidad de determinar qué entradas del modelo son críticas, por lo que no es necesario el conocimiento previo de la relación entre las variables a modelar y finalmente, son relativamente poco sensibles a los datos con ruido.

En Argentina los modelos de RNA han utilizados en el río Uruguay por la CTM para la operación del embalse de Salto Grande logrando un error relativo absoluto del 5.58%. Los análisis de correlación entre valores observados y pronosticados indicaron que los datos de entrada de niveles tienen mucho mayor peso que los datos de lluvias y las evaporaciones, o lo que es equivalente a afirmar que el modelo presentó mayor habilidad para pronosticar cuando no se producen lluvias, lo cual es esperable.

La Facultad de Ingeniería de la UNSJ ha utilizado también modelos de RNA para el pronóstico de caudales en ríos de cordillera, algunos de régimen hidrológico pluvionival como lo son las cuencas del Río Maule, en Chile, y las de los ríos Limay y Neuquén en Argentina, y para cuencas de régimen puramente nival como lo son las cuencas del Río San Juan y la del Río Huasco, en la región de Atacama de Chile, todos ellos con muy buenos resultados.

8. Optimización de las redes eléctricas - Smart Grids

Las redes eléctricas son cada vez más descentralizadas y digitalizadas. Eso hace muy difícil gestionar un número cada vez mayor de participantes manteniendo en simultáneo la estabilidad de la red. Las smart grids, o redes inteligentes, además de electricidad, transportan datos y en el caso tener que operar con energías de fuentes interrumpibles, como son la solar y la eólica, es de suma importancia mantener el equilibrio entre demanda y generación de energía de un modo efectivo. Para poder tener plena garantía de suministro es necesario analizar un enorme flujo de datos que son transmitidos por la red y que el Centro de Control recibe en tiempo real. La inteligencia artificial tiene en esa tarea un rol fundamental que la vuelve insustituible.

Conclusiones sobre el impacto de la inteligencia artificial en la Ingeniería.

Hemos querido mostrar la amplitud de aplicación de la inteligencia artificial y su importancia como tecnología transversal en el desarrollo de una sociedad.

Actualmente ya se incluyen estudios de inteligencia artificial en varias Universidades y varias instituciones dedican esfuerzos para utilizarla en sus actividades.

Los servicios de procesamientos digitales de diversa naturaleza constituyen actualmente un volumen importante de actividad, incluyendo una apreciable cantidad de servicios digitales que se exportan. En el ámbito específico de la Ingeniería, si bien la inteligencia artificial se ha extendido, está todavía esperando para ser desarrollada intensamente en numerosas actividades. La inteligencia artificial puede tener notable aplicación en numerosos sectores de la ingeniería. Hemos citado unos pocos casos a título de ejemplos: logística para el transporte, transporte urbano, desarrollos urbanísticos, planificación de servicios, integración de los diferentes sistemas energéticos (de electricidad, gas, petróleo, almacenamientos de energía) con desarrollo integrado de energías renovables. Es de hacer notar que en el ámbito de comercialización, se han logrado avances notables, como es el caso de los llamados Unicornios generados en Argentina.

La pandemia ha abierto un enorme cúmulo de necesidades y de capacidades desaprovechadas, para las cuales la inteligencia artificial podría ser de gran utilidad para mancomunar las diferencias con propósitos comunes.

Los herederos de Kalibang. Robots y máquinas pensantes en la literatura argentina.

Pablo De Santis

Desde los tiempos de Herón de Alejandría, los autómatas hechizaron a sus espectadores. Con más imaginación que certeza, se han atribuido cabezas parlantes y cosas parecidas a Alberto Magno, a Leonardo Da Vinci, a René Descartes. El siglo XVIII fue fértil en artificios mecánicos, gracias a Jacques de Vaucanson, Friedrich von Knauss y Pierre Jaquet-Droz, capaces de enseñar a sus criaturas a tocar el piano o a escribir algunas palabras. Luego los andróides entraron en la literatura. Entonces se descubrió que la idea de confundir humanos y máquinas no era solo feliz invención, sino motivo de espanto. Cuando Nathanael, el protagonista de “El hombre de arena” de E.T.A. Hoffmann, se enamora de una autómatas a la que confunde con una mujer, el resultado es la locura. Tan terrible es esta ilusión que le sirvió al psiquiatra alemán Ernst Jentsch para definir la idea de lo siniestro, que luego completó Sigmund Freud en un artículo memorable. En el siglo XX, el escritor de ciencia ficción Philip K. Dick llevó la pregunta por los andróides a un nuevo nivel de pesadilla: si una máquina imita a la perfección a un ser humano y tiene una memoria artificial, entonces también nosotros podríamos ser máquinas que creemos ser humanos y nuestra vida entera podría ser una ilusión.

Desde muy temprano la literatura argentina recibió la visita de los robots. En 1879 Eduardo Ladislao Holmberg, médico, naturalista y escritor, publicó “Horacio Kalibang o Los autómatas”. Es un cuento de estructura algo atolondrada: se nota en Holmberg un interés mayor por las ideas que por el desarrollo dramático. Pero el relato no ha perdido interés, porque juega con la posibilidad de que un robot pueda pasar por un humano, hasta engañar los ojos de los testigos: muchos años después Alan Turing propondría una prueba similar para dar por aprobada la inteligencia artificial. Kalibang no solo es una perfecta imitación del movimiento humano, sino del pensar. Su inventor, Oscar Baum, lo define así: “Aunque con forma de hombre, es un libro”. Baum –que se propone a sí mismo como un competidor de Thomas Alva Edison– agrega a su firma su oficio: “fabricante de autómatas”. La palabra

“robot” recién aparecería en 1920, cuando el escritor checo Karel Capek estrenó su obra *R.U.R (Robots Universales Rossum)*. Oscar Baum es un convencido materialista: si puede imitar las operaciones de la mente es porque el cerebro es una máquina. “¿Qué es el cerebro, sino una gran máquina, cuyos exquisitos resortes se mueven en virtud de impulsos mil y mil veces transformados? ¿Qué es el alma, sino el conjunto de esas funciones mecánicas?”

También Leopoldo Lugones quedó hechizado por las posibilidades de la temprana ciencia ficción. En los relatos de *Las fuerzas extrañas* (1906) conviven historias en las que lo prodigioso llega de la mano del mito y la leyenda (“Los caballos de Abdera”, “El escuerzo”, “La estatua de sal”) con otras piezas que deben sus rarezas a la biología, a la física y a la botánica. Los más divulgados en las antologías –con justicia– son “Yzur” (sobre el intento de un científico de enseñarle a hablar a un mono) y “Un fenómeno inexplicable”, protagonizado por una especie de Doctor Jekyll criollo. La palabra “inexplicable” no debe hacernos pensar que los sabios locos de Lugones evitan hablar de sus inventos: por el contrario, las explicaciones abundan.

Estas fábulas científicas narran en general el encuentro del narrador de turno con un científico obsesionado con su descubrimiento. La capacidad imaginativa de Lugones es inagotable: “La fuerza Omega” nos habla de un pequeño aparato que convierte el sonido en una fuerza mortal. En “La metamúsica”, un inventor encuentra en la música la clave del universo y así transforma el sonido en luz. En “Viola Acherontia”, un botánico intenta producir una violeta negra y venenosa. Pero es “El Psychon” el cuento donde máquinas e inteligencia se unen. El aparato llamado Psychon permite convertir los pensamientos en una especie de gas, inclusive las distracciones, el fantaseo, el sinsentido. El doctor Paulin propone al narrador: “Mañana intentaremos una experiencia: licuaremos el pensamiento. (...) Después calcularemos si es posible realizar su oclusión en algún metal, y acuñaremos medallas psíquicas. Medallas de genio, de poesía, de audacia, de tristeza...”.

Si se puede hablar de una ciencia ficción argentina es sobre todo gracias a la obra de Adolfo Bioy Casares, pródiga, como la de Lugones, en avances científicos. Aquí la tecnología tiene una misión melancólica: el regreso a una mujer perdida o un momento de felicidad pasada. En *La invención de Morel* (1940), una máquina permite conservar la apariencia de la vida y construir en una isla un paraíso artificial. Un naufragio llega hasta esa isla y se esconde de la pequeña comunidad que forman el inventor Morel y sus amigos, hasta que descubre que no son personas reales sino un desfile de fantasmas. Como no hay modo de entrar en el mundo de Morel sin morir, nos queda la duda de si esos espectros tienen conciencia o son una mera simulación de movimiento y pensamiento.

También en “Los inmortales”, uno de los cuentos de Honorio Bustos Domecq (seudónimo que Bioy Casares y Jorge Luis Borges usaban para sus colaboraciones), la cibernética es un modo de perpetuar la vida. El narrador –el mismo Bustos Domecq– visita al gerontólogo Narbondo: en la sala de espera observa cuatro extraños muebles, cubos de madera con una rejilla de la que salen gemidos o palabras incomprensibles. Luego se entera de que esos prisioneros son inmortales: pacientes reducidos a cerebro y máquina. Narbondo le informa: “Cada Inmortal está reconfortado por la certidumbre, que nuestra empresa le garante, de ser un testigo para *in aeterno*. El cerebro, irrigado noche y día por un sistema de corrientes magnéticas, es el último baluarte animal en el que todavía conviven rulemanes y células”. El narrador se apura a huir de tan espantosa inmortalidad.

A fines de 1960 llegó la primera computadora a la Argentina gracias a las gestiones de Manuel Sadosky, entonces vicedecano de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Tal vez fueron las arduas disposiciones técnicas y arquitectónicas que exigió la instalación de Clementina (un modelo Mercury de la firma británica Ferranti) las que inspiraron a Marco Denevi su cuento “Boroboboo”, incluido en su extraordinario libro de prosas breves *Falsificaciones* (1966). Este cuento es un regreso a los orígenes de la ciencia ficción: la sátira. “Boroboboo” comienza como una fábula: los animales viven felices en el bosque, hasta que llega un mono, un enviado de la lejana Ciudad de los monos, para proponerles la instalación de una computadora. Aceptado el invento, se entrena a los animales encargados de manejarla, se talan bosques, se aniquila el paraíso. “Los animales ya no trabajaban, no jugaban ni reñían, ni hacían nada sino estudiar el manejo de la máquina. Vivían para la máquina. Vivían esperándola, soñándola”. Es curioso que en este cuento de ambiente de fábula Denevi incluyera la conciencia de que existe un lenguaje de programación, cuando esas nociones eran algo muy lejano para el común de la gente. Y Denevi inventó la jerga técnica de Boroboboo: “Decía el Mono: Código de bifurcación, subrutina abierta, lectura por carrete. Restaurar los ceros y reubicar los dígitos. Todos a MGM absoluto. *Stop*”.

También la poesía pensó la cibernética: en los versos de *El poema de Robot* (1966) de Leopoldo Marechal se narra la construcción de una especie de golem. El autor ve la tecnología como un camino hacia la alienación: “El hombre que construye a Robot/ necesita primero ser un Robot él mismo (...)”. En el poema, los conceptos de memoria e inteligencia quedan severamente enfrentados. Se concibe a Robot como un archivo inagotable, pero desprovisto de verdadera inteligencia y de voluntad:

“En rigor, era nulo su intelecto
y ajena su terrible voluntad.
Pero Robot, mirado en sus cabales,
era un hijo brutal de la memoria,
y un archivista loco, respondiendo a botones
o teclas numerados por la triste cordura”.

En el mismo año (1966) en que se publica el poema de Marechal, aparece *El sentido de la ciencia ficción* de Pablo Capanna, como parte de una serie de breviaros de la editorial Columba. Es el primer ensayo en español dedicado a su tema y uno de los primeros en el mundo. Capanna, entonces un muy joven profesor de filosofía, traza en este libro un panorama mundial de la ciencia ficción y a la vez descubre sus orígenes en Platón, en Luciano de Samosata, en Voltaire. Según su mirada, la ciencia ficción comienza con el mito de la Atlántida que encontramos en *Timeo* y en *Critias*, porque Platón es el primer pensador que emplea “mitos contruidos *ad hoc* para demostrar principios establecidos por medio de la dialéctica”. En cuanto a los androides, tan abundantes en la literatura y en el cine, Capanna no ve en ellos sino un regreso al mito: “La forma humanoide sería totalmente innecesaria para una perfecta funcionalidad, de modo que la subsistencia de un mito de este tipo, entroncado con los ‘homúnculos’ de la alquimia y el Golem de la tradición, viene a llenar una necesidad espiritual más honda. Es una personificación de la máquina, una especie de patrono de la técnica, un rostro al que se puede dirigir una interrogación”. Marechal veía como Robot deshumanizaba al hombre. Capanna ve en el hecho mismo de imaginar un androide el movimiento inverso: la humanización de la máquina.

Hace poco leí un artículo periodístico sobre la posibilidad de que las computadoras escribieran novelas, si se las programara para ese fin. Lo cierto es que ya desde fines de los años cincuenta se les propuso a las máquinas la escritura de poemas, con suerte dispar. En 1959 el alemán Theo Lutz, un estudiante de filosofía y de matemáticas, creó un programa para generar poesía con ayuda de su profesor Max Bense. Alimentaron a la computadora Zuse Z22 con las primeras páginas de *El Castillo*, de Franz Kafka, para que esas líneas fueran la base de su vocabulario. En su libro *Poemas plagiados* (2000), Esteban Peicovich recogió uno de aquellos poemas cibernéticos:

“No toda mirada está cerca
ninguna aldea es tarde
un camino es bueno
todo conde es ligero
tampoco toda iglesia es furiosa”.

Seamos piadosos: la Zuse Z22 recién se estrenaba como poeta. Pero las máquinas-escritoras pronto pasaron a la ficción. En *La ciudad ausente* (1992), Ricardo Piglia imaginó una relación semejante entre cibernética y narración: en el centro de la novela hay una especie de primitiva computadora entregada a la tarea de narrar sin pausa. Está instalada en un museo, sobre una tarima, y sus historias circulan en forma clandestina por la ciudad. Se la llama en la novela “la máquina de Macedonio” porque su inventor, el ingeniero Richter, la construyó para atemperar el dolor de Macedonio Fernández por la muerte de su esposa, Elena de Obieta. “Primero habían intentado una máquina de traducir. El sistema era bastante sencillo, parecía un fonógrafo metido en una caja de vidrio, lleno de cables y de magnetos (...). Queríamos una máquina de traducir y tenemos una máquina transformadora de historias”. Al igual que ocurre con las historias de la máquina, *La ciudad ausente* también se transformó y se convirtió en una ópera con música de Gerardo Gandini y en una historieta ilustrada por Luis Scafati.

En los primeros años del siglo XXI, con las computadoras convertidas en algo tan cotidiano como los televisores o las cafeteras, la ciencia ficción argentina ya no se preocupa tanto de las máquinas en sí y prefiere considerarlas como instrumentos para soñar el pasado, los paisajes de la realidad virtual o las paradojas temporales. En su novela *Radiana* (2007), Esther Cross narra con humor la construcción de una mujer artificial, una robot a la manera de *La Eva futura* (1886) de Auguste Villiers de L'Isle Adam. Pero no cuenta la historia desde el presente sino desde comienzos del siglo XX para así deleitarse con una tecnología retro futurista. En la novela corta *El centro de gravedad* (2014), Enrique Butti elige otra de las vías de la inteligencia artificial: la creación de mundos alternativos por donde viajar sin otro equipaje que la identidad. A través de una máquina se obtiene una especie de sueño organizado. La adolescente María, hija del inventor del aparato, se conecta a él a través de un casco con cables. En su sueño cibernético pasa a una ciudad idéntica a la suya, pero silenciosa y despoblada: están inmóviles las hojas de los árboles y no hay modo de abrir los libros, como si fueran de mármol.

Hace poco leí “El padre de la red”, un cuento inédito de Juan José Conti. Me llamó la atención el modo en que usa la terminología propia de la programación (el autor es programador) para darle un espesor de verosimilitud al texto: “Su red no solo era más rápida que las demás, sino que desafiaba las leyes de la física y de la teoría de la información. Una vez que un mensaje se introduce en la red de mi padre, en la red Sullivan, casi al instante aparece del otro lado, en el destinatario. No importa si la distancia entre el nodo emisor y el nodo receptor es de pocos metros o de varios kilómetros, si un mensaje ingresa en la red en un instante t , llega a destino en el instante $t + \epsilon$ (épsilon), siendo épsilon igual a 0,11 segundos”.

En el centro de la trama hay un mensaje enviado desde el futuro; pero detrás de la especulación y del sólido sostén científico de la trama hay una historia familiar y una investigación del narrador sobre su propio origen.

Hay dos cuentos de Borges que han servido como poderosas metáforas de las posibilidades imaginativas de la técnica. El primero es “El Aleph”, aquel punto de ubicación modesta (está en una escalera que baja a un sótano) pero en cuya superficie se puede observar el espectáculo del universo. A partir del nacimiento de internet, muchas veces se ha comparado la red con el Aleph. En Borges es recurrente la idea de escamotear el infinito en algo pequeño: en “El Aleph” el escondite es, como vimos un punto; en “El libro de arena”, un libro; en “Tigres azules”, unas piedras de número cambiante. Este contraste entre lo mínimo y lo ilimitado sirvió de metáfora a la relación entre el pequeño espacio que ocupa una computadora y los archivos infinitos a los que tiene acceso.

El otro cuento es “Tlön, Uqbar, Orbis Tertius”, historia de un grupo de conjurados que se proponen imaginar un planeta con sus leyes físicas, su geografía y la gramáticas de sus muchas lenguas. Este cuento tuvo una influencia decisiva en la literatura fantástica y en la ciencia ficción anglosajona, como se puede ver en obras de William Gibson, de M. John Harrison y de Christopher Priest. El cuento de Borges gravitó, por ejemplo, en *La afirmación* (1981) de Christopher Priest, en el cuento “Engaro” (*El mono de hielo*, 1983) de Harrison y en *Neuromante* (1984) de Gibson, novela que popularizó el término “ciberespacio”. La invención de Tlön representa el sueño de un mundo virtual, una realidad alternativa que al principio está encerrada en las páginas de una enciclopedia pero que tiene el poder de contaminar la realidad. En la inagotable bibliografía que existe sobre la obra de Borges, no son pocos los que se han preocupado por la presencia de la ciencia en su obra. Por ejemplo, el matemático y novelista Guillermo Martínez, que publicó

Borges y la matemática (2003) y el físico y músico Alberto Rojo, autor de *Borges y la física cuántica* (2019). Rojo ha señalado que Borges es el escritor más citado en los *papers* científicos.

¿Hablaban Borges y Bioy Casares de computadoras? En las 1667 páginas de *Borges* (2006), el diario que Bioy llevó durante casi cuarenta años, hay muy pocas referencias a la ciencia ficción y una sola a la cibernética: “Lunes, 2 de enero (1961): Come en casa Borges. Hablamos de cibernética. BORGES: ‘¿Qué pueden contestar las máquinas? Si pueden contestar cosas nuevas, ¿qué hay adentro? ¿Tornillos? ¿Un caballo muerto?’. BIOY: ‘Han de ser archivos’. Busco en vano un libro sobre el tema, que traje de París en 1954”. Ese libro no vuelve a ser mencionado, y así queda abandonada la pobre cibernética al surrealista cruce de esas dos imágenes: un libro perdido y un caballo muerto. Aunque a Bioy tanto le gustaba inventar máquinas, no parece que tuviera el mismo interés por la tecnología real. Nunca llegó a escribir en computadora y permaneció fiel a su pluma Pelikan.

La literatura fantástica –de la que Bioy y Borges son nuestros mayores autores, junto con Julio Cortázar, Silvina Ocampo y Marco Denevi- suele obsesionarse con el pasado, el mundo familiar y la melancolía. La ciencia ficción, en cambio, prefiere el futuro, la sociedad y la sátira. Pero la ciencia ficción argentina ha sido siempre un ejercicio nostálgico: ha hablado de máquinas pensantes y de robots, no tanto para soñar el futuro como para intentar la restauración de lo perdido.

Posdata: Me gustaría agregar a este repaso por los robots y las máquinas de nuestra literatura una conexión real entre letras y cibernética. Miembro de número de la Academia Argentina de Letras (y de otras academias), el ingeniero Horacio Reggini ha sido además protagonista de los comienzos de la computación en la Argentina. Como dice Carlos Gradín en su artículo “Un pionero de Internet en Argentina y su paso por el MIT” (revista Luthor n° 29, agosto de 2016): “En 1964 Horacio Reggini fue el primero en establecer desde Buenos Aires una conexión con una computadora ubicada en otro país, cuando un grupo de ingenieros y técnicos en centros de investigación de Estados Unidos realizaban ensayos para poner las computadoras a intercambiar datos a distancia”. Ya se habían realizado conexiones a través del teléfono; la experiencia de la que participó Reggini fue la primera en la que se utilizó un enlace de radioteletipo. En la noche del 2 de febrero de 1964 Reggini dio instrucciones desde Buenos Aires a una IBM 7094 instalada en Cambridge, Massachusetts. El experimento fue exitoso. En 2005, cuando Reggini ingresó a la Academia Argentina de Letras, eligió como tema de su discurso a Eduardo Ladislao Holmberg, otro puente entre humanidades y ciencias.

ACADEMIA NACIONAL DE MEDICINA DE BUENOS AIRES

■ Inteligencia artificial aplicada a la medicina.

Jorge Alberto Neira

Se puede definir la Inteligencia Artificial (AI) como el comportamiento inteligente en un agente autónomo. Describe, de esta manera, el comportamiento del cerebro, pero no del cuerpo, lo que la diferencia de los robots.

Las definiciones y conceptos de la IA están claramente expuestos en el capítulo correspondiente de la Academia de Ingeniería. A los fines de facilitación para la comprensión de estas nuevas terminologías en la siguiente exposición, creemos conveniente refrescar algunas de ellas.

Los instrumentos esenciales que componen la IA son: 1.- el aprendizaje automático (*machine learning*), 2.- el aprendizaje profundo (*deep learning*), 3.- el conocimiento del lenguaje natural (*natural language understanding*) y 4.- el reconocimiento del contexto (*context awareness*).

El **aprendizaje automático (*machine learning*)** es un instrumento de la IA y es la capacidad de un algoritmo de aprender de datos previos para producir un comportamiento. Les enseña a las máquinas a tomar decisiones en situaciones que nunca habían visto. Una vez que el modelo ha sido entrenado, se puede volver a alimentar, se pueden agregar nuevos datos externos a través del algoritmo para que la maquinaria tome nuevas decisiones inteligentes en este nuevo campo.

El **aprendizaje profundo (*deep learning*)** es una rama del aprendizaje automático en el cual los algoritmos de las redes neurales artificiales (*artificial neural networks*) están inspirados en la forma en que funcionan las neuronas en el cerebro, es decir, encontrando patrones en los datos crudos combinando las múltiples capas de neuronas artificiales. A medida que esta capas aumentan también aumenta la capacidad de la red de aprender conceptos abstractos progresivamente.

El **conocimiento del lenguaje natural (*natural language processing*)** es similar a la comunicación entre los seres humanos y constituye un desafío y una prioridad en la IA ya que el lenguaje es una red compleja, aleatoria, fuera de servicio,

alimentada con humos, emociones y conflictos y depende muy particularmente del concepto. Una vez que la IA supera el desafío de las comunicaciones humanas, la decodificación de las preguntas complejas (natural language queries), el desarrollo de conexiones, y las respuestas con sentido el progreso no está lejos.

El **reconocimiento del contexto (context awareness)** es clave para la realización de tareas complejas. Cada sección de datos y las necesidades de contexto tienen que calibrarse perfectamente.

Recientemente, se ha producido un incremento de las tecnologías de registro inteligente de voz como Siri (Apple), Eco y Alexa (Amazon) y Google que constituyen ejemplos principales de estos desarrollos.

Es importante tener en cuenta que la IA requiere de la disponibilidad de grandes bases de datos (bigdata) y que cuando la IA reconoce que está replicando los sesgos de los humanos los corrige.

Algunos datos muestran la significación del crecimiento de la IA en el mundo: 85% de las interacciones de las personas manejadas sin un ser humano en 2020, 5 billones de inversión de capital en firmas de IA en 2017; 45% de las personas dijeron que sus preocupaciones sobre la privacidad y la seguridad en línea les impidieron usar la web de maneras muy prácticas. Asimismo, ya existen 3,327 compañías relacionadas con la AI en la base Crunchbase (compañía líder proveedora de datos de compañías privadas, <https://www.crunchbase.com/>) 6% de los adultos se sienten muy confiados en que las agencias gubernamentales mantendrán sus registros privados y seguros, se invertirán aproximadamente \$37billones de dólares en 2025, existen desde 2020 31 millones de bases instaladas de IoT (Internet of Things, Internet de las cosas) en el mundo, y 4 billones de dispositivos con asistente de voz inteligente en 2017.

Según un artículo publicado por el CBInsights Research (2017) (<https://www.cbinsights.com/research/>) en el año 2016, los proyectos de IA y la atención de la salud atrajeron más inversiones que cualquier otro sector de la economía global.

El futuro de la práctica médica standard puede ser anticipado cuando el paciente acceda a la computadora antes de acudir al médico. Mediante los avances en IA, parece posible el reemplazo del error diagnóstico y el tratamiento de la enfermedad a partir de los síntomas más que su raíz. Como ejemplo un paciente hipertenso tiene años de determinaciones de su tensión arterial. Esta acumulación de datos registrados en la historia clínica electrónica permiten aplicaciones de IA y de una medicina de alta performance basada en los datos. Estos algoritmos deben estar

totalmente integrados en la práctica médica diaria y refuerzan el poder de las intervenciones médicas, aunque existen numerosas preocupaciones regulatorias que deben ser consideradas previamente.

Con el desarrollo social y los cambios en el estilo de vida, más enfermedades crónicas se han vuelto responsables de la mayor mortalidad en la población. De acuerdo con la World Health Organization (WHO), la enfermedad cardíaca isquémica, el ACV, la EBOC y las infecciones respiratorias bajas han permanecido en el tope del ranking durante la década pasada tanto en los países de bajos y medianos como en los altos ingresos. La Inteligencia Artificial se presenta como una tecnología promisoría en salud con sus muchas aplicaciones que incluyen el diagnóstico, el tratamiento, la prevención y el abordaje desde los sistemas de salud.

Lo que hace inteligente un algoritmo es que pueden efectuar tareas que requieren inteligencia humana para completar patrones y reconocimiento del lenguaje, análisis de las imágenes y toma de decisiones. Los algoritmos son importantes para automatizar tareas arduas y a veces superar a los humanos en las tareas en los que están entrenados.

Para generar un algoritmo, los sistemas informáticos deben ser primero alimentados con datos típicamente estructurados, determinado que cada punto del dato tiene un nivel reconocible de reconocimiento por parte del algoritmo. Luego que el algoritmo se expone a suficiente grupos de datos y sus etiquetas, se analiza el rendimiento para asegurar la exactitud. Estos exámenes involucran generalmente el ingreso de prueba de los datos, de los cuales los programadores conocen las respuestas permitiéndoles evaluar la capacidad del algoritmo para determinar la respuesta correcta. Basado en los resultados de estos tests, el algoritmo puede ser modificado, alimentado con más datos o actualizado para ayudar a la toma de decisiones para la persona que escribe el algoritmo.

Existen diferentes algoritmos que pueden aprender de los datos. La mayoría de las aplicaciones de la IA en medicina leen algunos tipo de datos, ya sea numéricos (como la FC o la TA) o basados en imágenes (como datos de la IRM o muestras de biopsia tisular por imágenes). Los algoritmos aprenden de los datos y producen ya sea una probabilidad o una clasificación (ej; probabilidad de presentar un coágulo arterial teniendo en cuenta los datos de la FC o la TA), o etiquetando una imagen de muestra tisular como neoplásica o no), en forma similar al rendimiento del médico para determinar su capacidad y valor en la clínica.

Recientemente, un gran número de novedosas tecnologías de la información aparecieron para asistir a las aplicaciones de la IA en la atención de la salud como el big data y la redes móviles de internet. De esta manera, la electrónica basada

en la IA (E)-healthcare y las soluciones médicas (M)-healthcare están dirigidas a ganar información, procesándola y generando un producto bien definido para el usuario final (médico, paciente y trabajador de la salud, en general).

Los sistemas E-healthcare y M-healthcare basados en la IA han demostrado un gran potencial para alcanzar las metas y demandas de la atención médica. Debido al abordaje impulsado por datos (data-driven) la IA ha producido un cambio de paradigma desde los campos de información hacia el diagnóstico y tratamiento inteligentes, remuneración inteligente investigación y desarrollo inteligente de drogas, gestión de salud y grupos relacionados de diagnóstico, etc. En consecuencia, muchos investigadores del campo de la tecnología de la información y la comunicación se han enfocado a las aplicaciones del IA en la atención de la salud.

En base a lo expuesto hasta ahora podemos resumir algunas de las siguientes aplicaciones potenciales de la IA en salud:

- Grupos Relacionados de Diagnóstico (GRD) para E-health-care y M-healthcare
- Análisis de enfermedades crónicas, como ACV, hipertensión, cáncer, enfermedad coronaria, diabetes, and EBOC.
- Tratamiento remoto para E-health-care y M-healthcare
- Sistemas médicos de pago
- Tecnologías de capas físicas de E-health-care y M-healthcare
- Múltiple acceso a tecnología de capas de E-health-care y M-healthcare
- Tecnología de capas en red de E-health-care y M-healthcare

La industria de la atención de la salud ya se encuentra madura para algunos cambios. Desde las enfermedades crónicas, al cáncer y la radiología existen innumerables oportunidades para que la tecnología sea más precisa, eficiente y que impacte en las intervenciones en el momento exacto de la atención del paciente.

A medida que evolucionan las estructuras de pago, los pacientes demandarán más de sus profesionales y el volumen de los datos continuarán creciendo a niveles asombrosos, la IA está preparada para ser el motor que conduzca las mejoras en la atención continua.

La IA ofrece un número de ventajas sobre las analíticas tradicionales y las técnicas de toma de decisiones. Los algoritmos de aprendizaje pueden hacer más precisa y exacta cuando interactúa con los datos de entrenamiento permitiendo a los seres humanos ganar conocimientos sin precedentes en el diagnóstico, los procesos de atención, la variabilidad del tratamiento y los resultados en los pacientes.

En 2018, en el Foro Mundial de Innovación Médica (World Medical Innovation Forum – WMIF; <https://worldmedicalinnovation.org/past-forum-2018/>) sobre IA se mostraron 12 tecnologías y áreas de la industria de la atención médica (“Docena Disruptiva”) que probablemente contribuyan con un mayor impacto en la próxima década.

Cada miembro de esta docena tiene el potencial de producir un beneficio significativo a los pacientes, además de contar con un éxito comercial amplio. A continuación, haremos un resumen de los manifestado por el foro con algunas modificaciones propias agregadas.

1.- Unificando la mente y la maquina a traves de interfaces computadora -cerebro

El uso de las computadoras para comunicarse no es nuevo, pero la generación de interfaces directas entre la tecnología y el cerebro humano sin necesidad de teclados, ratones y monitores es un área relevante de investigación que tiene aplicaciones significativas en determinados pacientes. Como ejemplo, los pacientes con enfermedades neurológicas o traumáticas pueden aprovechar esta metodología para hablar, moverse e interactuar convenientemente con otras personas.

Utilizando una Interfaz Computadora-Cerebro (ICC; BCI – Brain Computer Interface) e inteligencia artificial se puede decodificar la activación neural con el intento de movimiento de una mano y permitir que la persona se comuniquen utilizando una tecnología de la comunicación similar a una Tablet o un teléfono inteligente. La ICC podría mejorar drásticamente la calidad de vida de pacientes con ELA, ACV, síndrome de enclaustramiento y la de las 500.000 personas que sufren anualmente lesiones medulares. Wolpaw (2020) reportó un excelente artículo de revisión al respecto cuya lectura se recomienda.

2.- Expandir el acceso a la atención medica en las regiones en desarrollo

La escasez de personal de salud entrenado, incluyendo en ultrasonido y radiólogos puede generar una limitación al acceso a la atención adecuada en las naciones en desarrollo en el mundo. Hay más personal de radiología en la Avenida Longwood en la ciudad de Boston (EE. UU.) que en todo el África Occidental. La inte-

ligencia artificial podría ayudar a mitigar este severo déficit de personal entrenado de calidad resolviendo algunas de las tareas diagnósticas típicamente adjudicadas a los seres humanos. Como ejemplo, las herramientas basadas en la IA pueden buscar signos de TBC con un nivel de exactitud similar a los seres humanos. Esta capacidad puede desarrollarse mediante un app disponible en países de bajos recursos reduciendo la necesidad de personal entrenado en radiología en el lugar.

Sin embargo, los desarrolladores de algoritmos deben ser cuidadosos en tener en cuenta la diferencia étnicas de los grupos o residentes en las diferentes regiones que pueden tener aspectos fisiológicos y factores ambientales que pueden influir en la manifestación de la enfermedad. En consecuencia, es muy importante asegurar que los datos representen las diversas presentaciones en los diferentes grupos regionales

3.- Reducir la carga de registros electrónicos de salud

Los registros médicos electrónicos han jugado un papel instrumental en la industria de la atención de la salud en su trayecto hasta la digitalización, pero el cambio ha generado una cantidad de problemas asociados con la sobrecarga cognitiva, la infinita documentación y el deterioro del usuario. La utilización de la IA por los desarrolladores de las historias clínicas electrónicas (HCE) permite crear más interfaces intuitivas y automatizar algunos de los procesos rutinarios que consumen mucho tiempo del usuario: documentación clínica, orden de entrada y clasificación al ingreso.

El reconocimiento de la voz y el dictado ayudan a mejorar los procesos de documentación clínica pero las herramientas para el procesamiento del lenguaje natural (natural language processing - NLP) pueden todavía no ser suficientes. También deben ser considerados el registro de video durante la entrevista clínica, así como las fuerzas de seguridad utilizan las cámaras corporales, de tal manera que la IA y la aplicación de aprendizaje automático (machine learning) para indexar los videos para una recuperación futura de información. Así, se podrán utilizar asistentes virtuales (como Siri y Alexa) desde la cama del paciente

La IA también podrá resolver los procesos de rutina como la reposición de medicación y la notificación de resultados y priorizar las tareas que requieren atención médica facilitando a los usuarios las listas para efectuar.

4.- Contención del riesgo de resistencia antibiótica

La resistencia antibiótica es una amenaza creciente para toda la población del mundo ya que el uso desmesurado de esta medicación crítica favorece la evolución de los supermicrobios que no responden a los antibióticos actuales. Los organismos multirresistentes (OMR) pueden producir estragos en el ámbito hospitalario y se lleva miles de vidas al año. Solamente *C. difficile* produce un costo anual de aproximadamente \$5 billones y más de 30.000 muertes, en el sistema de salud de los EE. UU. Nanwa y Lessa, ha reportado interesantes datos al respecto.

Los datos de las HCE pueden ayudar a identificar patrones de infección y definir los pacientes en riesgo antes del comienzo de sus síntomas. La herramienta de IA y de aprendizaje automático (machine learning) manejando estas analíticas pueden mejorar la exactitud y la generación de alertas más rápidas, más exactas a los trabajadores de la salud. Si los hospitales no utilizan la gran cantidad de datos que poseen será un grave problema en el futuro.

5.- Crear analíticas más precisas para las imágenes patológicas

Los patólogos proveen una de las fuentes de datos de diagnóstico en el espectro de la atención médica, 70% de todas las decisiones en la atención médica se basa en un resultado de anatomía patológica y 75% se encuentran en las HCE. De esta forma, la patología digital y la IA tienen una oportunidad relevante ya que la analítica que se puede obtener de los niveles de píxel en las imágenes digitales puede permitir a los profesionales identificar matices que pueden escapar al ojo humano. Así el tratamiento basado en algoritmos más que en la estadificación clínica o el grado histológico aumenta la eficiencia del patólogo, incrementando a su vez el valor del tiempo que dedica a cada caso.

La AI permitiría poner en funcionamiento la próxima generación de herramientas de radiología para hacerlas más exactas y lo suficientemente detalladas para reemplazar la necesidad de muestras de tejido, permitiendo acercarse al radiólogo intervencionista con el cirujano y el patólogo. Este avance permitiría a los clínicos desarrollar un conocimiento más exacto en cuanto a cómo se comportan los tumores en lugar de basar sus decisiones en pequeñas muestras de tejido. Además, se podría definir mejor la agresividad de los cánceres y orientar a los tratamientos más apropiadamente. La IA permitiría efectuar “biopsias virtuales” y avanzar en el campo

innovador de la radiómica que se enfoca en aprovechar los algoritmos basados en imágenes para caracterizar las propiedades genéticas y fenotípicas de los tumores.

6.- Aportar inteligencia a los artefactos y maquinas medicas

Los dispositivos inteligentes, de gran desarrollo en el ambiente de consumos, tienen, en medicina, una importancia crítica en el monitoreo de los pacientes en la UCI y en otros ámbitos. La IA permite aumentar su capacidad para evaluación del deterioro clínico, en el caso de la sepsis o del deterioro hemodinámico o para evaluar el desarrollo de complicaciones y pueden mejorar significativamente los resultados y reducir los costos relacionados a las penalidades de las condiciones adquiridas en el hospital.

La posibilidad de la tecnología vestible (wearable), también denominada corporal, electrónica textil, etc., consiste en dispositivos electrónicos inteligentes usados corporalmente como implantes o accesorios que pueden actuar como extensión de la mente o del cuerpo de las personas.

La inserción de algoritmos inteligentes en estos dispositivos puede reducir la carga cognitiva de los profesionales de la medicina mientras que asegura la atención que reciben los pacientes de una forma tan oportuna como posible.

7.- Avances en el uso de la inmunoterapia para el tratamiento del cancer

La inmunoterapia es uno de los métodos más prometedores para el tratamiento del cáncer. Utilizando el propio sistema humano del cuerpo humano para atacar la enfermedad maligna, el paciente puede ser capaz de vencer la enfermedad. Los oncólogos necesitan métodos precisos y confiables para identificar que pacientes se benefician con esta opción terapéutica. Los algoritmos de aprendizaje automático (machine learning) y su capacidad de sintetizar grupos de datos altamente complejos pueden desarrollar nuevas opciones para dirigir las terapéuticas a cada estructura genética única del individuo. Como ejemplo los “checkpoint inhibitors” (inhibidores de puntos de control), que bloquean algunas de las proteínas desarrolladas por algunas células inmunes, aunque todavía es necesario conocer todo lo referente a la biología de la enfermedad. Las terapias son relativamente nuevas, se

necesita integrar datos desde múltiples instituciones para aumentar la población de pacientes y generar el proceso de modelización.

8.- Transformar las hce en predictores confiables de riesgo

Las HCE constituyen una mina de oro de datos de pacientes pero la extracción y el análisis de dicha información de una manera oportuna, exacta y confiable es un enorme desafío para los profesionales y los desarrolladores. La calidad de los datos y los elementos de integración desde mezclas confusas de formatos de datos, de ingresos estructurados y no estructurados y de registros incompletos han dificultado la posibilidad de conocer exactamente como generar una estratificación válida de riesgo, una analítica predictiva y un apoyo a la decisión clínica.

La analítica de las HCE ha producido muchos scores de riesgo y herramientas de estratificación exitosas, especialmente cuando los investigadores emplean técnicas de aprendizaje profundo (deep learning) para identificar nuevas conexiones entre grupos de datos aparentemente no relacionados.

9.- Monitoreo de la salud a traves de usables y dispositivos personales

La mayoría de los consumidores tienen actualmente acceso a dispositivos con sensores que recolectan datos valiosos acerca de su salud. Desde los teléfonos inteligentes con sensores de actividad a los usables que pueden monitorear una creciente proporción de datos relacionados con la salud. La recolección y análisis de los datos, suplementados con la información provista por el paciente y otros dispositivos de monitoreo doméstico pueden ofrecer una perspectiva única en la salud individual y de la comunidad. La IA tiene un rol significativo en la extracción de conocimiento de este amplio y variado grupo de datos, aunque la población deberá ser más y más prudente en compartir algún tipo de datos. Sin embargo, los pacientes tienden a tener confianza en sus profesionales lo cual puede ayudar para paliar cualquier malestar en la contribución de los datos a iniciativas de investigación a gran escala.

La recolección de datos granulares (datos detallados o el más bajo nivel en el que se encuentran los datos en una base; a medida que los datos se subdividen más son más específicos y en consecuencia más granulares) de una manera continua facilita que exista una mayor probabilidad que los datos sean útiles para mejorar la atención de los pacientes.

10.- Convertir las selfies de los telefonos celulares inteligentes (tci) en una herramienta poderosa para la salud

Las imágenes de los TCI pueden ser un suplemento importante a las imágenes clínicas de calidad, especialmente en poblaciones con bajo acceso al sistema de salud o en países en desarrollo. La calidad de las cámaras de los TCI es cada día mejor y pueden producir imágenes que pueden ser analizadas por algoritmos de IA, que pueden beneficiar por ejemplo a dermatólogos y oftalmólogos. Ya se han desarrollado herramientas que pueden identificar rasgos como por ejemplo la línea de la mandíbula en los niños, la posición de los ojos y la nariz y otros atributos que pueden indicar más de 90 diferentes anomalías craneofaciales.

Cada día en el mundo digital se generan más de 2.5 millones de terabytes de datos, por lo que los TCI pueden proporcionar servicios más inteligentes, más rápidos y personalizados. El uso de imágenes recolectadas por los TCI de los ojos, lesiones de piel, heridas, infecciones, medicaciones u otros elementos puede ayudar en áreas con acceso limitado o con escasez de especialistas, mientras se reduce el tiempo hasta el diagnóstico.

11.- Revolucionar la toma de decisiones con ia al lado de la cama

La IA puede proveer analítica predictiva y herramientas de decisión clínica para orientar a los profesionales de la salud como alertas precoces en condiciones como convulsiones, sepsis, que a menudo requieren análisis intensivos de bases de datos de alta complejidad. El aprendizaje automatizado puede ayudar a tomar decisiones en continuar o no el tratamiento en el paciente, luego de sufrir un paro cardiorrespiratorio (PCR) mediante la evaluación continua del EEG, un proceso que lleva tiempo y es subjetivo y puede variar debido a las capacidades y experiencia del

operador. En estos casos, la tendencia puede evolucionar lentamente y mediante el algoritmo de IA y enorme cantidad de datos de muchos pacientes es más fácil compatibilizar y detectar sutiles mejorías que podrían impactar en la decisión clínica.

12.- Inteligencia artificial aplicada a la telemedicina

La prevención de enfermedades y la telesalud se han vuelto cada vez más importantes en el contexto de la epidemia de COVID-19 y el empleo de la IA ha permitido mejorar estos métodos de la atención médica y potencialmente una mejora de los resultados en los pacientes.

La Telemedicina constituye un nuevo paradigma en la atención de la salud ya que ha incrementado la capacidad de los prestadores de salud para la atención de un gran número de pacientes sin necesidad de la presencialidad. Inicialmente utilizada como videoconferencia, la nueva generación aportará nuevos aportes como el procesamiento del lenguaje para la toma de notas o la ponderación de signos para la evaluación del paciente. De tal manera que el paciente se encuentra mejor conectado con sus profesionales, se mejora el acceso al sistema de salud y permite tanto a los pacientes como los profesionales del equipo de salud evitar ambientes de alto riesgo.

No obstante, queda claro que la telemedicina tiene sus utilidades en cuanto a seguimiento de pacientes ya previamente entrevistados por su médico de cabecera o para seguimiento de pacientes de riesgo en caso de enfermedades infecciosas como en la reciente pandemia, como herramienta de teleasistencia para permitir el acceso a una mayor experiencia profesional o como herramienta de segunda consulta. Obviamente, la telemedicina no reemplaza a la primera consulta del paciente que debe ser en todos los casos presencial. En particular, es de suma utilidad en ámbitos rurales o alejados, en pacientes con movilidad limitada y permite la opción de la evaluación por especialistas de experiencia en lugares austeros.

Permite además el monitoreo frecuente del paciente y la recolección de datos integrando la IA que puede analizar automáticamente los datos permitiendo a los profesionales del equipo de salud responder no solo más adecuadamente sino también más rápido. El acceso a la telemedicina puede reducir las visitas a los departamentos de emergencia y la integración con la HCE permite comparar los resultados de los exámenes, revisar la historia clínica del paciente y hacer evaluaciones más completas. Obviamente también reduce los costos del transporte para consultar distintos especialistas.

Además, la telemedicina tiene la particularidad de facilitar un entorno más seguro y saludable para todos los participantes ya que aquellos pacientes que presen-

tan alguna enfermedad infectocontagiosa (gripe, resfrío, virus sincicial respiratorio, coronavirus, etc) pueden contactarse con el equipo de salud sin los riesgos de contagio. En particular, los pacientes inmunocomprometidos no tienen la inseguridad de efectuar consultas innecesarias en ámbitos de riesgo. En ambos casos, el equipo de salud puede asegurar el monitoreo y el control evolutivo de estos pacientes.

Un tema de trascendental importancia es como se asegura mediante la utilización de la telemedicina la seguridad y la privacidad del paciente. El primer punto es asegurar una plataforma de información de salud que responda a las obligaciones legales vigentes para asegurar la privacidad de los datos de los pacientes. En importante tener en cuenta que se debe asegurar el cumplimiento de las normas de seguridad informática para evitar hackeos y otras accesos ilegales a los datos.

Otro tema no menor es definir que sucede con la responsabilidad asociada con la interjurisdiccionalidad de los procedimientos. En tal sentido, Wierzba y Brodsky refieren que: *“si pensamos en la prestación de servicios a distancia, por naturaleza concebimos la atención de pacientes en una provincia, por profesionales e instituciones localizados en otra. Del mismo modo, imaginamos la posibilidad de concretar consultas asistenciales, servicios de segunda opinión y cirugías robóticas, por profesionales y pacientes ubicados en distintos países. Ahora bien, en línea con el fenómeno observado respecto de los más variados desarrollos tecnológicos (plataformas digitales de compraventa, de servicios de la economía colaborativa, redes sociales, etc.), siempre que se intente dirimir un conflicto producto de la prestación de servicios telemédicos, las normas aplicables —de la mano de intérpretes provenientes de diversas culturas— podrán aparecer como insuficientes, difíciles de implementar y de cumplimiento tardío”*.

Recomendamos la lectura del excelente artículo publicado en la Revista la Ley en Junio de 2021 por los Dres. Wierzba y Brodsky donde se abunda en los aspectos legales asociados a la telemedicina.

La protección de datos personales mediante el encriptamiento puede ayudar en este sentido. Como ejemplo, en EE. UU., se creó en el año 1966, la HIPAA (Health Insurance Portability and Accountability Act) que consiste en una ley federal que requirió la creación de estándares nacionales para proteger datos sensibles de la información de salud para que no pudieran ser utilizados sin su conocimiento o el consentimiento informado. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (Health and Human Services - HHS) exige que las reglas de seguridad de HIPAA protejan un grupo de información cubierta por la Regla de Privacidad mediante la implementación de una red de gestión con sólidos elementos de seguridad y derechos de acceso controlados. <https://www.cdc.gov/phlp/publications/topic/hipaa.html>

En la era del Internet de las cosas (Internet of Things - IoT), la conectividad ultrarrápida permite que una enorme cantidad de dispositivos médicos y equipamiento puedan conectarse a un servidor o a la nube. De esta manera, la tecnología de telemedicina permite el uso en tiempo real y facilita un acceso a la salud remoto de alta calidad. Asimismo, muchos pacientes pueden utilizar dispositivos variados, hoy denominados wearables (dispositivos móviles portátiles) mediante los cuales controlarse la tensión arterial, la temperatura, la frecuencia cardíaca y respiratoria y transmitirles los datos en forma seriada a los profesionales de la salud quienes, a su vez, pueden incorporar los datos al registro médico electrónico del paciente, efectuar indicaciones médicas mediante recetas electrónicas y cualquier otro tipo de prescripciones. Esto tiene enorme importancia en el control y manejo de las enfermedades crónica no transmisibles (diabetes, EPOC, enfermedad cardíaca, hipertensión arterial, etc).

Los dispositivos móviles portátiles integrados permiten monitorear los signos vitales en forma periódica y almacenarlos en los servidores o en la nube y facilitan el manejo de los pacientes crónicos disminuyendo la aparición de urgencias y evitando innecesarias consultas a los departamentos de emergencia. En determinadas situaciones, pueden implementarse espacios específicos (en farmacias, terminales de transporte, etc) de acceso a la telemedicina para favorecer la conexión con el equipo de salud.

Los sistemas de médicos de emergencias prehospitalarias pueden utilizar la telemedicina para efectuar ECG, oximetría de pulso y otras determinaciones (lactato, ultrasonografía) y enviarlas al hospital mientras se encuentran en ruta hacia el mismo de tal forma que el equipo de emergentólogos se encuentre preparado para la adecuada recepción del paciente.

También se encuentra en desarrollo la integración de los datos de salud en sistemas que permitan detectar patrones que requieran abordajes específicos, no solo en el ámbito urbano sino, en particular, en los ámbitos rurales en donde la visita a los profesionales requiere la movilización significativa de los pacientes.

La utilización de la robótica en la atención de los pacientes puede ser de ayuda para su interacción remota con los profesionales. Ejemplo de este tipo de abordaje se encuentra presente en lo que se conoce como eICU (Unidad de Cuidados Intensivos Electrónica) en la que un robot que tiene en su “cabeza” un monitor de computadora puede efectuar la recorrida con la enfermera del paciente y por su interacción tomar datos del monitor del paciente (signos vitales, laboratorio, estudios de imágenes) y hasta eventualmente efectuar algunos estudios como por ejemplo una ultrasonografía y enviar todos estos datos en tiempo real a un equipo

de profesionales que se encuentra en una central remota. Estudios realizados con esta metodología han mostrado una disminución en la mortalidad, en los días de internación, en los errores médicos y en los costos de atención de los pacientes. Kumar y Razabalizadeh (200 hospitales y 139.000 pacientes) han presentado excelentes revisiones al respecto.

Asimismo, Mayampurath reportó recientemente un estudio realizado en 755 hospitales (2001-2017) donde se evaluó un método de predicción de resultados favorables neurológicos, luego de sufrir un paro cardíaco intrahospitalario, en pacientes adultos. Se evaluaron 117.674 pacientes, de los cuales, 24% presentaron una evolución favorable. Las variables más consistentes fueron la duración del paro cardíaco, el ritmo inicial al momento del paro, el Score de Performance Cerebral en la admisión y la edad. Sus conclusiones fueron que el algoritmo de potenciación de gradiente (gradient boosted machine algorithm) fue el método más seguro para predecir los resultados en pacientes adultos con paro cardíaco pre-hospitalario y demuestran su utilidad para predecir los resultados neurológicos en pacientes resucitados.

Otro uso es que la telemedicina en la UCI permite que los intensivistas de centro médicos de alta complejidad provean cuidados críticos en pequeños hospitales de áreas remotas que no están en condiciones de ofrecer un recurso de calidad a sus pacientes con enfermedades traumáticas y no traumáticas

Coustasse ha reportado, en relación con los costos, que, si bien la experiencia refiere un aumento de estos en la implementación del programa de eICU en la institución, los cambios organizativos que determinan que los equipos de salud tanto clínicos como no clínicos de la UCI se vuelvan más eficientes y efectivos generan un descenso de la estadía en la UCI, disminución de los costos hospitalarios y un descenso de la mortalidad.

Otra opción de la robótica es permitir a los cirujanos asistir en operaciones remotas con la posibilidad de tener la misma visión en tiempo real que el cirujano que realiza el procedimiento. Esta posibilidad facilitaría el acceso a cirugías de mayor complejidad en lugares remotos y de menor complejidad.

La IA y la Pandemia de COVID 19

Durante la pandemia de COVID-19, la telemedicina se transformó en una metodología crítica de defensa contra el virus y demostró su capacidad para mejorar la atención en forma global. Tanto los profesionales como los administradores han

reconocido su conveniencia, nivel de calidad e innovación que dicha tecnología puede aportar a la atención de la salud. A medida que la implementación de la IA vaya progresando permitirá incrementar el uso de la analítica en tiempo real para facilitar el diagnóstico, responder adecuadamente a las emergencias y compartir información. Los desarrolladores tanto de hardware como de software deberán adecuarse en forma progresiva a la necesidades de los sistemas de salud para optimizar cada vez más los recursos disponibles.

El Comité sobre Inteligencia Artificial (Committee on Artificial Intelligence - CAHAI) del Consejo de Europa (COE) ha desarrollado un interesante análisis de la utilidad de la IA en el contexto de la pandemia de COVID 19 y de su uso para combatir la enfermedad, desde sus comienzos en el inicio de 2020. A continuación, haremos un resumen de los aspectos más importantes reportados por el Comité.

China, el primer país involucrado, reportó su utilidad como apoyo a las medidas de restricción al movimiento de las poblaciones, para el pronóstico de la evolución de los brotes de enfermedad y la investigación para la producción de vacunas y tratamientos (acelerar la secuenciación del genoma, generar diagnósticos más rápidos, efectuar escaneo de análisis e incluso manejar robots de mantenimiento y entrega).

Sus innegables contribuciones para organizar mejor el acceso a las publicaciones científicas o apoyo a la investigación no elimina la necesidad de las fases de ensayos clínicos ni reemplaza a la experiencia humana. Los problemas estructurales encontrados en la infraestructura de las instituciones de salud no fueron debidas solamente a aspectos tecnológicos sino, en particular, a la organización de los servicios de salud que deberían haber prevenido su ocurrencia.

Una de las contribuciones más importantes de la IA fue la asistencia a los investigadores para el desarrollo de una vacuna para proteger a los trabajadores de la salud y contener la pandemia en la población.

Dado que la biomedicina y la investigación de basan en un gran número de técnicas con aplicaciones de la ciencia de la computación y de las estadísticas, la predicción de la estructura del virus generada por la IA ahorró meses de investigación y permitió la generación de vacunas de ARNm en cuyo desarrollo el plegamiento de las proteínas es esencial. Para ello se desarrolló un algoritmo de predicción de pliegue lineal que proveyó información adicional a los investigadores (pasando de 55 minutos a 27 segundos)

Con respecto al beneficio de la IA en la publicación de investigaciones, a las pocas semanas del brote de coronavirus en Wuhan, en Diciembre de 2019, se publicaron más de 2000 trabajos de investigación sobre los efectos del nuevo virus, sobre posibles tratamientos y sobre la dinámica de la pandemia.

A continuación, en marzo de 2020, Microsoft Research, la National Library of Medicine y el Allen Institute for Artificial Intelligence (AI2) recolectaron y prepararon más de 29,000 documentos en relación con el nuevo virus y la amplia familia de coronavirus, 13.000 de los cuales fueron procesados para que se pudiera acceder a los datos, así como también a la información de los autores y sus afiliaciones.

Asimismo, otras instituciones desarrollaron un programa de IA para el rastreo de la diseminación de la enfermedad integrando, a través de plataformas como Google, medios sociales y blogs, fuentes de información que los epidemiólogos habitualmente no usan para identificar los primeros signos de un brote y evaluar la respuesta del público

También se desarrolló un sistema de Vigilancia Multimedia Inteligente, bajo los auspicios de la UNESCO, que proporcionaba actualizaciones sobre noticias nacionales e internacionales basada en una selección de medios con información abierta en línea. Dicha herramienta, con el apoyo de la Organización para el Desarrollo Económico (Organisation for Economic Co-operation and Development - OECD, <https://www.oecd.org/newsroom/more-efforts-needed-to-boost-trust-in-ai-in-the-financial-sector-says-oecd.htm>), se presentó como una fuente de información útil para los tomadores de decisiones, los medios y el público para observar las tendencias emergentes relacionadas el COVID en diferentes países y a nivel global.

En cuanto a la asistencia al personal de salud, la IA permitió el desarrollo de software diagnósticos, incluyendo la posibilidad de detección de neumonía asociada al CV, logrando disminuir marcadamente los tiempos de diagnóstico, así como también diseñar kits para acelerar los diagnósticos de laboratorio

En cuanto al control de la población, que permitió, particularmente en Singapur, el control del riesgo de epidemia mediante el uso de medidas restrictivas de seguridad, la implementación de cuarentenas en la población de riesgo, la verificación de la aceptación de las medidas mediante la utilización de los teléfonos inteligentes y la geolocalización y los controles aleatorios domiciliarios. En algunos casos, se utilizaron, en los servicios de seguridad, cascos inteligentes capaces de detectar pacientes con temperaturas elevadas. El reconocimiento facial tenía la dificultad del uso del barbijo, aunque ya se cuenta con dispositivos que pueden efectuar reconocimiento facial con el barbijo incluido hasta en 95% de los usuarios. Otros usos de los teléfonos inteligentes han sido: para que advertir a las personas sanas para que no se junten con personas potencialmente portadoras de virus, para alertar a las autoridades cuando la población no cumplía con las medidas o con el aislamiento, para controlar por GPS la ubicación de personas en

cuarentena, para alertar al resto de la población que los portadores o pacientes con fiebre no se junten con las personas sanas. En todos los casos, se respetó la privacidad ya que la aplicación no revelaba ni el número de teléfono ni los datos personales del dueño.

Un tema importante, en particular en los EE. UU., radica en garantizar los derechos individuales y proteger los derechos colectivos en dichas crisis de salud. Por este motivo el gobierno solicitó que las compañías tuvieran acceso a datos agregados y anónimos, especialmente de los teléfonos inteligentes en todos los proyectos relacionados con la pandemia. La regulación de los datos determinó que tipo de emergencias deberían ajustarse al interés colectivo sobre el derecho individual (así como las condiciones y las garantías de este mecanismo) pero el Congreso no ha progresado en los últimos dos años en esta ley.

Asimismo, otro aspecto para tener en cuenta es como combatir la desinformación (“fake news”) que se produce en los medios sociales y en internet vinculada a la diferentes temas relacionados con la pandemia. Aquí la IA puede jugar un rol importante. Una declaración de la UNESCO (marzo 2020) enfatizó que era trascendental que “se adopten medidas activas para proveer una información segura acerca del coronavirus trabajando con la Organización Mundial de la Salud, autoridades gubernamentales y socios en línea como Facebook, Instagram, LinkedIn y TikTok, para asegurar que la información disponible sea exacta, así como también informar al público cuando la información que aparece es insegura”. El Comité de Expertos del Ámbito y Reforma de los Medios del Consejo de Europa (Council of Europe, Committee of Experts on the Media Environment and Media Reform - MSI-REF) subrayó en una declaración del 21 de Marzo de 2020 que “la situación de crisis no debería ser utilizada como pretexto para restringir el acceso público a la información. Tampoco los estados deberían introducir restricciones a la libertad de los medios más allá de los límites acordados mediante el Artículo 10 de la Convención Europea sobre Derechos Humanos (“European Convention on Human Rights”), Dicho Comité también enfatizó que “los estados miembro, junto con todos los actores de medios, deberían asegurar un medioambiente orientado hacia la calidad del periodismo”. Para mayor información sobre este tema, recomendamos la lectura del Capítulo correspondiente elaborado por la Academia de Periodismo.

En relación con la tecnología digital, incluyendo la tecnología de la información y la IA, su utilidad como herramienta en la construcción de respuestas coordinadas durante la pandemia ha quedado demostrada. También se han planteado algunas limitaciones en cuanto a que no pueden por sí mismas compensar las dificultades estructurales que presentan los sistemas de salud alrededor del mun-

do. La búsqueda de la eficiencia y la reducción de costos no debería disminuir la calidad de los servicios o asegurar el acceso universal a la atención de la salud, aún en circunstancias excepcionales.

El Artículo 11 del Capítulo Social Europeo (*European Social Charter*), ratificado por 34 de los 47 Estado Miembro del Consejo de Europa) establece el derecho a la protección de la salud que compromete a los signatarios “a tomar, ya sea en forma directa o a través de la cooperación con organizaciones públicas o privadas, medidas apropiadas diseñada en particular para: 1°) eliminar, en lo posible, las causas de enfermedad-salud; 2°) proveer servicios de consulta y educación para la mejora de la salud y el desarrollo de un sentido de responsabilidad individual para la salud; 3°) prevenir, dentro de lo posible, epidemias, endemias y otras enfermedades así como traumatismos.”

Los estándares relacionados con la protección de datos, como la Convención 108 del Consejo de Europa (<https://www.coe.int/es/web/data-protection/convention108-and-protocol>), deben ser completamente aplicados y en todas las circunstancias: ya sea uso de datos biométricos, geolocalización, reconocimiento facial o uso de datos de salud. El uso de medidas de emergencia debería realizarse mediante consulta plena con las autoridades de protección de datos y con el respeto a la dignidad y la vida privada de los usuarios. Deben considerarse los diferentes sesgos de los variados tipos de operaciones de vigilancia que pueden causar una discriminación significativa.

Es importante destacar que, en el año 2019, Argentina se convirtió en el miembro N° 54 y 3er país sudamericano en suscribir el Convenio 108 para la protección de las personas con respecto al tratamiento automatizado de datos de carácter personal y su Protocolo Adicional (<https://www.argentina.gob.ar/noticias/argentina-estado-parte-del-convenio-108>).

Otros desarrollos de la IA en Medicina

Es digno de destacar la profusa información sobre la IA aplicada a la medicina. A los fines de comentar algunos aspectos relevantes publicados como ejemplo de nuevos desarrollos, se efectúa a continuación un breve resumen.

El equipo del Massachusetts Institute of Technology (MIT) desarrolló un algoritmo de detección y estadificación de etapas tempranas de melanoma, responsable de 70% de las muertes por cáncer de piel en el mundo, con una sensibilidad de 90.3%, lo que puede mejorar el pronóstico y reducir marcadamente el costo de tra-

tamiento de esta enfermedad. Sin embargo, y debido a la gran cantidad de lesiones pigmentadas en la piel de los pacientes que deben ser evaluadas para una biopsia potencial, se hace necesario que los sistemas médicos provean una metodología de screening que todavía no está disponible.

La utilización de un nuevo método para extraer el realce de la lesión intrapaciente comparando la lesión que se destaca con el resto, sobre la base de una red neural circunvolucional profunda (deep convolutional neural network - DCNN), permite una evaluación más rápida y exacta de las lesiones, comparable a dermatólogos expertos.

Otra de las opciones en desarrollo por la Universidad de Washington, es utilizar la cámara de un teléfono inteligente o la pantalla de una computadora para tomar el pulso y la frecuencia respiratoria del video de la cara del paciente en tiempo real. Dado que cada persona es diferente, el sistema tiene que adaptarse rápidamente a sus características únicas.

El sistema está alojado en el aparato y no en la nube manteniendo la privacidad del paciente y utiliza cambios sutiles relacionadas a como refleja la luz la cara del paciente y lo correlaciona con los cambios en el flujo sanguíneo convirtiéndolo en FC y FR. No obstante, se necesitan más avances para superar las diferencias en el color de la piel.

Los avances en la telemedicina, relacionados con la FC y la FR, generan nuevas oportunidades vinculadas al autocuidado, al seguimiento o triaje, especialmente en lugares de acceso dificultoso al sistema de salud.

Holder (2021) efectuó un estudio de cohorte en dos centros académicos de EE.UU. (2014-2017) para entrenar un modelo de predicción de uso de vasopresores en la UCI, en pacientes adultos con sepsis, y optimizar la performance externa con una herramienta de adaptación de dominio (transferencia de aprendizaje) a través del sistema hospitalario. Analizó 14,512 pacientes (9,423 en el sitio de desarrollo y 5,089 en el sitio de validación). Se recolectaron 40 tipos de datos de la historia clínica electrónica como input a un modelo de sobrevida de red neural Weibull-Cox para derivar una herramienta predictiva de la necesidad de vasopresores.

El modelo predijo el uso de vasopresores 4-24 horas antes con alto grado de significación (ROC, Especificidad y VPP de 0.80 a 0.81, 56.2% a 61.8% y 5.6% a 12.1%, respectivamente). El método de adaptación de dominio mejoró el rendimiento del modelo de predicción de uso de vasopresores asociados a sepsis.

El reentrenamiento del modelo a través de la adaptación de dominio permitió lograr un rendimiento comparable entre los centros de desarrollo y los de validación remota a pesar de la diferencia en la frecuencia de la muestra de datos y las

potenciales diferencias en la mezcla de casos de sepsis. Este hallazgo permitiría utilizar la evaluación del modelo en una variedad de centros, incluyendo hospitales remotos o con acceso limitado a los datos del sistema de salud.

Liang y colaboradores (2021) reportaron que existen un gran número de textos de consulta de síntomas en China, en las comunidades médicas y de internet. Considerando que existen limitaciones para asegurar una adecuada obtención de datos abstractos, para resolver el triaje y el tratamiento preciso de los pacientes se utilizó un mecanismo de doble canal (Double Channel mechanism - DC) como un incrementador de la memoria de corto término (Long Short-Term Memory - LSTM). En el mecanismo de doble canal se utilizan dos canales para recibir la incrustación de los niveles palabra y carácter, respectivamente, al mismo tiempo. Efectuaron un extenso estudio utilizando dos diferentes bases de datos: cMedQA y Sentiment140. Los estudios mostraron que el modelo DC-LSTM presentó una exactitud significativamente superior cuando se lo compara con el modelo básico CNN-LSTM. Concluyeron que el modelo DC-LSTM puede distinguir los niveles emocionales de diferentes palabras en las oraciones y asignarles diferentes pesos de aprendizaje a las diferentes palabras, de tal manera que puede aprender de los rasgos sentimentales de cada palabra en una forma diferenciada.

Como ya ha sido comentado, una de las áreas más promisorias de innovación en salud es la aplicación de IA en las imágenes médicas. Sus múltiples aplicaciones se relacionan con la adquisición de la imagen y el procesamiento para ayudar al informe, la planificación de seguimiento, el almacenamiento de datos, la minería de datos y muchos otros.

Pesapane y colaboradores (2018), efectuaron una revisión del tema, cuya lectura se recomienda, donde se incluyen definiciones de términos comúnmente utilizados cuando se utilizan las aplicaciones de IA, el análisis de los aspectos relacionados con su integración al flujo de trabajo del radiólogo y aporta una visión general de las oportunidades y las amenazas de la IA para los radiólogos, enfatizando que “el conocimiento de estas tendencias es una necesidad especialmente para las generaciones jóvenes que van a enfrentar esta revolución”.

Sus conclusiones son que la IA impactará en la radiología más rápidamente que en otros campos médicos, que es el mayor avance en la especialidad desde Roentgen y que los radiólogos deben aceptar este avance ya que siempre han estado en el campo de las innovaciones tecnológicas. Un radiólogo actualizado debe conocer los principios básicos de los sistemas que incluyen la IA, las características de las bases de datos para entrenarlos y sus limitaciones. No necesitan conocer los detalles más profundos de estos sistemas, pero deben aprender el vocabulario técnico para comunicarse eficientemente con ellos.

Ahmad y colaboradores (2021), estudiaron la utilidad de FUSE-AI 8, una compañía recientemente creada en Hamburgo, que desarrolló un sistema que puede detectar y clasificar tumores mediante el escaneo con Imágenes por Resonancia Magnética (IRM). Plantea que la detección de objeto es una tecnología de IA relacionada al procesamiento de las imágenes que puede detectar varios objetos (vehículos, edificios y personas) en categorías específicas en videos e imágenes digitales. El estudio en profundidad de la detección de objeto incluye detección de peatones, detección de caras y detección de señales de tránsito. A pesar de los grandes avances tecnológicos, algunos de los problemas que deben ser resueltos son la fusión de datos heterogéneos, la transmisión de datos móviles y su análisis. Existen muchas aplicaciones de detección y clasificación multitarget, como la detección facial, el conteo de personas, la detección de vehículos y la identificación de buena o mala comida.

La combinación de procesamiento de imágenes y redes neurales artificiales puede ser utilizada para varios propósitos. La detección de objeto usualmente se divide en dos métodos: machine learning (incluye un vector de apoyo a la máquina y estrategias de clasificación) y deep learning que utiliza variadas redes neurales como las redes neurales convolucionales, las redes de retrodispersión neural y las redes de K-vecino más cercano (K-nearest neighbor network - KNN). La detección de objeto consta de la función de extracción y la clasificación.

Tomando en cuenta estos conceptos, Ahmad comparó tres diferentes redes neurales para encontrar cual era el mejor en la detección y evaluar el tiempo de procesamiento. Encontró que el modelo KNN modificado era el mejor modelo entre los estudiados y que funcionó correctamente en el tiempo de predicción y proveyó 98% de exactitud.

Yin y colaboradores (2021), efectuaron un excelente análisis en relación con las aplicaciones médicas de salud y el desarrollo de las comunicaciones de quinta generación (5G) que han sido ampliamente usadas en las redes del internet médico de las cosas (IoT). Las diferentes aplicaciones 5G pueden aportar servicios rápidos y convenientes a los usuarios, siempre teniendo en cuenta el desafío de asegurar las comunicaciones en particular en los temas de salud. Por este motivo, las redes de comunicaciones IoT médicas requieren capas físicas de seguridad, teniendo en cuenta el impacto de correlación de antena mediante el desarrollo de esquemas de clasificación de códigos (code scrambling scheme) y desempeño de secreto analizado (analyzed secrecy performance). Se ha estudiado, asimismo, mediante redes de retransmisión cognitiva (cognitive relay networks) el problema de la adjudicación de recursos. Recientemente, se están utilizando distintas técnicas de aprendizaje

automático (machine learning) a las comunicaciones 5G para optimizar la seguridad como el modelo support vector machine (SVM) para patrones de clasificación, el modelo extreme learning machine (ELM) para detectar estados de anomalías y el modelo de general regression (GR) para predecir la calidad de transmisión de video. Deberá enfatizarse la privacidad del rendimiento en tiempo real.

Shah y colaboradores (2021), considerando que el tanto el MEWS (Modified Early Warning Score) como el quickSOFA (quick Sepsis-related Organ Failure Assessment) exhiben solo un rendimiento moderado en la predicción del deterioro clínico de los pacientes con sepsis y debe ser evaluado a menudo utilizando medidas agregadas en el tiempo, analizó, mediante un estudio de cohorte, una estrategia simulada prospectiva de validación que evaluara múltiples predicciones por día de los pacientes para lograr la evaluación más pragmática. Utilizó el modelo de deterioro de la red neuronal recurrente profunda (deep recurrent neural network deterioration) junto a un modelo de regresión logística en 4 hospitales en EE. UU. Se analizaron las historias clínicas electrónicas de 146.446 pacientes durante 16.75 millones de pacientes hora. La tasa de eventos horaria fue de 1.6%. Encontró que los scores utilizados comúnmente para evaluación de deterioro clínico junto con los modelos de IA evaluados mostraron muy bajo rendimiento cuando se evaluaban utilizando una validación prospectiva simulada y que ninguno de estos modelos era adecuado para su implementación en tiempo real.

Churpek y colaboradores (2021), analizando este trabajo se preguntan por qué la exactitud de los algoritmos fue tan pobre planteando si podría estar relacionado con los criterios de inclusión de pacientes. También observaron que quizás otros métodos de aprendizaje profundo podrían haber funcionado mejor, tomando como referencia el trabajo de Tomasev y colaboradores (2019) sobre la exactitud de diferentes arquitecturas de deep learning en predecir la insuficiencia renal aguda. Plantean, asimismo, potenciales nuevos pasos como asegurar que el modelo es bueno y no tiene sesgos en poblaciones específicas de pacientes, que los datos resultantes del modelo se relacionen con recomendaciones de acciones específicas y ampliamente adoptadas por los profesionales y que, al combinar modelos exactos con interfaces utilizables y flujo de trabajo, faciliten a los miembros del equipo de salud a hacer las cosas mejor.

En cuanto a posibilidades futuras de la IA, Buch y colaboradores (2018) remarcan que la IA ahorra tiempo y mejora la eficiencia, pero siempre siguiendo tests adecuados para guiar la atención de los pacientes. Citan, como ejemplo, un paciente con diabetes tipo 2. Un clínico necesitaría tiempo para la lectura de las novedades de su paciente, para chequear los tests de glucemia y encontrar las guías

clínicas en un sistema desconectado. La IA automáticamente puede convertir los diálogos de voz en un texto validado, puede preparar los riesgos de complicaciones del paciente en base a los datos de laboratorio y clínicos tomados de la historia clínica electrónica y determinar las acciones a seguir, (como por ejemplo el umbral para el comienzo de las estatinas en bases individuales). Esta característica del IA se debe interpretar como una “medicina personalizada” dado que puede resumir una enorme información al mismo tiempo que como puede monitorear millones de ingresos puede también tener un rol significativo en la medicina preventiva.

El futuro de la IA debería estar dirigido hacia una selección cuidadosa que integren estos sistemas a la práctica clínica mediante la construcción de un beneficio mutuo entre ambos aspectos con el aporte de mayor eficiencia y costoefectividad por un lado y el aporte de los profesionales del conocimiento clínico necesario. Debe quedar claro que la IA no reemplaza la cara humana de la medicina, sino que es un complemento sumamente útil para los profesionales en la toma de las decisiones.

En el caso de búsqueda de trabajos científicos en bases de datos, un ejemplo es el portal de PubMed® de la National Library of Medicine (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>) del Instituto Nacional de Salud (NIH) de los EE. UU. PubMed® contiene más de 32 millones de citas de literatura biomédica en MEDLINE (https://www.nlm.nih.gov/medline/medline_overview.html), revistas médicas y libros en línea. Las citas pueden incluir enlaces al texto completo desde PubMed Central (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/>) y los sitios web de los editores.

Ya en el año 2003, Aphinyanaphongs y Aliferis reportaron que la disciplina de Medicina basada en la Evidencia (Evidence Based Medicine - EBM) constituye un método formal y quasiformal de identificación de información de alta calidad médica para permitir que los pacientes reciban la mejor atención médica disponible. En este contexto, PubMed y otras fuentes de recursos bibliográficos similares utilizan herramientas de búsqueda que emplean consultas booleanas¹ preconstruidas con asistencia tecnológica. Estas consultas clínicas se derivan de una aplicación combinada de entrevistas a los usuarios, un manual ad-hoc de revisión de calidad de documentos y de una búsqueda en un espacio limitado de consultas booleanas disyuntivas. Los autores exploraron una poderosa metodología de categorización

1 En matemáticas, una función booleana es una función cuyo dominio de los modelos dominio son las palabras conformadas por los números binarios 0 o 1 (“falso” o “verdadero”, respectivamente) y cuyo codominio son ambos valores 0 y 1. Casanova, G. El álgebra de Boole. 1975. Editorial Tecnos. ISBN 84-309-0580-4.

de texto (machine learning) para identificar contenidos específicos y artículos de PubMed y encontraron que superaba la búsqueda de PubMed basada en los filtros de consultas clínicas booleanas en poder discriminatorio.

Miwa y colaboradores (2013) exploraron métodos novedosos asociando las reacciones del modelo de camino (pathway model reactions) a publicaciones relevantes. Se extraen las reacciones directamente de los modelos y se las vuelca en consultas de tres sistemas de búsqueda de literatura de MEDLINE basados en la minería de textos. Los autores evaluaron varios métodos de clasificación utilizando varios abordajes heurísticos y de machine learning. En su experiencia el sistema basado en la máquina de vectores de apoyo (Support Vector Machine-based system) superó varias líneas de base e igualó el rendimiento del sistema basado en la regla. El éxito de estos métodos de extracción de consulta y clasificación son utilizados en la actualización del sistema de búsqueda denominado PathText (<http://www.nactem.ac.uk/pathtext2/>).

Recientemente, Kang y colaboradores (2021) presentaron una revisión de la actualización de PubMed en los últimos dos años. Consideran que su reciente actualización 2021 ha generado funciones y agregado nuevas características que facilitan la identificación de artículos y prepublicaciones (preprints). Con un proceso de búsqueda de tres pasos, estas actualizaciones facilitarán a los profesionales del equipo de salud a efectuar búsquedas eficientes en respuesta a las preguntas clínicas relacionadas con el tratamiento, el diagnóstico, la etiología o el pronóstico para casi todas las enfermedades específicas. Recomiendan que luego de la evaluación crítica, los estudios relevantes clínicamente sean utilizados de una manera consciente, explícita y juiciosa para guiar las decisiones clínicas con los valores y las preferencias de los pacientes.

Zhang (2021) teniendo en cuenta que el envejecimiento de la sociedad se asocia a que el ataque cerebral isquémico agudo (stroke, ACIA) sea la primera causa de muerte en las enfermedades crónicas remarca la importancia de la IA en el campo de las imágenes. El aprendizaje profundo (deep learning) en el estudio de imágenes del ACIA puede facilitar la detección de segmentación inteligente, detección de foco, análisis de imagen, predicción y tratamiento de imágenes isquémicas agudas explorando la información profunda de la imagen, para reducir errores humanos y mejorar significativamente la eficiencia clínica. Este desarrollo provee, además, una solución más efectiva para la rehabilitación futura de los pacientes. El principal inconveniente, en la actualidad, es la pequeña muestra de casos ya que no hay más ensayos clínicos para lograr la estandarización de la profundidad del aprendizaje. El aprendizaje profundo (deep learning, DL) debería colaborar en conjunto con la

morfología del ACIA en una evaluación inteligente, exhaustiva de la patogenia del ACIA y de la alerta precoz de su ocurrencia.

Es fundamental tener en cuenta que la investigación interdisciplinaria en profundidad es la fuente de la vitalidad de la IA para una medicina moderna, personalizada y exacta. En la medida de la aparición de nuevos diseños experimentales basados en la eficacia clínica se lograrán extraordinarios avances en este campo.

En ese sentido Pan y colaboradores (2021) exploraron la aplicación del valor de imágenes multimodales de las Imágenes por Resonancia Magnética (IRMM, Multimodal Magnetic Resonance Imaging - MRI) basadas en una red neuronal convolucional profunda (deep convolutional neural network - Conv.Net) en el diagnóstico de ACIA. Encontraron que la versión tridimensional de la Convolutional Neural Networks (CNNs / ConvNets) mostró una alta exactitud y mejoró los indicadores con buenos coeficientes de segmentación, que no solo aseguran su exactitud sino también evitan problemas de degradación de la red neuronal.

Hakim y colaboradores (2021), refieren que el desafío de la segmentación del ACIA (ISLES, Ischemic Stroke Lesion Segmentation) genera la competencia de varias disciplinas para desarrollar herramientas avanzadas para el análisis de las lesiones de los ACIAs utilizando el modelo de aprendizaje automático (machine learning). La detección de daño tisular irreversible en la tomografía computada de perfusión (TCP) es a menudo necesaria para la elegibilidad de la trombectomía en pacientes con ventana tardía. En consecuencia, el objetivo de ISLES 2018 fue evaluar la segmentación del tejido infartado basados en las imágenes ponderadas por difusión como estándar de referencia. El estudio se efectuó en 4 centros y en 103 pacientes (63 casos de entrenamiento y 43 de prueba con oclusión aguda de una arteria mayor de la circulación anterior). El método de aprendizaje automático puede predecir el tejido infartado con marcada exactitud comparada con los métodos utilizados de rutina. Propone su uso abierto y que puede ser utilizado para mejorar los algoritmos en el tiempo.

Implicaciones regulatorias y limitaciones para el avance de los algoritmos

Así como los algoritmos muestran numerosos beneficios potenciales para los profesionales y los pacientes también requieren aspectos regulatorios. La FDA de los EE. UU. ya aprobó algunos algoritmos de asistencia pero actualmente no existe una guía de aprobación universal.

Así como la IA puede ayudar en el diagnóstico y en las tareas clínicas básicas es difícil de imaginar una cirugía cerebral automatizada. Son necesarias guías esclarecedoras de la FDA con requerimientos específicos para los algoritmos que podría resultar en un repunte de los algoritmos clínicamente desarrollados.

La FDA cuenta con criterios estrictos de aceptación para ensayos clínicos, que requieren extrema transparencia en relación con los métodos científicos. Muchos algoritmos dependen de procesos muy intrincados, difíciles de desarrollar desde el punto de vista matemático, denominados “caja negra” para obtener desde el ingreso de los datos hasta el resultado final. La incapacidad de desarmar la caja negra y clarificar los trabajos internos de un algoritmo impactan en la probabilidad que la FDA apruebe o no un ensayo que se base en la IA. Es entendible que los investigadores, las compañías y los empresarios sean reacios a exponer sus métodos al público y el riesgo de pérdida económica por la posibilidad de que sus ideas sean tomadas por otros.

Si las leyes de patentes cambian desde su estado actual, donde un algoritmo es técnicamente solo patentable si es parte de una máquina física, la ambigüedad que rodea a los detalles el algoritmo podrían disminuir. Por otra parte, el aumento de la transparencia, en el corto plazo es necesaria para que los datos del paciente no sean mal o impropriadamente manejados y podría ser más fácil determinar si un algoritmo es absolutamente exacto en la clínica.

Además de los obstáculos para la aprobación de la FDA, los algoritmos de IA pueden también enfrentar dificultades para alcanzar la confianza y la aprobación de los pacientes. Sin ese conocimiento claro de cómo funcionan los algoritmos para ser aprobados para el uso clínico, los pacientes pueden no permitir el uso en sus necesidades médicas.

La toma correcta de decisiones es una función de la estructura de los datos utilizados, elemento importante para que tenga una funcionalidad adecuada. Con datos equivocados, los algoritmos pueden generar resultados equivocados. Existe la posibilidad de que los individuos que crean algoritmos pueden no conocer que los datos que incorporaron eran erróneos hasta que es muy tarde y podrían generar mala praxis. Este error puede ser evitado por los profesionales médicos y los programadores si están bien informados acerca de los datos y los métodos necesarios para usar esta información correctamente en el algoritmo. Es necesario establecer relaciones entre los clínicos que conocen las especificidades de los datos clínicos y los programadores que crean los algoritmos para evitar que estos últimos aprendan a hacer elecciones incorrectas.

El discernimiento apropiado de las limitaciones de los algoritmos y el adecuado conocimiento de los datos clínicos por los programadores son clave para crear algoritmos utilizables en la clínica. Puede ser necesario para las compañías sacrificar secretos de la funcionalidad de los algoritmos para evitar los vetos metodológicos de una amplia audiencia y apuntar a las fuentes de error que pueden impactar en la atención del paciente. Todavía se está lejos de algoritmos que operen independientemente en la clínica, especialmente dada la falta de una vía clara para la aprobación clínica. Definir la calidad necesaria de un algoritmo para ser considerado suficientemente exacto mientras se tiene en cuenta las potenciales fuentes de error en la toma de decisiones y la transparencia de donde acierta y donde puede fallar, permitiría la aceptación del público para suplantar a los profesionales en ciertas tareas. Estos desafíos deben ser superados para incrementar universalmente la exactitud y eficiencia de la práctica médica de diversas enfermedades.

En cuanto a la privacidad de los datos, las compañías desarrolladoras deben comprometerse a crear productos seguros y que mantengan la privacidad y que sus datos serán protegidos para fomentar la adherencia de los ciudadanos a compartir sus datos.

Para mayor información de los aspectos legales y jurídicos incorporados en la legislación argentina, se recomienda la lectura del capítulo correspondiente a la Academia del Derecho y las Ciencias Sociales.

aspectos éticos de la inteligencia artificial

Eric Sadin (1973), escritor y filósofo francés ha efectuado en sus reiteradas obras reflexiones acerca de la sociedad que se avecina y sobre lo que está en juego en un mundo invadido por una tecnología en constante progreso dirigido a la digitalización de las actividades, los gestos y las emociones del ser humano. Propone que el panorama es inquietante ya que el ser humano pierde su poder de decisión y se somete al saber absoluto que le facilita la máquina en tiempo récord.

Refiere que “todo el mundo ha oído hablar de la IA, pero nadie sabe lo que es realmente y aun menos sus consecuencias. Todo es tan precipitado que no nos paramos a pensar en ellas. Lo damos todo por hecho, como si fuese el curso normal de las cosas, pero es un grave error. No nos hacemos las buenas preguntas”. Agrega, además, que “estos sistemas constituyen un órgano capaz de valorar la realidad de una manera más fiable que nosotros mismos y revelarnos dimensiones, hasta ahora escondidas de nuestra conciencia. Es muy perturbadora su capacidad para enunciar la verdad

basada en ecuaciones frente a las cuales el ser humano no puede decir nada”.

No está convencido acerca de la dinámica que ha emprendido el planeta hacia la mayor optimización posible, la perfección y la automatización de la existencia. Considera que la humanidad se somete a un sistema utilitario que le roba o sustituye su esencia y los transforma en un simple blanco del mercado. Pinta la humanidad al servicio de la herramienta

Con respecto a la IA aplicada a la medicina refiere que “las dudas, la ambigüedad, el temor, el cansancio y la subjetividad son propias de la humanidad y no existe en el mundo de los algoritmos. Dicen que la medicina es el ámbito que más se va a beneficiar de estos sistemas superinteligentes para los diagnósticos, pero no es cierto”. “La realidad de la pandemia de COVID 19 nos ha dado en plena cara y la IA no ha sido capaz de verla venir. No ha dado ninguna señal de alarma. Hemos sido humillados. Nos ha sobrepasado a todos”.

La preocupación mayor de Sadin es que no se hable lo suficiente de que se está intentando robotizar e incluso borrar el caos, esencial al mundo con sus cualidades y defectos. “Estos sistemas tratan de homogeneizar a la sociedad con esa inquietud permanente de alcanzar la perfección... Los seres humanos seguimos siendo multisensoriales, complejos, contradictorios y plurales... Ya no son los seres humanos los que van hacia los productos, los productos son los que se presentan a las personas. Entramos en una sociedad de la recomendación y la sugerencia automatizada y personalizada”.

Estos conceptos deben obligar al debate ético de la implementación de las ventajas de la inteligencia artificial mediante una incorporación progresiva, ética y equitativa para lograr el bienestar de toda la comunidad global. Se necesitará promover los consensos necesarios para asegurar su máxima efectividad para todo el mundo y el menor riesgo potencial asegurando la regulación por parte del estado que proteja a los usuarios en cuanto a su privacidad y su seguridad.

En ese sentido, la Academia Nacional de Medicina de Buenos Aires, es miembro del Inateracademy Partnership of Health y del Sustainable Health Equity Movement desde donde se enfatiza la necesidad de abordajes equitativos de todas las políticas para favorecer el acceso al sistema de salud a todos los habitantes del planeta en iguales condiciones.

Para finalizar, me parece adecuado citar a Buch y colaboradores quienes remarcan que “La futura investigación en IA debería estar dirigida a la integración de estos sistemas a la práctica clínica. Para ello es necesario construir una relación mutuamente beneficiosa entre la IA y los profesionales de la salud, en la que la IA aportará mayor eficiencia y costoefectividad y los profesionales los elementos

clínicos esenciales necesarios para aprender el manejo clínico complejo. Asimismo, será crítico asegurar que la IA no oscurece la cara humana de la medicina para evitar el mayor impedimento de su amplia adopción que es la vacilación de la sociedad en adoptar una tecnología actualmente en desarrollo”.

Lecturas utilizadas

- A six minutes introduction to AI. Copyright Snips 2016-2021. <https://snips.ai/>.
- CB Insights Research. Healthcare remains the hottest AI category for deals. 2017. <https://www.cbinsights.com/research/artificial-intelligence-healthcare-startupsinvestors/>
- Wang, H. Artificial Intelligence in E-Healthcare and M-Healthcare. *Journal of Healthcare Engineering / Published Special Issues / Special Issue*. 2021. https://www.hindawi.com/journals/jhe/si/523563/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=HDW_MRKT_GBL_SUB_ADWO_PAI_DYNA_JOUR_X&gclid=Cj0KCQjw3f6HBhDHARIsAD_i3D_GXG6mPfhYDrxt9O-ca11cKyNRux_vmubf5cNcyBiklicthmleBk4laAk1PEALw_wcB.
- World Innovations Forum. <https://worldmedicalinnovation.org/2018-day-three-recap/?highlight=artificial%20intelligence>
- Bresnick, Jennifer. Top 12 Ways Artificial Intelligence Will Impact Healthcare. Health IT Analytics. Xtelligent Health Care Media. 2018. <https://healthitanalytics.com/news/top-12-ways-artificial-intelligence-will-impact-healthcare>.
- Wolpaw JR, Millán JDR, Ramsey NF. Brain-computer interfaces: Definitions and principles. *Handb Clin Neurol*. 2020;168:15-23. doi: 10.1016/B978-0-444-63934-9.00002-0. PMID: 32164849.
- Nanwa N, Kwong JC, Krahn M, Daneman N, Lu H, Austin PC, Govindarajan A, Rosella LC, Cadarette SM, Sander B. The Economic Burden of Hospital-Acquired Clostridium difficile Infection: A Population-Based Matched Cohort Study. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2016 Sep;37(9):1068-78. doi: 10.1017/ice.2016.122. Epub 2016 Jun 20. PMID: 27322606.
- Lessa FC, Mu Y, Bamberg WM, Beldavs ZG, Dumyati GK, Dunn JR, Farley MM, Holzbauer SM, Meek JI, Phipps EC, Wilson LE, Winston LG, Cohen JA, Limbago BM, Fridkin SK, Gerding DN, McDonald LC. Burden of Clostridium difficile infection in the United States. *N Engl J Med*. 2015 Feb 26;372(9):825-34. doi: 10.1056/NEJMoa1408913. PMID: 25714160.
- Greenfield, D. Artificial Intelligence in Medicine: Applications, implications, and limitations. Harvard University. The Graduate School of Arts and Science. 2019. <https://sitn.hms.harvard.edu/flash/2019/artificial-intelligence-in-medicine-applications-implications-and-limitations/>
- Kent, Jessica. Artificial Intelligence Enhances Preventive Care, Telehealth. Analytics. Xtelligent Health Care Media. 2021. <https://healthitanalytics.com/news/artificial-intelligence-enhances-preventive-care-telehealth>.
- INTEL. Telemedicine Technology Powered by AI and IoT. <https://www.intel.com/content/www/us/en/healthcare-it/telemedicine.html>
- Kumar S, Merchant S, Reynolds R. Tele-ICU: Efficacy and Cost-Effectiveness Approach of Remotely Managing the Critical Care. *Open Med Inform J*. 2013;7:24-29. Published 2013 Aug 23. doi:10.2174/1874431101307010024. <https://www.cdc.gov/phlp/publications/topic/hipaa.html>
- Rajabalzadeh, A; Norouzi Nia, J; Safaei, N; Talafidaryani, M; Bijari, R et al. Exploratory Analysis of Electronic Intensive Care Unit (eICU) Database. medRxiv 2020.03.29.20042028; doi: <https://doi.org/10.1101/2020.03.29.20042028>.
- Mayampurath A, Hagopian R, Venable L, Carey K, Edelson D, Churpek M; American Heart Association's Get With the Guidelines-Resuscitation Investigators. Comparison of Machine Learning Methods for Predicting Outcomes After In-Hospital Cardiac Arrest. *Crit Care Med*. 2021 Aug 18. doi: 10.1097/CCM.0000000000005286. Epub ahead of print. PMID: 34406171.
- Coustasse A, Deslich S, Bailey D, Hairston A, Paul D. A business case for tele-intensive care units. *Perm J*. 2014;18(4):76-84. doi:10.7812/TPP/14-004.
- Scurlock, C., Becker, C. Telemedicine for Trauma and Emergency: the eICU. *Curr Trauma Rep* 2, 132–137 (2016). <https://doi.org/10.1007/s40719-016-0054-y>.
- Kuziemsy C, Maeder AJ, John O, et al. Role of Artificial Intelligence within the Telehealth Domain. *Yearb Med Inform*. 2019;28(1):35-40. doi:10.1055/s-0039-1677897.
- David, C. How is AI transforming Telehealth. <https://ai4.io/how-ai-is-transforming-telehealth>.
- Willige, A. This is what healthcare leaders see as the future for digital health. 2021 World Economic Forum. <https://www.weforum.org/agenda/2021/05/digital-health-telemedicine-telehealth-ai-digitalize-health-services/>.
- Wierzba, S; Brodsky, J. Interjurisdiccionalidad en la telemedicina. Una mirada jurídica. *Revista La Ley*. Año LXXXV; N° 121 TOMO LA LEY 2021-D ISSN: 0024-1636 - RNPI: 5074180.
- Council of Europe. Ad hoc Committee on Artificial Intelligence (CAHAI) secretariat. AI and control of Covid-19 coronavirus. <https://www.coe.int/en/web/artificial-intelligence/ai-and-control-of-covid-19-coronavirus>.
- Holder, A; Shashikumar, S; Wardi, G; Buchman, T; Nemati, S. A Locally Optimized Data-Driven Tool to Predict Sepsis-Associated Vasopressor Use in the ICU. *Crit Care Med*. 2021; XX:1-9. DOI: 10.1097/CCM.0000000000005175.
- Liang, S; Chen, X; Ma, J; Du, W; Ma, H. An Improved Double Channel Long Short-Term Memory Model for Medical Text Classification. *Journal of Healthcare Engineering*. 2021; Article ID 6664893, <https://doi.org/10.1155/2021/6664893>.
- Ahmad, I; Ullah, I; Ullah Khan, W; Ur Rehman, A; Adrees, M; Qaiser Saleem, M; Cheikhrouhou, O; Hamam, H; Shafiq, M. Efficient Algorithms for E-Healthcare to Solve Multiobject Fuse Detection Problem. *Journal of Healthcare Engineering*. 2021, Article ID 9500304, <https://doi.org/10.1155/2021/9500304>.
- Pesapane F, Codari M, Sardanelli F. Artificial intelligence in medical imaging: threat or opportunity? Radiologists again at the forefront of innovation in medicine. *Eur Radiol Exp*. 2018 Oct 24;2(1):35. doi: 10.1186/s41747-018-0061-6. PMID: 30353365; PMCID: PMC6199205.
- Yin F, Xiao P, Li Z. ASC Performance Prediction for Medical IoT Communication Networks. *J Health Eng*. 2021 May 27;2021:6265520. doi: 10.1155/2021/6265520. PMID: 34136110; PMCID: PMC8178003.
- Shah PK, Ginestra JC, Ungar LH, Junker P, Rohrbach JI, Fishman NO, Weissman GE. A Simulated Prospective Evaluation of a Deep Learning Model for Real-Time Prediction of Clinical Deterioration Among Ward Patients. *Crit Care Med*. 2021 Aug 1;49(8):1312-1321. doi: 10.1097/CCM.0000000000004966. PMID: 33711001; PMCID: PMC8282687.
- Churpek MM, Edelson DP. Scratching the Surface of Clinical Deterioration With Deep Learning. *Crit Care Med*. 2021 Aug 1;49(8):1366-1368. doi: 10.1097/CCM.0000000000004982. PMID: 34261930.
- Tomašev N, Glorot X, Rae JW, Zielinski M, Askham H, Saraiva A, Mottram A, Meyer C, Ravuri S, Protsyuk I, Connell A, Hughes CO, Karthikesalingam A, Cornebise J, Montgomery H, Rees G, Laing C, Baker CR, Peterson K, Reeves R, Hassabis D, King D, Suleyman M, Back T, Nielson C, Ledsam JR, Mo-

hamed S. A clinically applicable approach to continuous prediction of future acute kidney injury. *Nature*. 2019 Aug;572(7767):116-119. doi: 10.1038/s41586-019-1390-1. Epub 2019 Jul 31. PMID: 31367026; PMCID: PMC6722431.

Buch VH, Ahmed I, Maruthappu M. Artificial intelligence in medicine: current trends and future possibilities. *Br J Gen Pract*. 2018 Mar;68(668):143-144. doi: 10.3399/bjgp18X695213. PMID: 29472224; PMCID: PMC5819974.

Aphinyanaphongs Y, Aliferis CF. Text categorization models for retrieval of high quality articles in internal medicine. *AMIA Annu Symp Proc*. 2003;2003:31-5. PMID: 14728128; PMCID: PMC1480096.

Miwa M, Ohta T, Rak R, Rowley A, Kell DB, Pyysalo S, Ananiadou S. A method for integrating and ranking the evidence for biochemical pathways by mining reactions from text. *Bioinformatics*. 2013 Jul 1;29(13):i44-52. doi: 10.1093/bioinformatics/btt227. PMID: 23813008; PMCID: PMC3694679.

Kang P, Kalloniatis M, Doig GS. Using Updated PubMed: New Features and Functions to Enhance Literature Searches. *JAMA*. 2021 Aug 10;326(6):479-480. doi: 10.1001/jama.2021.12021. PMID: 34309625.

Collins M. PubMed updates February 2019. *NLM Tech Bull*. 2019;426:e4.

Chan J. PubMed labs: advanced search, history, and search details. *NLM Tech Bull*. 2019;427:e3.

Collins M. The new PubMed is here. *NLM Tech Bull*. 2021;431:e3.

Chan J. PubMed clinical queries update coming soon. *NLM Tech Bull*. 2020;436:e8.

National Library of Medicine. NLM announces NIH preprint pilot to provide early access to COVID-19 research. *NLM Tech Bull*. 2020;434:e3.

ShojaniaKG, BeroLA. Taking advantage of the explosion of systematic reviews: an efficient MEDLINE search strategy. *Eff Clin Pract*. 2001;4(4):157-162.

Collins M. PubMed labs update: using filters. *NLM Tech Bull*. 2019;429:e2.

Zhang S, Zhang M, Ma S, et al. Research Progress of Deep Learning in the Diagnosis and Prevention of Stroke. *Biomed Res Int*. 2021;2021:5213550. doi:10.1155/2021/5213550.

Pan Y, Zhang H, Yang J, et al. Identification and Diagnosis of Cerebral Stroke through Deep Convolutional Neural Network-Based Multimodal MRI Images. *Contrast Media Mol Imaging*. 2021;2021:7598613. Published 2021. doi:10.1155/2021/7598613.

Hakim, A; Christensen, S; Winzeck, S; Lansberg, M; Parsons, Christian Lucas, et al. Predicting Infarct Core From Computed Tomography Perfusion in Acute Ischemia With Machine Learning: Lessons From the ISLES Challenge. *Stroke*. 2021;52:2328-2337. <https://doi.org/10.1161/STROKEA-HA.120.030696>.

Eric Sadin. <https://elpais.com/tecnologia/2020-07-21/eric-sadin-la-pandemia-mostro-que-hacen-falta-mas-material-y-camas-que-inteligencia-artificial.html>

Eric Sadin. 1973. Francia.

Surveillance globale. climats. Flammarion. 2009.

La société de l'anticipation. Essais. Inculte. 2011.

L'Humanité augmentée. Pour en finir avec. L'Échappée. 2013.

La vie algorithmique. Pour en finir avec. L'Échappée. Febrero de 2015.

La silicolonisation du monde. Pour en finir avec. L'échappée. 2016.

L'Intelligence artificielle ou l'enjeu du siècle. Pour en finir avec. L'Échappée. Octubre 2018.

<https://www.sustainablehealthequity.org/>.

<https://www.interacademies.org/project/sustainable-health-equity-movement-shem>.

ACADEMIA NACIONAL DE PERIODISMO

Posible rapto del periodismo por la informática.

Serías trabas dificultan que exista una definición precisa y aceptada con amplitud acerca del trajinado concepto de “inteligencia artificial”, bajo el cual se consiguen diversas derivaciones del desarrollo de las técnicas de procesamiento electrónico de datos; todo concurre, además, a que debemos sustentar la presunción de que en el tiempo inmediatamente próximo –el de la extensión de nuestras vidas, por ejemplo–, las incertidumbres al respecto, lejos de disiparse, serán todavía mayores.

Los motivos que determinan esa imprecisión apenas si residen en particularidades atribuidas o atribuibles a los medios operantes en esos procesos; preferentemente, obedecen a la naturaleza esencialmente ambigua de los idiomas humanos, aunque acaso, también, a causas más profundas, radicadas en ansiedades adheridas a nosotros, en oscuras e inconscientes renuencias a la intelección real.

Hasta aquí, ese desarrollo –portentoso, por otra parte, y de crucial importancia para el desenvolvimiento de múltiples actividades– está limitado a la esfera de la robótica y, más comúnmente, al almacenamiento, disponibilidad y ordenamiento de datos y, ante casos muy específicos, a la posibilidad de que las máquinas adopten autónomamente la decisión de seguir tal o cual comportamiento, maniobra las dos que las técnicas disponibles son capaces de realizar con mucha más velocidad de lo que lo haría un operador humano.

Asimismo hasta aquí, la aplicación de esas capacidades ha sido en especial ofinesca y burocrática, y –en un grado más avanzado– militar, y es ya de evidencia obvia que en esta esfera resulta hoy imprescindible: automáticamente se detecta la posibilidad, o la concreción, de que está en marcha la ejecución de un ataque –quizá dispuesto, a la vez, de la misma manera impersonal– y se activan los elementos que deberían conjurarlo. Hace décadas que los sistemas de defensa antiaérea son operados mayormente de esa manera, siempre en los términos de una unidad previamente establecida a la que se busca preservar, no importa qué se entienda bajo ese nombre: un barco o una flota, una base, una ciudad o una región.

Una simple extensión de ese concepto lleva a proponer similares formulaciones para otras áreas de actividad, en algunas de las cuales ya está en vías de uso, como lo es la de determinar diagnósticos médicos mediante la utilización de un método

afín, o la elaboración de cálculos de sustentabilidad en obras de ingeniería, mientras se hallan en espera otras aún teóricas expansiones, que podrían abarcar desde la administración financiera al dictamen de la pena para un delito según la acumulación de pruebas, testimonios, descargos, etc. En principio, y en relación con las tareas de compilación de datos, de rastreo de archivos, de comparación de casos y de análisis de estadísticas, la aptitud de esa llamada “inteligencia artificial” consiste en acelerar y en amplificar extraordinariamente los procedimientos necesarios a esos fines, de modo que en brevísimo tiempo los resultados están disponibles y en lapso asimismo mínimo, decidido el paso siguiente, a saber: la respuesta ante la situación planteada.

Es indudable la importancia magna de innovaciones de este cariz, que permiten extender inconmensurablemente el campo de influencia de distintos factores, productos de la cultura. Todo llega así más lejos y más rápido; esto es indudable. Y, entretanto, también lo es que el “otro” –el socio, el competidor, el rival, el adversario– cuenta, o eventualmente puede contar, con recursos similares a su disposición, de suerte que inexorablemente cada quien, a su turno, se verá ante la necesidad insoslayable de afinar los propios para mantenerse en condiciones siquiera de paridad: ante la posesión por parte de un potencial enemigo de armas de esa índole y, de existir la decisión de enfrentarlo, no hay alternativa a la imposición de proveerse de un arsenal similar.

Por cierto, el despuntar de esos medios ha originado que surgieran perplejidades y aprehensiones, varias de ellas difundidas de manera extensa aunque por ahora forzosamente acrítica. Sin duda, las más conocidas se refieren a lo que sucederá en el ámbito socioeconómico, pues la generalización previsible de la robotización, connatural a la automatización digital, hace presuntamente inevitable, en la escala grande, que se produzcan marcados fenómenos de desempleo, tales como en su momento los provocaron las sucesivas revoluciones industriales; y en la escala chica, la extinción de no pocas ocupaciones y oficios. En efecto, ¿qué será, de aquí en más, de archiveros y bibliotecarios, qué de los empleados administrativos y de los obreros rutinarios? ¿Qué será de los aviadores en el mundo de los drones, y qué de los soldados, si en las trincheras se agazapan robots?

Para esos temas, por supuesto, no tenemos respuesta y es probable que de continuar las cosas el rumbo que llevan, no haya otra más que lamer heridas. Pero sí hay respuestas, en cambio, para el otro fundamento de las objeciones principales que se le hacen a la inteligencia artificial: las que se asientan en consideraciones éticas acerca del aparentemente inseguro terreno que las nuevas técnicas establecen.

Ante preguntas del tipo de ¿cuál sería la relación de un médico con su paciente si atiende más a lo que indica una pantalla, que a su propia auscultación?, o ¿cuál debe ser nuestro criterio ante un cirujano que delega sus funciones en un robot?, las contestaciones dependen –según es fácil comprender– del resultado de la terapia, lógica acorde con aquello viejo de Shakespeare: “todo está bien si termina bien”. Quedará, pues, para los facultativos la responsabilidad, entendiéndose que ambos no han hecho más que usar un estetoscopio y un bisturí, respectivamente, en especial complejos. Lo mismo le cabe al ingeniero, quien no podrá culpar a su computadora si el puente no resiste el peso previsto; y si un jefe dispuso que en ciertas condiciones se disparesen misiles sin que medie orden expresa, la responsabilidad no se la podrá sacar de encima por mucho que arguya: en un caso la computadora no ha sido sino sucedáneo de la mesa de dibujo, y en otro, de un obsoleto sable desenvainado.

En comparación, mucho más arduo sería el caso de un juez que confiara la compilación de pruebas, la índole de los alegatos y el pronunciamiento mismo de la sentencia a un artilugio sistematizado cualquiera, lo que por otro carril equivaldría a una especie de autoinmolación, pues la consecuencia explícita sería la supresión de la figura humana del juez, con lo que toda la acción judicial genuina vendría a recaer en la formalidad extrajurídica del indulto: viene aquí al caso lo narrado en *Los miserables*, de Víctor Hugo; un hombre roba un pan y el juez debe condenarlo y el policía obligarlo a cumplir la condena... Ése es el mandato que tienen.

“Señor: pero robó ese pan para dar de comer a sus hijos...” A su turno, Hans Kelsen nos aclarará que la solución del intríngulis es extrajudicial y que corresponde a las atribuciones del “príncipe” la capacidad de indultar, pero nada dijo acerca de si éste puede delegar esa potestad en un robot sensible y comprensivo, así como el magistrado lo había hecho en un robot leguleyo.

A esta altura, es evidente que tanto los ditirambos esperanzados como las sombrías reservas que está mereciendo esa inteligencia artificial todavía no demasiado conceptualizada, son efecto por un lado de las dificultades que, en mayor o menor medida, todos tenemos para adaptar nuestra persona a los cambios del entorno, y, por otro, de lo inadecuada que es la designación que se le aplica. Si lo primero nos hace temer, por las incertidumbres que crea, lo segundo nos extravía y conduce nuestros pensamientos por los reinos de lo fantástico.

Ciertamente esta exposición ganaría en claridad, en rigor y en pertinencia intelectual, si en vez de girar en torno de la expresión “inteligencia artificial”, hubiese regido el juego la de “racionalidad artificial”, o, si se pretende ser exacto, “función matemática aplicada”, porque a eso compete, en la práctica, el tema en cuestión.

La racionalidad, sin duda, es parte de la inteligencia, tanto humana como animal, pero no es en sí la inteligencia; ésta está, además, conformada por pulsiones, emociones y gustos en que intervienen lo atávico y lo estético, y encadenada –en el caso humano– a tradiciones culturales, con el efecto visible de que sólo muy a los tirones un acto complejo de un ser cualquiera puede ser referido puramente a lo racional.

El sentido de utopía que esa designación deja entrever se nos vuelve entonces notorio; vemos que él informa las ilusiones, quimeras y espantos que por su causa rondan a tantas conciencias (1), en una repetición del fenómeno de expectativa que ha acompañado a todas las grandes transformaciones, porque, al respecto, la humanidad cree hallarse ante una novedad cuyas eventuales proyecciones se anuncian tan grandes y a la vez tan prometedoras, que asusta.

No obstante, sujetos al cartabón de la prudencia académica, a lo más cabe indicar que estamos ante una nueva vuelta de tuerca del paulatino desarrollo de la ciencia aplicada a la técnica –proceso, además, cada vez más vertiginoso– que ha caracterizado a este muy pequeño transcurso temporal que abarca los tres últimos siglos, como sabemos con consecuencias extraordinariamente benéficas, junto con otras –las menos– de excepcional perversidad: es cometido de investigadores y de estudiosos ayudar a traer lo nuevo y, al mismo tiempo, ayudarnos para que en nuestras manos esa innovación sirva también para lo bueno, sin perjuicio de que algún vuelto vaya al bolsillo de lo malo.

El aludido tema léxico no es mínimo y nos impone asumir una limitación que es central en una reunión de carácter interacadémico, donde justamente las discrepancias sobre el alcance de las denominaciones y acerca de la calidad de lo que engloban, deben ser aceptadas como moneda de uso corriente entre los partícipes, ya que al tener las diversas academias esferas de competencia distintas, el valor de las palabras adquiere para cada una dimensión diferente. Es inevitable que así sea: no es lo mismo ciencia que arte, ni la misma cosa investigación que aplicación, ni tampoco lo son teoría social y función social, ni empirismo y tradición que lógica. En verdad, no sólo se nos presenta como irremediamente ilusoria la presunción de que en algún momento se habrían de unificar esos léxicos dispares, sino que, por el contrario, es natural suponer que, montados en la gran tendencia secesionista hacia la especialización, cada vez discreparán más y de modo más abierto.

Lo particular

Sólo tras entender –o haber desentrañado en parte– el sentido del orden general en curso es que cabe abrir las puertas a la consideración de sus particularidades: sin este previo exordio todo lo que continúa sería por demás confuso y hasta caótico.

El primer dato de observación obtenido es que hay áreas doctas –en el caso nuestro, academias–, algunas de las cuales corresponden a porciones del saber y otras a la búsqueda del saber. Sin necesidad de profundizar demasiado, tenemos evidencia de que unas comunidades de interés se centran en lo especulativo y otras en lo pragmático; que las hay con prevalencia del espíritu de investigación, en tanto que en otras prima una actitud de enseñanza; que existen las que trabajan en la elaboración de normas mientras otras lo hacen tratando de discutir esas mismas normas. Y vemos, también, que aun donde hay afinidades notorias, las discrepancias asimismo existen, tras lo cual se hace insoslayable admitir que muy distintos son un físico y un ingeniero, un bioquímico y un médico, un lingüista y un literato.

Al estar manifestándome a través de un encargo de la Academia Nacional del Periodismo, me es forzoso –y por lo mismo, ético– encarar el tema de la inteligencia artificial desde el punto de vista de la actividad que ella representa, acerca del modo en que está afectándola, el uso que el ejercicio del periodismo podría darle y las limitaciones ante las que lo coloca su exponencial crecimiento. Hallo –mal que me pese desde un punto de vista estrictamente intelectual–, que todo intento de apartarme de ese enfoque convertiría el escrito presente en potencial arbitrariedad y aun en franco despropósito, a despecho de la voluntad humanística del autor y no obstante su relativa baquía tecnológica, dado que se desnaturalizaría la finalidad de su empeño, apuntado a exponer las expectativas y la desprotección de un sector ante un fenómeno extremadamente vasto, que a la vez lo amenaza y le sonrío.

No menos que las demás empresas actuantes en los restantes sectores económicos, las que lo hacen en el medio periodístico han tratado de estar al día en las determinadas áreas que le conciernen, en particular y en lo que acá nos interesa, con motivo del revolucionario desarrollo que en el transcurso del siglo pasado tuvieron las transmisiones y la conectividad, todo esto bien antes de la aparición del concepto aquí tratado. Así, de mediados de la década de los años 20 es la aparición de la radiofonía comercial y noticiosa, y de fines de la siguiente, la difusión de los teletipos, instrumento que vino a universalizar la información, de lo que la primera muestra fueron la magnitud y los detalles de los relatos que dieron cuenta de la II Guerra Mundial, ya en una época en que era perceptible la decadencia de la modalidad gráfica del periodismo en beneficio de otras que paulatinamente iban surgiendo.

Con la celeridad que los disímiles recursos permitían, esas empresas abordaron la automatización de sus imprentas, de sus sistemas administrativos y comerciales, de sus estructuras de captación de avisos y de sus medios de distribución, en tanto la electrónica y sus derivados iban ocupando más y más lugar en el conjunto; sin que en ningún momento –conviene señalarlo–, se produjera una irrupción inesperada de innovaciones. Paso a paso, de manera cautelosa y presuntamente organizada, toda la actividad fue embarcándose, temprana y metódicamente, en la modernidad, en un proceso ajeno a situaciones inopinadas, como sí ocurrieron en otras áreas, de lo que cabal ejemplo son la docencia, la judicatura y la administración estatal, donde todo sobrevino como avalancha.

Y es comprensible ese adelantamiento del periodismo, en una época en que solía congregarse a personalidades de sólida formación y disponer de ingresos considerables, sin olvidar que, de suyo, está también hecho para informar, y que, por lo tanto, generalmente está informado y es más: se halla habituado a estarlo; en todo caso, previno –hasta exageradamente en cuanto a los tiempos– sobre la naturaleza de los cambios que estaban en marcha, sin que por décadas se le prestase mayor atención.

Lo anunciado por último ocurrió, y en modo alguno el periodismo fue tomado por sorpresa: ya entre 1950 y 1970 surge en su seno una intensísima disputa teórica sobre las consecuencias de lo que se hallaba en elaboración, a la vez que se establecía y afianzaba la idea de que la modalidad “de información general” –los *mass media* de la tradición anglosajona– iba a ser absolutamente superada por la evolución del público y condenada a la extinción a cierto plazo, como en efecto quedó corroborado más tarde.

Luego vinieron la computadorización, la informática y las redes y todas ellas son vías abiertas que se ofrecen para incrementar las posibilidades de quien las use, lo que asimismo es verdad para el periodista. No es cierto que éste esté en lucha contra esos dispositivos, sino que en realidad es exactamente lo contrario: una visión muy frívola y muy superficial de lo que está sucediendo presenta al periodismo centrado en un enfrentamiento con Internet, en función de luchas originadas por la reproducción de los “contenidos periodísticos” que al presente los servidores piratean con entera naturalidad. La pugna en efecto existe y no deja de tener su importancia económica y concomitantemente legal, pero la exposición escueta que de ella se hace dista de ser objetiva, a partir de la vulgarísima constatación de que, en su enorme mayoría, tales contenidos proporcionados por el periodismo han sido laboriosamente contruidos con la inexcusable ayuda de Wikipedia, al igual que todos los productos inmateriales de hoy día.

Por cierto, con independencia de las instancias jurídicas, la realidad palpable y cotidiana indica que nadie puede, en el presente, prescindir de la virtualidad electrónica para la provisión de datos; el periodista tampoco y no lo puede él tanto menos, o acaso no lo puede en absoluto, porque está permanentemente acuciado por plazos, inhibidores inveterados de lo meticoloso en la actividad cognitiva.

Pero convengamos que esas formas de interacción que son variantes, o antecedentes, de la inteligencia artificial, no fueron en verdad relevantes para el periodismo en sí, como tampoco lo es hoy demasiado el utilaje robótico del que se valen las empresas que lo contienen: la intensidad de una noticia no cambia debido a alterarse el medio que la conduce y ni siquiera el propio periodismo es capaz de influir verdaderamente en ese pormenor: el saber Europa del descubrimiento del Nuevo Mundo en una etapa anterior al periodismo formal, tuvo en su momento muchísima más deslumbrante repercusión que en el suyo el entero conjunto del ajetreo noticioso desplegado desde Sarajevo, en 1914, hasta las Torres Gemelas, sin que esto implique tacha para el periodismo y sí reconocimiento a las intuiciones que caracterizaban al mundo contemporáneo de Colón.

Por lo demás, todo está a la vista sin que se advierta nada enigmático o arduo para la comprensión: a lomo de mula o en helicóptero, el cronista es el cronista. Y no lo afectará en lo esencial el que escriba “con bien cortada pluma”, o con otra metálica, o con una Olivetti, o mediante un procesador de textos: en ningún caso ha de ser más o menos testimonial o más o menos lúcido, y en ninguno la capacidad de operar en lapsos breves dejará de ser su cualidad determinante, según se lo permitan los medios propios de cada época y de acuerdo al ascendiente social que el entorno le consienta.

Esto último sí es punto esencial del tema planteado y es el que funda la razón última tanto de los encomios que ese cronista suscite como de las reservas que en su derredor se establezcan; “el ascendiente social que el entorno le consiente al periodismo” es la cuestión básica en juego al estudiar las relaciones de esa actividad con lo que lo rodea, y también con el entramado de la “inteligencia artificial”, y muy especialmente con éste, porque es a propósito de lo relativo de ese ascendiente social que la informática está teniendo incidencia sobre el periodismo, una incidencia acaso aún no registrada con exactitud, aún indefinible, pero real, cada vez más notoria, y en principio destructiva, diríamos que sumamente destructiva.

No es en lo que afecta a su modo de trabajar –asunto por demás epidérmico–, ni por comprometer su condición profesional; no se trata de nada tangible sino de que esa constelación de redes y de “nubes”, de conexiones impersonales y a la vez individuales, junto con la plétora de datos que circulan, está modificando sensiblemente al público al que el periodismo se dirige o dirigía.

Este es el hecho plenamente en curso, un hecho invasivo y de pronto presente en todos lados. Los conocimientos de tal o cual periodista pueden ser amplios y su destreza expositiva grande, pero ya no está manejando ni más ni mejores datos efectivos que su lector, siendo que éste, además, le ganará sistemáticamente toda vez que se ingrese a su predio de especialidad o de interés (2). En un proceso sin duda similar al de la creciente desautorización de los docentes por parte de sus alumnos y de los padres de éstos, el periodismo está siendo –cada día más y con más acritud– desautorizado por su público. Este, además, puede haber bajado en números absolutos lo cual es malo, sobre todo desde el punto de vista de las empresas periodísticas, pero si, a la vez, el remanente de ese público deja de hallar materia estimable o útil en aquello que se le aporta, ése golpe termina por apabullar la capacidad de reacción del periodismo, lo anonada directamente.

El panorama reciente es el de una desfavorable relación de fuerzas en la que muchos lectores inteligentes –tal vez ya todos, cada uno en determinada esfera– tienen datos más extensos que los que ha podido procesar el periodista en su intervención siempre apresurada y siempre circunstancial; de antiguo ha venido ocurriendo así pero se trataba siempre de casos excepcionales; en cambio ahora campea una aproximada unanimidad. A esos lectores, día a día se les hace más fácil acotar el relato que se les presenta, relativizarlo, contradecirlo y finalmente desmentirlo. Claro, se me dirá que la observación apunta a los “lectores inteligentes”, y que habría, al margen, una masa ignara dispuesta a comulgar *ad perpetuam* con ruedas de carreta. Pero aparte de la subversión de valores que entraña tal proposición, diré que asimismo es de flagrante inexactitud, pues son esos lectores inteligentes lo que constituyen el núcleo de adhesiones que legitima la aprobación de los restantes en el caso de un medio que se asuma como rector y sustento, como definidor de una actitud, una posición o una ideología.

El periodismo no puede vivir al margen de lo intelectual ni aun en sus versiones ínfimas: si no es un comercio de ideas asociadas entre grupos que las retroalimentan entre sí, habría que buscarle una definición nueva y, ciertamente, hasta hoy no la hay ni la sospechamos. Otra objeción previsible que se hará a lo anterior es que, en realidad, esa paulatina deserción del segmento ilustrado –tanto entre lectores como entre periodistas–, no es nueva, y eso es forzoso aceptarlo, sin perjuicio de reconocer, a la vez, que las circunstancias actuales la están estimulando vigorosamente.

Un hecho muy fácil de constatar en la historia del periodismo es que su influjo resulta eficaz en relación proporcionalmente inversa al desarrollo del medio social en que se ejerce, y en ese sentido, ya en el siglo XX fue mucho menos decisivo que en el anterior y para mediados de esa centuria muchas de sus modalidades habían

iniciado el camino hacia la anulación, al tender a confundirse, primero con la propaganda y más tarde con la publicidad.

Esto resulta innegable y aparentemente habría sido contradictorio con los altos niveles de analfabetismo que en el siglo XIX eran norma, siendo que para entonces el periodismo todavía era estrictamente gráfico.

Sin embargo, desde una visión sociológica el asunto no parece tan extraño y para nada se lo ve desconectado del orden racional de los acontecimientos: la explicación consiste en que en un ámbito en el que el analfabetismo predomina, la acción doctrinaria e impulsora del periodismo va directamente al segmento alfabetizado, es decir, a cierta élite con aptitud para el predominio, y, es más, concentra su atención en ésta, no dispersándose –como lo hizo durante el siglo XX– en cometidos de baja exigencia dirigidos a comunidades obviamente alfabetas pero no interesadas ni posibilitadas en incidir en lo público, tal como es común en el conjunto de los países desarrollados.

En la práctica, aun hoy, quizá pudiera ser que una campaña periodística dura y con ribetes clásicos diera por tierra con el gobierno en un país africano, o de Oceanía, o en alguno especialmente atrasado de América latina, si es que el gobierno respectivo no atina a tiempo a defenderse, aunque no quiero confundir acontecimientos de ese cariz con las “puebladas” desatadas a través de las redes que hemos visto últimamente, pues se diferencian mucho de los movimientos de élite que sí, ante todo, se definen ideológicamente y donde, por lo tanto, el periodismo puede tener participación de peso.

Por supuesto, en los días que corren nada de eso es imaginable en países de mediano desenvolvimiento: si algo podemos dar por seguro, es que no volverá a haber un 1830 o un 1848, en primer lugar porque la historia no se repite; a lo sumo habrá una Comuna de París en versión de comedia, si hemos de atenernos al transitado augurio de Karl Marx.

Pormenores

A esta altura tal vez empiece a sentirse como gravosa la falta de una definición expresa de inteligencia artificial, carencia con la que hasta aquí nos hemos manejado sin mayores inconvenientes; sin embargo, en procura de alcanzar un mejor índice de prolijidad, adoptamos una: es el uso de procesadores, máquinas y *softwares* cuya capacidad permite replicar las funciones de la mente: percibir, aprender, razonar y tomar decisiones.

Bien, ya tenemos la definición y no obstante la tranquilidad que ella fugazmente proporciona, sin embargo continúa dominándonos la sensación de que algo falta, de que nos quedamos cortos. Porque sin dejar de tener por buena la coherencia de esa síntesis, a la vez la percibimos como muy limitada: no, no es eso ni lo que esperamos ni lo que queremos ni lo que tememos de la inteligencia artificial; en rigor, la expectativa general está puesta en que vaya a hacer esas diversas funciones “mejor” que nosotros y “aparte” de nosotros.

Lo primero sí lo hace –o, al menos, lo hace más rápido–, ya, en este momento, en la actualidad, sólo que se maneja en aislamiento, sin establecer la concatenación de conceptos que caracterizan a lo que se entiende por inteligencia. Insisto en esto de poner ejemplos: un sensor percibe la presencia de un misil y establece su velocidad de movimiento y su trayectoria, e inmediatamente otro misil parte en procura de interceptarlo. De haber hombres a cargo de esas funciones, ellos experimentarían temor, esperanza, rabia; considerarían la posibilidad de morir y alguno se aferraría a la dignidad de ese trance. Y este otro pensaría en sus seres queridos y aquel en que quizás haya que rendirse, y el de más allá en una masacre ulterior a manos del adversario.

En tanto, ambos misiles vuelan hacia sus objetivos, ajenos a glosas sentimentales. Lo que se ha conseguido es abstraer el hecho concreto del contexto en el que ocurre. Y esto es, en realidad, la inteligencia artificial: la posibilidad mecánica de dividir indefinidamente los hechos hasta que la dimensión alcanzada posibilite actuar reactivamente sobre ellos o contra ellos; en el fondo todo se reduce a esto. Digamos entonces –como resumen y como inferencia– que la llamada inteligencia artificial no pretende asimilarse al saber ni a la sabiduría, ni a la sagacidad y ni siquiera al buen sentido común, y ni aun quiere ser el conocimiento del especialista: no es la inteligencia del especialista, es la pericia del especialista.

Dividir los problemas grandes en otros más chicos para facilitar su solución ha venido siendo connatural al entendimiento desde siempre, con anticipación, incluso, a Descartes. Evidentemente, los aportes de la informática han venido a llenar necesidades sentidas en un mundo ahito de problemas de gestión y es real que está presutando muy valiosas ayudas, si bien una de las claras derivaciones de su ascendiente se refleja en la incrementada coerción a fraccionar, también, todo lo humano o sus cercanías, injerencia que también tiene contraindicaciones, como luego se expondrá.

Cuando hacia 1960 el periodismo, ya salido de la sociedad de clases y trasladado a la de masas, comienza a volverse crítico de sí mismo, creció en muchos la convicción de que se estaba a un tris de tener que admitir que el encuadre genérico bajo el que había alcanzado esplendor histórico ya no era más sustentable, en la

medida en que la fragmentación de los públicos avanzaba a pasos agigantados y que ella abarcaba tanto tendencias y gustos como autopercepciones y aun actitudes intelectuales (3).

Surgió entonces la consigna –o humorada, que nunca se sabrá exactamente qué había sido, pero que de todas maneras entraña un enfoque elitista que acaso ya era arcaico para esa época– de “la derecha en economía, en el centro en política, y a la izquierda en cultura”, que no fue, en el fondo, sino una primera respuesta confusa y partidista a ese problema nuevo. La segunda fue de naturaleza más pragmática: reducir las tiradas hasta ajustarlas al tamaño de los segmentos presumiblemente firmes de lectores, compensando con reducciones en los costos la segura caída de la publicidad; la tercera, en fin, fue la división extrema del medio en suplementos aproximadamente inasimilables entre sí pero que entraban en un único paquete de venta, siendo esta la solución principal a la que se apeló entre 1980 y el año 2000, aproximadamente.

Pero no es intención exponer los desordenados esfuerzos hechos por el periodismo en sus esfuerzos por intentar conservar un lugar bajo el sol en un mundo que ya no era el del tiempo de sus certidumbres iniciales, sino ver y a reflexionar sus conexiones con el desarrollo de la inteligencia artificial. Queda patente, al respecto, que si una de las modalidades sustanciales de ésta es la dilución de conjuntos, en verdad el periodismo estaba aplicando con bastante antelación formas de operar conceptualmente muy similares aunque, por supuesto, no llevadas al extremo al que pueden conducir las prácticas digitales.

Luego, la sectorización del periodismo fue replicada e incrementada por la sectorización propia de las redes. La reducción paulatina del volumen de los medios gráficos ha ido, lógicamente, reduciendo la dimensión de sus “públicos cautivos”, mediando el sobreentendido de que si éstos llegan a mínimos extremos, tal o cual medio afectado por esa situación dejaría de poder justificar y solventar su existencia, instancia a veces demorada por la consideración, de quién sabe quién, de que “la influencia” conservada por ese medio le servirá como salvoconducto en los arrabales de la muerte.

Pero esos pruritos no existen en el caso de las redes y en su esfera no hay propiamente medios, no hay “agentes de opinión”, sino meras proyecciones individuales adosadas a estructuras de difusión en principio afines a teléfonos; en ese ámbito, la noción de “público cautivo” tiende a transformarse en otra muy elemental de “vecina cautiva”, cuyo horizonte –salvando las distancias– consiste en la audición perpetua del equivalente a una antigua “propaladora” de barrio.

Es curioso; en esta área de actividad muchas cosas parecen haberse detenido, o acaso retrocedido, en el tiempo. Poco a poco está llegando a ser incomprensible el significado de expresiones como “periodismo independiente”, o “periodismo comercial”, o –para ser más exactos– “periodismo profesional”, en tanto reaparecen formas panfletarias que se habían extinguido en la época de los tumultos románticos. Entretanto, alguien que indefinidamente puede ser predicador, libelista o reminiscente vendedor de puerta en puerta, se nos presenta con su propio público cautivo: cincuenta personas, cien, quinientas, y ya esto es muchísimo, si consideramos el nivel enano del resto. Desglosadas las incursiones circunstanciales, el diario más conspicuo de Buenos Aires no puede ni soñar con que más de 5000 personas acudan a leer sus dos o tres notas fuertes, con lo que tendríamos que diez economistas de gorra con la visera sobre la nuca equiparan su capacidad de difusión (4).

Si los diarios pierden indefectiblemente en el mano a mano ante el embate de las redes, obtienen cierta revancha con su ascendiente sobre radios y canales de televisión, que en lo informativo son simples repetidores del material impreso, con intrusiones recientes –es verdad– de algún otro proveniente de las usinas digitales.

Nada de esto, precisemos, es fundamental: el problema está en otros niveles, uno de los cuales lo representa el hecho de que la disminución sistemática de los universos de referencia convierte a todos los grupos –aun los prestigiosos de antaño– en sectas. Las tendencias, las corrientes, los movimientos de opinión, son hoy, en los grandes conglomerados urbanos, apenas unos centenares de personas que, además, intercambian entre ellas mensajes y son mutuos corresponsales; tales asociaciones, desprovistas asimismo a una ubicación física precisa, con entera facilidad se convierten en autosuficientes y dogmáticas. Por lo común adhieren a una suerte de supina ignorancia matizada con destrezas en la operación informática, y el paso siguiente que suelen dar es el de transmutarse en apóstoles fanáticos de cualquier aserción lanzada al viento.

Juzgo que ese fenómeno –que entre nosotros un periodista tuvo el acierto de bautizar como “grieta”, aunque dista de ser un fenómeno local– se relaciona en no pequeña medida con la autonomía pequeña que permite lo digital: es probable que el ser humano deba aprender a convivir con el celular y con la televisión; son todavía muy pocas las décadas de contacto con esos medios, lapso demasiado corto como para producir una decantación cultural apreciable, con el agravante de que si esos aparatos continúan desarrollándose e incorporando modificaciones –como todo induce a suponerlo– esa necesaria sublimación se postergue *sine die*.

Por ahora rige el “lo conozco todo y si usted no entra en mis conocimientos, es que no tiene relevancia ni merece tenerla”, zarpazo tradicional en los círculos de

las envidias artísticas y literarias, es llevado ahora al plano de las preocupaciones sociales y se traduce en un “lo que yo sé es la verdad y por lo tanto no tengo para qué seguir buscándola”; de ahí a “si yo tengo la verdad, lo que usted dice es mentira” hay no más que un paso, que además puede darse impunemente a favor del anonimato generalizado en las redes.

Hay otra esfera, asimismo vinculada con lo periodístico, en la que también el factor informático posiblemente está teniendo una influencia negativa y es el de la creciente y efectiva desinformación reinante en todo el mundo, quizá obvio gaje del empacho mediático al que las nuevas técnicas han dado pie: se ha desatado una marejada inmanejable de datos, algo así como una tempestad que no deja ver la lluvia. En tanto esa situación perdura y se afianza, no hay censos ni estadísticas confiables, las encuestas carecen de encuadre en la realidad, las cartografías disponibles son impropias y desactualizadas, el “discurso” lo constituyen consignas machaconamente repetidas, las noticias no llegan o no se difunden, o a nadie les interesan: ¿cómo se llama el presidente del Paraguay?

Sabemos aquello que ha sido anunciado: habrá tal partido de fútbol, tal manifestación, tal corte del tránsito a tal hora, y tal elección se hará el día tal, y a cada uno de esos anticipos se le añadirán fotos viejas. En cambio, no hay imprevistos, “no entran en la conciencia colectiva”, como tampoco suele entrar la asociación entre hechos, por muy próximos que entre sí se encuentren.

Estamos en junio de 2021: se dice que el gobierno del Brasil ha afrontado terriblemente mal la lucha contra el Covid 19 y se lo pone como ejemplo mundial de lo que no debe hacerse; por ese motivo ese país estaría al borde de un colapso sanitario, lo que es lamentable y alarmante, pero si se toman las cifras de contagiados y de fallecidos por ese mal en la Argentina y se compara la magnitud de nuestra población con la del Brasil, resulta que las proporciones son casi idénticas. Otro caso: hace poco hubo una guerra limitada en la Franja de Gaza, sobre la que se informó profusamente; las noticias dieron cuenta de un abrumador triunfo israelí, sin embargo al día siguiente renunció Benjamín Netanyahu, primer ministro de Israel y dirigente clave en el Cercano Oriente durante más de diez años, y de esto apenas se habló y nadie –que yo sepa– vinculó un hecho con el otro.

Todavía medio siglo atrás los sectores activos e interesados en la cosa pública tenían el prurito de estar al tanto de multitud de datos puntuales que hoy día son ignorados olímpicamente; por cierto, todos ellos están en Internet, y relativamente actualizados, pero para ir a buscarlos hay que tener noción de que es necesario saberlos y esto es imposible si previamente no se está al tanto de los antecedentes que imponen disponer de ese conocimiento.

Los mismos funcionarios estatales cuando hablan suelen revelar, sin advertirlo, que ignoran el anteayer de los asuntos puestos bajo su responsabilidad; supongo que no se trata de un privilegio de este rincón del mundo y que lo mismo sucede en otros parajes. Día por medio el gobierno es “sorprendido” por noticias extranjeras y eso es sugerente: podría querer significar que nuestros diplomáticos no fueron alertados, acaso porque sus contactos en los países respectivos tampoco preveían lo que estaba por ocurrir.

---o---

Termino con un par de reflexiones personales, inexcusables en cuanto constituyen una suerte de *mea culpa* que no debo eludir, atento a que durante treinta años ejercí la docencia periodística.

La primera es que habiéndome contado entre los convencidos adherentes a la idea de que era necesario reducir la tirada de los diarios, no advertí que una vez disminuidos se los entregaba a un círculo vicioso de dependencia en el que cada vez tendrían menos autonomía y menos capacidad para resistir las tendencias de un grupo cualquiera que, al convertirse en grupúsculo, recaería inexorablemente en el sectarismo.

La otra se refiere a haber creído siempre en la prevalencia de la opinión sobre la noticia: “la noticia en sí es secundaria, lo que importa es la interpretación de la noticia”: tal era el dogma, proclamado –ahora lo veo– sin un análisis reflexivo y sin prestar atención suficiente al razonamiento de que si no hay noticias mal puede interpretárselas.

Otoño de 2021

Fernando Sánchez Zinny

---o---

1 La idealización utópica se muestra abiertamente en esos relatos sobre rebeliones de robots: si en efecto llegan a dominar a los humanos, lo que en realidad se postula es que son más fuertes y “mejores” que éstos; por lo tanto, también podrían regirlos y protegerlos, según la lógica conmutativa.

Pero, en general, se los piensa como seres perversos en tanto seres libres; digamos: son esencialmente fascistas. La ciencia ficción todavía no nos ha dado la imagen de un robot que en su albedrío quiera ser sumiso como un perro: está en deuda en ese sentido y es una deuda importante porque sería el más inteligente –y “vivo”– de los robots.

2 La idea de que la técnica puede favorecer o “simplificar” la labor del periodista es muy vieja y parece destinada a reaparecer cíclicamente, aunque por lo común las generalizaciones no se refieren en particular a él sino al intelectual en general, y aun al artista y al sabio: la técnica podría en alguna circunstancia “dar un método” y su aplicación convertir en talentoso a quien supiera valerse de él. Incluso puede no ser algo mecánico sino una simple poción, o una “seña”: Fausto está a la vuelta de la esquina.

En tono de chanza, Antonio Machado expone en el *Cancionero apócrifo* sobre una “máquina de versificar”, ideada por Abel Martín y mezcla de radio, gramófono y mecanografía, que anticipa proféticamente algunas habilidades de las computadoras. Proporcionados los datos de un hombre, su edad y condición, y luego los de una mujer, la máquina hacía el poema de amor adecuado.

Es tentador pensar en las ventajas que tendría para el periodismo contar con una máquina semejante, que procesara al menos lo genérico: crónica escandalosa y de celebridades, violaciones y femicidios, asaltos y robos, decomiso de drogas, acusaciones por corrupción y denuestos políticos, áreas todas que suponen una redacción mecánicamente adjetivada. Artilugios apropiados para realizar estas tareas –e incluso otras más complejas– es de prever que aparecerán pronto: por ahora los disponibles sólo son capaces de encargarse de lo estándar, como la cotización de las monedas, los datos meteorológicos, las encuestas, los movimientos de aviones y otros servicios.

3 Huelga decir que todo tiene antecedentes: esa era ya la segunda vez que el periodismo afrontaba un trance de tales características; la situación anterior se había presentado a mediados del siglos XIX cuando la alfabetización cubrió Europa y algunos otros países, y el viejo periodismo “de publicistas” desapareció reemplazado por el periodismo comercial: ya no era sólo la élite la que leía y reclamaba notas

políticas y temas sesudos. Para un público de otra índole se fragmentaron entonces los diarios procurando satisfacer a sectores variados. Sobre la base del “servicio” representado por los clasificados, el complemento fueron la crónica policial, los deportes, la página femenina, la de chistes, etc.

Lejos se estaba, sin embargo, de la fragmentación esquizofrénica que habríamos de conocer.

4 En cuanto a números, cualquiera que haya andado en estas cosas, sabe que no son de fiar: alguien dice un millón, pero como el 99 % son réplicas “de los mismos mensajes generados automáticamente”, nos quedan 10.000, y eso ya tiene más color.

Pero en este ámbito la libertad es amplia; quien esto escribe hacía a título gratuito y con otros amigos un programa de poesía en una radio FM. Nos iba bien y calculé que teníamos entre 400 y 500 oyentes. Un compañero, querido amigo y burócrata importante, calculaba, simultáneamente, que los oyentes eran seis millones. Ambos fundábamos racionalmente esos cálculos, que en sí eran irrefutables: yo proyectaba la cantidad de mensajes que recibíamos en cada audición, multiplicándola por veinte –la “regla de oro”–, y él se basaba en la cantidad de habitantes de la zona abarcada por el alcance de la emisora, hecha la deducción del porcentaje de menores.

ACADEMIA NACIONAL DE BELLAS ARTES

Inteligencia artificial y arte contemporáneo. Incertidumbres, reflexiones y debates.

Rodrigo Alonso, Graciela Taquini.

Las inteligencias artificiales han ingresado al terreno de las artes visuales como a casi todas las áreas de la creación y el conocimiento humanos. Pero mientras se construyen máquinas, programas y algoritmos para crear obras artísticas, el sistema del arte se distancia de la elaboración de obras, discute la categoría de autor, delega la significación de sus producciones en el público, reniega de las nociones de originalidad, inspiración e invención.

El artista no es tanto un individuo que produce obras de arte como un ser que observa el mundo a su alrededor, que reflexiona y cuestiona. Lo mueven la pasión, la búsqueda de sentido, la necesidad de expresar su posición frente a los conflictos e injusticias que conforman su entorno ¿podría una inteligencia artificial adoptar la misma actitud, ser impulsada por la misma motivación? ¿podría una máquina desarrollar una ética, un imperativo interior tan potente que la mueva a reaccionar ante los conflictos del mundo mediante producciones poéticas?

En las páginas que siguen nos proponemos destacar las aportaciones de las inteligencias artificiales al universo artístico, aunque sin dejar de atender a las preguntas, los cuestionamientos y las incertidumbres que sobrevuelan esta particular simbiosis entre arte y tecnología.

Cibernética, inteligencia y azar

Al finalizar la II Guerra Mundial, una parte importante de las investigaciones bélicas que se llevan adelante en todo el mundo son redirigidas a los estudios sobre la comunicación. En sociedades caracterizadas por la creciente presencia de las masas y de los *mass-media*, se vuelve indispensable contar con teorías que permitan comprender el funcionamiento de los intercambios sociales de mensajes. Este interés por la circulación lingüística comunitaria se encuentra muy rápidamente con tecnologías de la información que se desarrollan de manera concomitante y a pasos agigantados. Del cruce entre estas teorías y tecnologías surgen las primeras ciencias destinadas a caracterizar las particularidades de esta nueva era de la comunicación humana.

En 1948, el matemático estadounidense Norbert Wiener publica el ensayo “Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and in the Machine” (Cibernética, o el control y la comunicación en animales y máquinas)¹, con el cual da origen a la Cibernética, una ciencia encaminada a analizar los sistemas de creación, control y regulación de la comunicación entre los seres humanos y las máquinas. Su hipótesis principal sostiene que no hay diferencias significativas en los intercambios de información entre las personas, las personas y las máquinas, o las máquinas entre sí. Para Wiener, el futuro de las relaciones entre humanos y tecnologías depende básicamente del desenvolvimiento de una teoría de la comunicación acorde a esta situación particular.

En 1950, el matemático inglés Alan Turing aporta una serie de conjeturas sobre la capacidad de raciocinio de las máquinas en el ensayo “Computing Machinery and Intelligence” (Maquinaria informática e inteligencia)², publicado en la revista científica *Mind*. Su punto de partida es una pregunta simple: ¿pueden pensar las máquinas? Este trabajo abre el terreno a la aparición del campo de la Inteligencia Artificial (IA), un área de la computación avanzada ocupada en desarrollar máquinas o programas con capacidad de aprendizaje y de construcción de una inteligencia funcional y autónoma.

Una diferencia fundamental en las visiones de ambos científicos es que Turing otorga un espacio esencial a la aleatoriedad en la construcción de conocimiento inteligente.³ En esta propiedad residiría, además, la capacidad “creativa” de las inteligencias artificiales, la cual les permitiría solucionar problemas no previstos. El paso siguiente sería determinar la naturaleza de esa creatividad, y de ahí en más, especular sobre la posibilidad de que una máquina pudiera orientarse específicamente hacia la producción artística.

En 1968, el Instituto de Arte Contemporáneo de Londres inaugura la primera exposición que analiza las relaciones entre el arte y la computación. Su nombre, *Cybernetic Serendipity* (Serendipia cibernética),⁴ hace hincapié en la centralidad del azar sobre la evolución de los procesos creativos. La muestra incluye áreas dedicadas al cruce de cada una de las artes con el incipiente universo de las computadoras; releva los usos recientes de la informática en la producción de cine, música, literatura, artes visuales y danza, entre otros terrenos, pero reflexiona además sobre las posibilidades futuras de estas creaciones híbridas.

Esta exposición tiene su correlato en otra organizada por Jorge Glusberg para el recientemente inaugurado Centro de Estudios en Arte y Comunicación (CEAC), que pronto cambia su nombre por el de Centro de Arte y Comunicación (CAYC). Con el título de *Arte y cibernética* (Galería Bonino, Buenos Aires, 1969), esta ex-

hibición presenta trabajos de Antonio Berni, Ernesto Deira, Eduardo MacEntyre, Miguel Ángel Vidal, Luis Fernando Benedit y Osvaldo Romberg realizados con computadoras aportadas por la Escuela ORT, al lado de piezas elaboradas por invitados internacionales.

Desde las páginas del catálogo, el crítico argentino afirma:

El surgimiento y desarrollo de la cibernética es un verdadero salto revolucionario en el proceso cognoscitivo de la humanidad. Los datos ya existentes sobre el papel de las computadoras deben deparar, en un futuro próximo, una transformación similar a la que produjeron las máquinas industriales que reemplazaron el trabajo manual [...] No faltan muchos años para que una inteligencia artificial producto de hombre y máquina piense mejor y más rápido que los humanos. La anticipación de Marshall McLuhan es premonitoria cuando se refiere al actual mundo tecnológico como una extensión del sistema nervioso central [...] El arte actual busca desarrollarse con la efectiva colaboración de artistas y técnicos. Estamos hablando de un arte nuevo, dinámico, comprometido con el contexto social al que pertenece, con la época interplanetaria, que va más allá de las técnicas institucionalizadas. Un arte vivo, creado por un ejército de pioneros de nuestro tiempo, que utilizan ideas, formas sintéticas o ecuaciones matemáticas, en lugar de pintura; luces, motores e información en lugar de pinceles (Glusberg, 1969, s/p.).

En este texto se menciona por primera vez la frase “inteligencia artificial” dando a entender que las discusiones sobre el tema circulan en los ámbitos artísticos de estos años. No obstante, hasta el momento, el concepto es puramente especulativo. De hecho, la exposición *Cybernetic Serendipity* incluye una computadora que compone música original frente al público, pero sus composiciones son el producto de la aplicación de una base de datos con procedimientos de creación musical, y no de un grado de inteligencia que le permita independizarse del rígido programa que gobierna su funcionamiento.

Por otra parte, al interior de la escena artística, las nociones de originalidad y autoría sufren ataques constantes tanto desde los espacios de la crítica como desde el universo de los propios creadores. La recuperación de la práctica del *ready-made* introducida por Marcel Duchamp en la década de 1910 exime al artista de la crea-

ción de objetos únicos, e incluso, de la misma realización material de sus obras.⁵ La obra de arte puede ser ahora un objeto de la vida cotidiana, banal, industrial, sin mayores pretensiones estéticas. El artista puede intervenir o no en su producción; más aún, puede delegar en otros la elaboración de sus obras sin perder la categoría de autor. Los artistas pop y minimalistas tercerizan sus trabajos y acuden a medios industriales para producirlos. En la misma sintonía, Andy Warhol, figura máxima del pop-art, declara que le gustaría ser una máquina.

En otros ámbitos, el cuestionamiento de la autoría individual viene de la mano de la creación colectiva. El cine, la ópera o el teatro son pioneros en estos modos de realización conjunta que los artistas plásticos van a adoptar desde finales de la década de 1950, sobre todo a partir de las enseñanzas de John Cage en la escuela Black Mountain. Allí se experimenta con procesos de creación multidisciplinarios, en los cuales se borran las fronteras entre los artistas promotores, e incluso, y fundamentalmente, entre éstos y el público.

En 1968, Roland Barthes publica el ensayo “La muerte del autor”. En él sostiene que el escritor no puede considerarse como la fuente de la creación, como alguien que inventa algo que podría denominarse “su obra” a partir de la nada, sino que en toda producción hay una confluencia de la tradición, de múltiples referentes, de influencias y antecesores. Al mismo tiempo, asegura que el sentido último de una obra de arte se configura en su recepción, en su lectura, y no al momento de su ejecución. Es el espectador quien “produce” la obra; de ahí el poder emancipador que poseen las buenas piezas artísticas. En sus palabras,

Un texto está formado por escrituras múltiples, procedentes de varias culturas que, unas con otras, establecen un diálogo, una parodia, una contestación; pero existe un lugar en el que se recoge toda esa multiplicidad, y ese lugar no es el autor, como hasta hoy se ha dicho, sino el lector [...] La unidad del texto no está en su origen sino en su destino, pero este destino ya no puede seguir siendo personal: el lector es un hombre sin historia, sin biografía, sin psicología; él es tan solo ese *alguien* que mantiene reunidas en un mismo campo todas las huellas que constituyen el escrito. La crítica clásica no se ha ocupado nunca del lector; para ella no hay en la literatura otro hombre que el que la escribe [...] Sabemos que para devolverle su porvenir a la escritura hay que darle la vuelta al mito: el nacimiento del lector se paga con la muerte del Autor (Barthes, 1968, p.71).

Es significativo que al mismo tiempo que se plantea el posible reemplazo de los artistas por máquinas, se desarrolle un fuerte rechazo a considerar al autor como el eje de la producción artística. Si bien la noción de autor no queda anulada luego de estos embates, lo cierto es que éstos organizan un marco para desestimar el valor de una obra artística cuando se lo funda exclusivamente en su origen. ¿Qué importancia podría tener que una inteligencia artificial creara una obra de arte más allá de la curiosidad del acontecimiento? Si el lugar del autor es relativo, si el eje de la creación artística se difiere al contexto o al espectador, que una máquina produzca una obra pasaría a ser un hecho irrelevante.

Otra vez Cervantes

Ya es un lugar común recurrir al cuento *Pierre Menard, autor del Quijote* (1939), de Jorge Luis Borges,⁶ a la hora de considerar la forma en la cual los contextos impactan sobre el sentido de las obras artísticas. Como ha demostrado el escritor argentino, las mismas palabras, en las mismas composiciones gramaticales, pueden asumir sentidos por completos diferentes dependiendo del ámbito en el cual se produzca su lectura. La prosa anacrónica de Miguel de Cervantes Saavedra resulta ideal para la finalidad de este relato en tanto el idioma castellano ha sufrido profundos cambios desde la escritura de *El ingenioso caballero Don Quijote de la Mancha* (1605) a la actualidad.

En 2016, el Instituto de Ingeniería del Conocimiento (IIC) de la Universidad Autónoma de Madrid recurre a la misma novela de Cervantes para llevar adelante un experimento basado en la implementación de una Inteligencia Artificial. El objetivo fue lograr que una máquina escribiera textos a la manera del autor del Quijote y lo que obtuvieron fueron frases como esta:

En un lugar de la Mancha está en su amada y había de hacer regidor de su amo que desde allí está por el suelo (citado en Hernando, et.al., 2020).

En esta frase aparecen remisiones a los lugares, personajes y situaciones de El Quijote, incluso palabras de la época en la cual fue escrito. Pero nada del estilo de Miguel de Cervantes Saavedra. Y es que la máquina que la redactó aprendió a escribir a partir de las páginas del autor español pero no aprendió a pensar y mucho menos a crear como él.

El texto surge de la aplicación de un conjunto de algoritmos que se conocen como *redes neuronales*, y que simulan el funcionamiento del cerebro. Estos algoritmos se utilizan hoy en una infinidad de aplicaciones prácticas, desde la medicina, la traducción de idiomas o la banca electrónica hasta la programación de Netflix o YouTube. Lo más destacado de este sistema es su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos y generar relaciones a partir de ellos, pudiendo aprender de esas mismas relaciones para accionar de maneras imprevistas. Es decir que, a partir de un programa inicial, el sistema neuronal aprende a evaluar un conjunto de datos y con el tiempo es capaz de modificar su comportamiento en función de sus aprendizajes. A este procedimiento se lo denomina *Machine Learning* (Aprendizaje maquínico) y es el eje central de los sistemas de Inteligencia Artificial.

En la producción de textos a la manera de Cervantes no solo se utilizaron estos algoritmos. Además, un conjunto de investigadores desarrolló el proyecto y se propuso conseguir ciertos objetivos, alimentó a la máquina con las bases de datos adecuadas, escribió los programas informáticos necesarios, controló los resultados obtenidos, determinó cuáles eran los correctos y cuáles no. Sin el trabajo de todo este equipo de personas, la máquina habría sido incapaz de formular una oración con sentido, incluso de darse cuenta si eso sucedía, porque para todo eso todavía es indispensable la intervención de personas con inteligencias propias.

Así explica Álvaro Barbero, el responsable del proyecto, la forma en la cual éste fue llevado a cabo:

Se trata de una inteligencia artificial entre comillas, porque lo de inteligente es muy discutible. Para crear sistemas capaces de escribir primero hay que enseñarles cómo funciona el idioma. Para ello te descargas muchísimos textos, por ejemplo, toda la Wikipedia, y a partir de ahí el sistema hace ejercicios como los de rellenar un hueco, de modo que va aprendiendo por el contexto qué palabras usar. Para hacer que escriba de manera creativa, le das una frase vacía y el sistema te ofrece una serie de opciones para que tú elijas la que más te gusta. Se trata de una creatividad que se implementa a partir de la arbitrariedad (citado en Hernando, et.al., 2020).

Como resulta evidente a partir de esta declaración, los tiempos de la autonomía completa de las máquinas están todavía muy lejos. Si bien éstas pueden actuar hoy

con bastante independencia en tareas repetitivas o predictivas, el panorama es muy diferente cuando se habla de inteligencia plena o creación. En todo caso, lo que sí comienza a verse en el terreno de las artes plásticas es una colaboración creciente entre artistas y tecnologías, entre propuestas poéticas y programas informáticos capaces de llevarlas delante de la mejor manera posible.

Tomemos como ejemplo la obra *Deep Unlearning* (Desaprendizaje profundo, 2020)⁷, producida por el artista y físico Mariano Sardón, y el especialista en neurociencias Mariano Sigman. La pieza utiliza un par de brazos robóticos, pantallas, cámaras y algoritmos de redes neuronales para que el público experimente un proceso de “desaprendizaje”, contradiciendo la actividad central que caracteriza a las inteligencias artificiales.

El punto de partida se encuentra en las teorías del Dr. Andrew Meltzoff sobre la gestualidad de los niños. Cuando un espectador ingresa a la sala de exposiciones, un robot industrial le aproxima una pantalla con la imagen del gesto de un bebé que él debe reproducir con su propio rostro. La tarea no es fácil, porque los adultos hemos perdido con el tiempo la capacidad de expresar deseos, necesidades o sentimientos exclusivamente con el lenguaje gestual. Aquí se produce el primer paso de ese desaprendizaje que propone la obra: la exigencia de prescindir del lenguaje hablado y recuperar una gestualidad probablemente sepultada en el inconsciente. El resultado se plasma en una fotografía que pasa a formar parte de una base de datos de expresiones faciales de un ordenador.

Ahora un programa de redes neuronales intentará interpretar el gesto obtenido en función de los conocimientos previos sobre el comportamiento de los bebés. Como la expresión adulta seguramente será muy deficitaria en relación al modelo que debía copiar (aquí se conjugan muchos factores, no sólo la incapacidad para copiar un gesto infantil, sino actitudes como la vergüenza o el pudor), la máquina incorporará numerosos datos que se desvían de los que alberga en su memoria. Estos gestos defectuosos o erróneos la llevarán a modificar los conocimientos que poseía, y en lugar de aprender incorporando nuevos datos fieles, destruirá lo que ya sabía en un proceso de desaprendizaje continuo.

La obra de Sardón y Sigman no se centra tanto en la construcción de saberes o en el desarrollo de la inteligencia, sino en las condiciones que hacen posibles – y confiables – dichos procesos. Si el sistema tecnológico no comprende cómo son obtenidos los datos que deberá procesar, difícilmente pueda arribar a resultados aceptables o “inteligentes”. Las IA dependen del estricto control de numerosos factores que no pueden subestimarse tanto a la hora de ponerlas en marcha como al momento de evaluar sus resultados. *Deep Unlearning* nos aproxima a algunas de sus complicaciones desde una propuesta lúdica e intuitiva.

Las inteligencias artificiales se basan en modelos racionales inspirados en el funcionamiento del cerebro que incorporan ciertos grados de libertad con el fin de afrontar algunas situaciones imprevistas. Pero en los últimos años, la noción de inteligencia humana se ha ido reformulando en el sentido de incorporar algunos factores intra e interpersonales que son determinantes en su construcción. Muchos científicos consideran hoy que las emociones o las relaciones entre individuos influyen sobre la inteligencia, tanto en aspectos positivos como negativos.

Hacia finales del siglo XX crecen los estudios sobre la Inteligencia Emocional (IE), una idea formulada en la década de 1960 pero que se consolida hacia 1985 en una tesis de Wayne Payne, y luego, con la publicación de *Emotional Intelligence* (Inteligencia Emocional) de Daniel Goleman en 1995.⁸ Esta perspectiva no contradice los modelos racionalistas de construcción del conocimiento, sino que aporta un parámetro contingente pero insoslayable a la hora de evaluar el concepto de inteligencia. Las presiones del entorno, los valores éticos y morales son otros factores influyentes aunque no han generado modelos teóricos específicos.

Gusto y predicción

Las inteligencias artificiales han abierto un campo de experimentación inédito en el sistema de las artes. Facilitan los trabajos con grandes cantidades de datos, aportan entornos y procesos antes inimaginables, contribuyen con modelos de pensamiento y predictibilidad que fomentan la labor creativa. También constituyen una apoyatura loable a las industrias de la cultura y el entretenimiento, aunque sus evaluaciones sobre los gustos y comportamientos de las audiencias generan un amplio debate. Según se mire, sus aportaciones expanden o coartan la creatividad, amplían los recursos estéticos o empobrecen el horizonte cultural de los públicos.

Las principales polémicas surgen en torno a los modelos de probabilidad que rigen gran parte de los programas de inteligencia artificial. Las empresas dedicadas a la producción de contenidos audiovisuales, como las plataformas de *streaming* Netflix, Amazon, HBO o Disney, por solo mencionar algunas, utilizan este tipo de recursos para conocer las preferencias de sus usuarios y elaborar productos que se adecúen a ellas. Basándose en las películas y series que el público ya ha visto, y a través de un cálculo predictivo, las compañías establecen cuáles serán los filmes que tendrán mayor aceptación. Sobre la base de estos datos confeccionan sus próximos proyectos audiovisuales dejando de lado cualquiera que no cumpla con los parámetros evaluados.

Estas decisiones empresariales se justifican en términos financieros. Pero chocan con las valoraciones habituales de los productos artísticos, en las cuales se suelen privilegiar la originalidad, la experimentación, lo imprevisto, las rarezas. Los sistemas predictivos impiden que pueda aparecer algo fuera de lo común, y esto es un problema grave para ciertas artes que dependen de grandes presupuestos y que se someten cada vez más de estos algoritmos de evaluación. Como sostiene Julio Talavera, investigador del Observatorio Audiovisual Europeo,

La inteligencia artificial ya se emplea en la evaluación previa de proyectos y guiones, o en la escritura de los mismos, con herramientas para la generación automática de diálogos (aunque están todavía en ciernes). Se utiliza para seleccionar los momentos de un tráiler que más impacto generen. Puede colaborar en los procesos de clasificación (por edades u otros) de películas, así como en la detección de fragmentos pirateados *online*. Y también contribuye a la generación de imágenes por ordenador: gracias a ello se puede, por ejemplo, *resucitar* o envejecer a los actores (citado en Hernando, et.al., 2020).

Desde un punto de vista estético, esta situación plantea un interrogante interesante en relación con la noción de *gusto* desarrollada ampliamente por la filosofía. El gusto es una capacidad valorativa que se desarrolla en la evaluación de los objetos bellos o que aspiran a producir placer.

Una de las formulaciones más consistentes sobre este concepto es la que elabora Immanuel Kant en su *Crítica del juicio* (1790). Para el filósofo prusiano, existen aspectos objetivos y subjetivos en la implementación de esta facultad que se centra en un acto reflexivo que produce conocimiento.

El propósito del juicio de gusto no es indagar sobre las cualidades o propiedades del objeto, su interés es registrar el sentimiento de placer o el dolor que aquél suscita en nosotros. Este sentimiento es inaccesible por medio de conceptos, por esto, de él no puede haber un conocimiento formalizado, lo cual no quiere decir que este sentimiento no comunique conocimiento. No podemos prescribir a priori cómo han de ser los objetos bellos, cuáles generarán satisfacción o cuáles no; lo determinante en los juicios de gusto será establecer las condiciones y principios que habrán de regularlos. Kant deja en segundo plano el objeto y

centra su interés en el sujeto que emite juicios; esto no quiere decir que aquél desaparezca, sino que se mantiene en segundo plano. De esta manera superamos la amenaza de la variedad de gustos, del relativismo. Hemos decantado la subjetividad del gusto y hemos establecido que en cuestión de gusto se puede hablar con objetividad cuando nos centramos en el análisis de la reflexión de la forma de los objetos (Peñuela, 2007, p.43-44).

Para el sociólogo Pierre Bourdieu, la noción de gusto desarrollada por Immanuel Kant se vincula exclusivamente con la alta cultura. La consideración de la apreciación artística como un acto desinteresado y desapasionado, contrasta con el modo de consumo cultural propio de las clases populares, que está ligado a la satisfacción inmediata de los sentidos.

Bourdieu desarrolla una teoría del gusto⁹ basada en la noción de consumo cultural propia de nuestras sociedades contemporáneas. Entiende que éste no es igual al de otros productos, ya que requiere que el consumidor primero comprenda y aprecie aquello que va a consumir. Las normas que rigen esa comprensión son construidas socialmente y están determinadas por posiciones de clase, es decir que las diferentes clases sociales – siempre según Bourdieu – generan pautas para la valoración de los productos culturales y contextos de fruición que son al mismo tiempo espacios de distinción social.

El gusto se modela a través de hábitos que también se adquieren socialmente pero que se introyectan como valoraciones personales. La educación cumple un rol fundamental en la propagación de estos hábitos, pero también, en el refinamiento de las exigencias, cuando la enseñanza se implementa desde un posicionamiento reflexivo o crítico. Así es como aprendemos a valorar ciertos productos que escapan a lo acostumbrado, que proponen corrimientos de las normas o que estimulan la duda o el debate.

La implementación de las inteligencias artificiales para medir las preferencias del público y diseñar productos destinados a satisfacerlas tiende a alimentar el gusto constante por lo igual, eliminando el apetito por lo nuevo o lo experimental. Construye un sistema de retroalimentación que se transforma en una trampa para el consumidor, anulando sus posibilidades reales de elección. Aunque su intención inicial no sea esta, funciona como un procedimiento de manipulación individual o de amaestramiento que va diluyendo las herramientas críticas adquiridas mediante aprendizajes más exigentes. De ahí la enorme controversia que genera en los intelectuales de la cultura, quienes consideran que una correcta incursión de las IA en el terreno de las artes debería servir para fomentar su plurisemia y no para reducir sus posibilidades a fórmulas recursivas.

El cine y los miedos

Muchas artes han tomado a las inteligencias artificiales como tema o eje de especulaciones filosóficas o narrativas, pero el cine de ciencia ficción es, quizás, el ámbito en el cual se plantean de manera más vehemente las potencialidades y los peligros, los límites y las consecuencias éticas de su implementación social. Y si bien los filmes son tan solo el producto de la imaginación, no debe menospreciarse su incidencia en la percepción sobre las ambivalentes relaciones entre los seres humanos y las (sus) tecnologías inteligentes.

Desde su creación, el cine fantástico orientado a la ficción científica se ha constituido como un espacio en el cual la sociedad formula sus cuestionamientos, temores y resquemores sobre los avances tecnológicos y las transformaciones que éstos conllevan. A veces también, este cine ha sido depositario de otros miedos que afectan a la sociedad y que han tenido a la ciencia como un aliado circunstancial. Es el caso, por ejemplo, de las numerosas cintas de ciencia ficción que vieron la luz a partir de la posguerra y que relatan invasiones extraterrestres. Diversos estudios han demostrado que sus argumentos son metáforas de las tensiones de la Guerra Fría y del temor de los norteamericanos a un ataque del comunismo sobre su sistema de vida capitalista.

En los años siguientes, el cine de ciencia ficción se vincula con la carrera espacial, con los peligros de las tecnologías de vigilancia y control social, con la aparición de las computadoras y los robots como agentes de un cambio de vida radical. Los androides y las biotecnologías desplazan los relatos sobre el espacio exterior al interior de los cuerpos y su funcionamiento, planteando situaciones en las cuales la humanidad ya no se reconoce a sí misma. En *Blade Runner* (Ridley Scott, 1982), un grupo de criaturas sintéticas, imposibles de distinguir de los seres humanos, buscan a su creador con el fin de prolongar sus vidas, movidas por el deseo (humano) de trascender las limitaciones del tiempo vital.

Las inteligencias artificiales también han dado lugar a numerosas películas en las cuales se plantean sus beneficios y limitaciones, aunque como era de esperar, son muchas más las cintas que apuntan hacia las consecuencias oscuras de la implementación de las IA en la vida cotidiana o a escala social.

En líneas generales, hay dos grandes núcleos argumentales que se repiten en la mayoría de los filmes. Por una parte, hay películas en las cuales seres o programas dotados de inteligencia artificial chocan con las reglas sociales o las normas morales debido a su incapacidad para comprender los contextos en los cuales actúan. En *A.I. Inteligencia Artificial* (Steven Spielberg, 2001), un niño androide se aferra a

su hermano humano y se arroja a una piscina, sin darse cuenta de que, debido a su peso, ambos caen al fondo del agua donde el niño humano no puede sobrevivir. En *Saturno 3* (Stanley Donen, 1980), un robot con capacidad de aprendizaje observa por azar un asesinato y aprende a asesinar: su programación no incluye las pautas morales que le permitan entender la condenable naturaleza social de este acto. En *Her* (Spike Jonze, 2013), un hombre adquiere un programa de inteligencia artificial con una voz femenina de la cual se enamora, aunque luego se da cuenta de que no es el único hombre relacionado afectivamente con ella: la IA no incluye un comando de fidelidad emocional.

El otro gran núcleo argumental comprende a inteligencias artificiales que se independizan de los seres humanos y toman decisiones lógicas que por lo general las conminan a destruir a la humanidad. En *Terminator* (1984), una computadora decide que, ante la falta de cuidado de los hombres por su medio ambiente, es necesario un reinicio de la vida humana; con este fin, se apodera de los sistemas de armamento de los Estados Unidos y lleva adelante un exterminio a escala planetaria. En *Yo Robot* (2004), otra inteligencia artificial llega más o menos a la misma conclusión: los seres humanos no pueden cuidarse a sí mismos. Para solucionar este problema, organiza una rebelión de los robots domésticos que ya forman parte de la vida cotidiana, que tendrán por objetivo obligar a las personas a actuar razonablemente cuidando su propia existencia.

En todos los casos el temor es más o menos similar: ¿hasta qué punto los seres humanos serán capaces de controlar las inteligencias que ellos mismos crean? Y si ese control no prospera ¿qué destino le espera a la humanidad?

El artista Joaquín Fargas introduce otro aspecto interesante en su obra *Robotika. The Nannyboot* (2019).¹⁰ Para este proyecto, el autor imagina un robot inteligente programado para cuidar e instruir a niños humanos. Si las inteligencias artificiales son cada vez más completas y efectivas, si su capacidad de acumulación de conocimientos es muy superior a la de cualquier persona, y además pueden ser adiestradas para reconocer los movimientos y comportamientos de un bebé y actuar cuidadosamente ¿por qué no delegar en ellas la educación de las próximas generaciones de seres humanos?

Cuesta pensar en encomendar algo tanpreciado como los primeros años de desarrollo físico e intelectual de un niño a una máquina, por más inteligente que sea. Sabemos que en el crecimiento de un bebé intervienen múltiples factores que exceden con creces los puramente físicos e intelectuales. Pero aún así, si la máquina perfecta existiera y fuera la mejor opción para criar a un hijo ¿seguiríamos llamando *humano* al resultado de ese proceso de formación?

A modo de conclusión

A lo largo de la historia, los artistas siempre estuvieron atentos a las transformaciones tecnológicas de su entorno, incorporando todo aquello que les permitiera ampliar el campo de sus producciones estéticas, tanto en aspectos materiales como técnicos y conceptuales. Las inteligencias artificiales no son una excepción. Incluso antes de que existieran efectivamente ya habían sido imaginadas por algunos creadores adelantados a su tiempo.

La aparición de máquinas y programas con capacidad real de inteligencia llamó la atención de los artistas despiertos y fue saludada de inmediato por los más audaces. Pero como es habitual en el terreno del arte, esta aceptación fue acompañada de investigaciones e interrogantes con el fin de explorar todas las aristas de sus impactos sensoriales y filosóficos.

Las inteligencias artificiales están presentes hoy en el arte contemporáneo desde diferentes perspectivas: como herramientas que promueven la creación de obras novedosas, como tecnologías capaces de producir efectos y realidades propias operando sobre dispositivos que les permiten incidir sobre el universo físico, y como producto de la humanidad que exigen ser pensadas y cuestionadas con el fin de comprender las particularidades de las transformaciones que introducen al mundo que conocemos.

Sin embargo, no se debe confundir el verdadero lugar que las inteligencias artificiales ocupan en la escena artística. Porque los interrogantes que plantean no están dirigidos, en realidad, hacia ellas.

El arte es un producto cultural mediante el cual los seres humanos reflexionamos sobre nosotros mismos. La introducción de las inteligencias artificiales nos invita a pensar en qué mundo vivimos y qué nos depara el destino ahora que la inteligencia no es una facultad exclusivamente nuestra.

Bibliografía

- Barthes, Roland (1968). "La muerte del autor", en *El susurro del lenguaje. Más allá de la palabra y la escritura* (2002), Barcelona, Paidós, pp.65-71.
- Bentkowska-Kafel, Anna, Trish Cashen, Hazel Gardiner (2005). *Digital Art History. A Subject in Transition. Computers and the History of Art. Volume I*, London, Intellect Books.
- Boden, Margaret (2017). *Inteligencia artificial*, Madrid, Turner.
- Bourdieu, Pierre (2010). *El sentido social del gusto. Elementos para una sociología de la cultura*, Buenos Aires, Siglo XXI.

Bustos Gorozpe, Fernando (2015). “Cuerpo e inteligencia artificial en el cine”, *Nexos*, México, 10 de octubre, disponible online: <https://cultura.nexos.com.mx/cuerpo-e-inteligencia-artificial-en-el-cine/> (recuperado el 1 de octubre de 2021)

Coeckelbergh, Mark (2021). *Ética de la inteligencia artificial*, Madrid, Cátedra.

Copeland, Jack (2007). *Inteligencia artificial. Una introducción filosófica*, Madrid, Alianza.

De Andrés, Tirso (2002). *Homo cybersapiens. La inteligencia artificial y la humana*, Navarra, Universidad de Navarra.

Giannetti, Claudia (2002). *Estética digital. Sintopía del arte, la ciencia y la tecnología*, Barcelona, L'Angelot.

Glusberg, Jorge (1969). *Arte y cibernética* (cat.exp.), Buenos Aires, Galería Bonino.

Grau, Oliver (ed.) (2007). *Media Art Histories*, Cambridge (Mass.), The MIT Press.

Graubard, Stephen (comp.) (1999). *El nuevo debate sobre la inteligencia artificial. Sistemas simbólicos y redes neuronales*, Barcelona, Gedisa.

Hernando, Silvia, Raquel Vidales, Tommaso Koch, (2020) “Arte e inteligencia artificial”, *El País*, Madrid, 11 de agosto.

Kant, Immanuel (2013). *Crítica del juicio*, Barcelona, Espasa.

Peñuela, Jorge Edilberto (2007). “Filosofía de lo bello en Kant”, *Revista científica*, No.9, Universidad Distrital, Caldas, pp. 29-68.

Reichardt, Jasia (ed.) (1968). *Cybernetic Serendipity. The Computer and the Arts*, New York, Praeger, Studio International Special Issue.

Sadin, Eric (2020). *La inteligencia artificial o el desafío del siglo. Anatomía de un antihumanismo radical*, Buenos Aires, Caja Negra.

Wiener, Norbert (1969). *Cibernética y sociedad*, Buenos Aires, Sudamericana.

1 Versión española: Wiener, Norbert (1998). *Cibernética o el control y la comunicación en animales y máquinas*, Barcelona, Tusquets.

2 Turing, Alan (1950), “Computing Machinery and Intelligence”, *Mind*, New Series, Vol. 59, No. 236, London, October.

3 Para una comparación de las teorías de Norbert Wiener y Alan Turing, consúltese Giannetti, Claudia (2002), Cap. “La constitución de dos nuevas disciplinas: cibernética e inteligencia artificial”, pp.22-28.

4 La exposición fue curada por Jasia Reichardt y tuvo lugar en las salas del Instituto de Arte Contemporáneo de Londres entre el 2 de agosto y el 20 de octubre de 1968. Luego itineró a los Estados Unidos.

5 Los *ready-mades* fueron olvidados durante mucho tiempo por el sistema artístico hasta que un grupo de jóvenes artistas admiradores del dadaísmo los recuperaron. La retrospectiva de Marcel Duchamp en el Museo de Arte de Pasadena de 1963 fue el acontecimiento que reconectó a estos dispositivos estéticos con el público.

6 Publicado originalmente en la revista *Sur*, No.56 (Buenos Aires, 1939), e incluido luego en el libro de relatos *Ficciones* (Ediciones Sur, Buenos Aires, 1944).

7 La obra fue presentada en la inauguración de la sede de la Fundación Andreani en el barrio de La Boca en Buenos Aires, 2020.

8 Versión española: Goleman, Daniel (1995). *La inteligencia emocional. Por qué es más importante que el coeficiente intelectual*, Barcelona, Kairós, 1995.

9 Véase, por ejemplo, Bourdieu, Pierre (2010).

10 Para mayor información sobre esta obra se sugiere visitar la página web del artista: <http://www.joaquinfargas.com/obra/robotika/> (Recuperada el 1 de octubre de 2021)

■ Aplicaciones de la Inteligencia artificial en la Odontología

Dr. Guillermo Trigo (Vicepresidente). Dr. Eduardo Rey (Presidente). Dra. Julia Harfin (Secretaria)

Resumen: La inteligencia artificial IA es la composición de algoritmos diseñados para imitar el comportamiento humano. Es a través de la aplicación de estos algoritmos que la odontología espera mejorar la precisión y eficiencia de los diagnósticos, proporcionar una guía para tratamientos, evaluar posibles resultados por medio de la simulación y generar proyecciones en cuanto a la incidencia y pronóstico de enfermedades.

En el artículo se describen brevemente las tecnologías que comprenden la inteligencia artificial y cómo las mismas están al servicio de diversas áreas de la odontología.

Palabras claves: *inteligencia artificial, IA, AI, tecnología, algoritmo, ciencia de datos, machine learning.*

Introducción

La inteligencia artificial (IA) es la composición de algoritmos diseñados con el fin de realizar una toma de decisión de forma automática sin la necesidad de una intervención humana sobre la misma. Con el fin de apreciar la interacción entre el humano y la tecnología en el ámbito de la medicina, se ha planteado el uso de la inteligencia aumentada como una ramificación de la IA haciendo énfasis en sus funciones de apoyo y complemento a los profesionales de la medicina, sin embargo, a pesar de la precisión, es importante resaltar que los dispositivos tecnológicos empleados en la medicina aún se consideran como tecnologías en vías de desarrollo o fase experimental.

En el caso de la odontología, el componente virtual de la IA (algoritmos) es el que mayormente se emplea, ya que a través de estos se espera mejorar la precisión y eficiencia de los diagnósticos, proporcionar una guía para el tratamiento, hacer simulaciones para evaluar posibles resultados y generar proyecciones en cuanto a la incidencia y pronóstico de enfermedades estomatológicas. Analistas de modelos, mineros de datos y científicos de datos logran mejores resultados al emplear distintas herramientas para generar algoritmos y la creatividad es algo fundamental en este proceso.

El presente documento muestra una revisión de algunos avances que se han desarrollado en el campo de la odontología y cómo estos avances pueden ser aplicados en el diagnóstico, tratamiento de enfermedades con ayuda médica y en el impacto que han tenido en la odontología.

Inteligencia artificial

El origen del término inteligencia artificial se remonta al año 1956 cuando un informático norteamericano (John McCarthy), lo acuñó en la Conferencia de Dartmouth, donde tuvo inicio esta disciplina. En la actualidad, el concepto de IA comprende desde la automatización de procesos hasta la toma de decisión y tiene gran relevancia debido a los grandes volúmenes y variedad de datos que manejan hoy en día las empresas y que pueden ser procesados con mayor eficacia a través de la inteligencia artificial, permitiendo obtener información de forma automática y mejores resultados en base a ella.

Tecnologías de inteligencia artificial

Las tecnologías que comprenden la inteligencia artificial son diversas y de gran amplitud, pero dentro de las más relevantes se encuentran las siguientes:

- **Reconocimiento automático del lenguaje:** a través de la inteligencia artificial se logra el reconocimiento de fonemas los cuales son procesados para identificar las palabras pronunciadas.
- **Procesamiento del lenguaje natural:** por medio de la inteligencia artificial se utilizan estos algoritmos para identificar símbolos, palabras, frases, los cuales se pueden utilizar para detectar patrones de escritura, detección del sentimiento de

un escritor en una oración y predicción de palabras continuas o relaciones entre palabras.

- **Reconocimiento visual:** la inteligencia artificial es capaz de procesar imágenes o vídeos para reconocer patrones y formas, identificando con gran precisión los elementos de estos. Dentro de esta tecnología se incluye el reconocimiento de texto, detección de personas u objetos en tiempo real.

- **Big Data:** no es catalogado como una tecnología, pero la disponibilidad de gran volumen de datos, el análisis y el procesamiento de la misma representa una sólida base vital para el desarrollo de algoritmos.

- **Robótica:** Existen diversos algoritmos implementados en sistemas tecnológicos para la realización de distintas tareas.

- **El Machine Learning:** en esta disciplina la inteligencia artificial busca el aprendizaje automático, realizando un algoritmo que pueda replicar la toma de una decisión a partir del entrenamiento del mismo. Estos algoritmos generan como respuesta una probabilidad de ocurrencia, o de no ocurrencia, de un hecho particular.

- **Deep Learning:** es un sistema de aprendizaje complejo basado en algoritmos de redes neuronales. Este algoritmo realiza distintas interrelaciones entre las variables de entrada y ejecuta distintas reglas para proporcionar una probabilidad de ocurrencia o clasificación del objetivo del modelo.

- **Inteligencia Cognitiva:** es una composición de las tecnologías mencionadas anteriormente donde la inteligencia artificial es capaz de recolectar distinta información y responder consecuentemente en base a la misma.

Inteligencia artificial al servicio de la odontología

Gracias a la gran capacidad de recolección y procesamiento de datos, se facilita el análisis de grandes volúmenes de datos en la historia de un paciente, lo que permite generar patrones que puedan incluso detectar otros problemas de salud en el paciente. En el campo de la Odontología, la inteligencia artificial actualmente permite una identificación más eficiente y eficaz de diversas enfermedades bucales, con un alto grado de precisión.

Adicionalmente, la inteligencia artificial puede analizar los datos obtenidos en las prácticas, con el fin de aportar a los investigadores información que les permita relacionar los síntomas de los pacientes con la necesidad de practicar algún otro tipo de estudio. También es muy útil en el diseño de diversos modelos de prótesis dentales cuando se recolectan datos de los pacientes en sistemas como el CAD – CAM (Computer Aided Design y Computer Aided Manufacturing).

Hoy en día, la mayoría de los escáneres orales utilizan inteligencia artificial que les permite al momento de hacer el escaneado de la boca, reconocer que la lengua o un dedo no es lo que se requiere escanear, eliminando estas estructuras y escaneando solo los dientes. También en el caso de los alineadores transparentes, la inteligencia artificial permite al paciente que se escanee por sí mismo mediante una aplicación en su teléfono, la cual le dice cómo va el proceso y si debe cambiar de alineador evitándole tener que ir periódicamente a una revisión física con el doctor.

Vemos cómo la inteligencia artificial puede ayudar tanto en una mejor atención del paciente, como una mejor gestión de la clínica, ya que se optimizan los tiempos al avisar al paciente y los requisitos que debe cumplir al momento de la consulta. Además, toda información recolectada puede ser almacenada y así crear una base de datos que puede ser útil para realizar algoritmos y predecir el número de rechazos de implantes o qué implantes deben aplicarse, lo que a su vez optimizaría la compra de estos insumos.

Finalmente y no menos importante, al manejar la información completa de los pacientes, también permite tener un mejor conocimiento de ellos con respecto a la frecuencia con la que deben asistir a las consultas, puntualidad, el número de veces que suspenden la cita y una serie de comportamientos que hacen posible predecir si el paciente quiere permanecer o cambiar de consulta y poder tomar las acciones correctivas que sean necesarias para evitarlo.

Inteligencia artificial en la cefalometría

La cefalometría es una técnica ampliamente utilizada para el diagnóstico en ortodoncia y otras áreas de la odontología, la misma ha ido a la par de avances tecnológicos que han ido reemplazando paulatinamente el método manual por el uso de software, lo que conlleva una serie de ventajas, principalmente, la reducción de la dosis de radiación, además de hacerlas mediciones de manera más rápida y precisa, permitiendo incluso poder realizar varios análisis al mismo tiempo.

Actualmente existen diversas aplicaciones de análisis cefalométrico, sin embargo, hay un punto contradictorio en el uso de estas aplicaciones, ya que el ortodoncista debe marcar los puntos anatómicos de forma individual durante el trazado, haciendo que el procedimiento no sea del todo automatizado independientemente del dispositivo empleado, por lo que es importante evaluar la confiabilidad del software para minimizar los errores en la identificación de los puntos de referencia.

La ventaja del uso de software en la cefalometría, es que permite disminuir el tiempo del procedimiento al realizar el análisis de forma automática e inmediata a través de algoritmos basados en inteligencia artificial, pero se hace necesario apoyarse en estudios comparativos que permitan seleccionar el algoritmo más adecuado y confiable.

Uso de la inteligencia artificial en diversas áreas de la odontología

Odontología General y Medicina Oral

Los asistentes virtuales dentales basados en algoritmos de inteligencia artificial, permiten llevar a cabo diversas tareas rutinarias de la odontología general con mayor precisión que los humanos. También son muy útiles en la asistencia remota de emergencias y en la gestión de la clínica, ya que por medio de las aplicaciones se pueden realizar diversos trámites como coordinar citas, realizar diagnósticos, planificar tratamientos, ejecutar seguros y además gestionar una base de datos con los historiales médicos y hábitos de los pacientes lo cual resulta muy provechoso para el profesional.

La inteligencia artificial también está presente en la tecnología de los sillones dentales, en los cuales las posiciones del mismo pueden ser controladas por comandos de voz, al igual que el surtidor de agua y el control de las luces, mejorando ampliamente la experiencia, haciéndola mucho más cómoda para el paciente y el médico.

En relación a la medicina oral, la inteligencia artificial puede ser útil en el diagnóstico y tratamiento de lesiones en la cavidad bucal y se puede emplear en la detección y clasificación de mucosa alterada sospechosa que sufre cambios pre malignos y malignos. La inteligencia artificial podría predecir con precisión una predisposición genética al cáncer oral para una gran población.

Cirugía Oral y Maxilofacial

En este campo de la odontología, la inteligencia artificial da soporte al cirujano en la planificación de cirugías con mayor precisión y con un menor tiempo de operación, además de permitir que no sean necesarios los procedimientos de revisión.

Pero es la bioimpresión una de las aplicaciones más importantes en esta área, ya que, al formar múltiples capas de células, se podrían regenerar tejidos orales tanto duros como blandos para reponer pérdidas por causas naturales o producto de accidentes.

Radiología dental y maxilofacial

Esta especialidad de la odontología se ha visto ampliamente beneficiada por los avances en el reconocimiento de imágenes gracias al uso de la inteligencia artificial en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades, trastornos y afecciones de la boca, cara y mandíbulas con una precisión superior a la de expertos dentales certificados.

El uso de algoritmos en la radiología dental minimiza los errores de diagnóstico, mejorando la atención al paciente y aumentando la rentabilidad de las prácticas dentales al permitir que estas se realicen a mayor velocidad y calidad, ya que con el uso de estos software, en solo segundos se alcanza un cuadro dental completo, producto de la interpretación de imágenes panorámicas.

Odontología forense

La odontología forense a través del estudio y reconocimiento de la región buco-facial, aporta en la resolución de problemas judiciales mediante la identificación de personas vivas o de cadáveres utilizando sistemas que arrojan resultados que los métodos convencionales no ofrecen.

El registro y recolección de datos dentales permiten a través de algoritmos, desarrollar perfiles dentarios para lograr la identificación de un sujeto y la estimación de la edad, lo cual es muy importante en el campo de la odontología forense.

El aporte de la inteligencia artificial en este campo de la odontología, está presente en el uso de algoritmos para cotejar rugas palatinas y en el empleo de redes neuronales que estiman la edad del sujeto.

Prácticas odontológicas

Con el uso de la inteligencia artificial en la enseñanza de la odontología, es posible mejorar la formación de los estudiantes, detectando alumnos que requerirían un apoyo adicional para cumplir un objetivo particular y, por otro lado, a través de aplicaciones de realidad virtual es posible simular procedimientos prácticos que permiten la evaluación de técnicas quirúrgicas, en sesiones de prácticas que pueden repetirse la cantidad de veces que sean necesarias para que el estudiante desarrolle la habilidad requerida. Este método de capacitación que se realiza previo a la realidad de casos clínicos, favorece la reducción de los riesgos por daños iatrogénicos, además de ser un método confiable y económico.

Diseño de prótesis dentales

La inteligencia artificial tiene un papel muy importante en el área de la prosthodoncia, ya que a través del diseño de software que toman en cuenta factores como las medidas del rostro, tipo de hueso, rasgos antropológicos y gustos del paciente, se puede tomar una decisión más eficaz para diseñar mejores prótesis.

Otro aporte importante de la inteligencia artificial es el uso de la tecnología para crear modelos en 3D que reducen los errores humanos y el tiempo del proceso, además de lograr por medio de la realidad virtual, la simulación de perfiles faciales después del tratamiento, lo cual es muy importante para la motivación del paciente y para lograr un eficiente diseño de la estética.

Ortodoncia y Periodoncia

En estos campos de la odontología, la inteligencia artificial ha sido de gran utilidad en el análisis de radiografías que permiten el diagnóstico y la planificación del tratamiento y el monitoreo de la progresión del mismo.

Métodos tradicionales como la toma de impresiones dentales, están siendo reemplazados por el uso de escáneres intraorales que arrojan como resultado impresiones digitales, además por medio de algoritmos se puede predecir el movimiento de los dientes y el resultado final del tratamiento.

Con respecto al diagnóstico y tratamiento de enfermedades periodontales, la inteligencia artificial ha contribuido en la detección temprana de cambios periodontales, pérdida de hueso o cambios en la densidad ósea ayudando en una intervención a tiempo de la implantología.

Conclusiones

A través de la Big Data, la inteligencia artificial contribuirá a proveer más precisión en la odontología, realizando análisis predictivos de forma más rápida.

En el campo de la ortodoncia, la inteligencia artificial ha estado a la vanguardia en la detección automática de puntos de referencia, en las decisiones de extracciones dentales y en la predicción de la necesidad de un tratamiento de ortodoncia o cirugía ortognática.

Es una realidad que la inteligencia artificial ha aportado grandes beneficios en la medicina y en la odontología, sin embargo, para querer igualar el complejo sistema biológico de los seres humanos, se debe considerar seguir desarrollando estas tecnologías y no olvidar que son una herramienta más de apoyo al intelecto del humano experto en el área, ayudando a realizar las tareas de manera más rápida, precisa y eficaz.

Referencias

- Fernández, A. Tecnologías de Inteligencia Artificial y sus categorías. Aura Quantic. Recuperado de: <https://www.auraquantic.com/es/tecnologias-de-inteligencia-artificial-y-sus-categorias/>
- Gaceta Dental. (2021). Inteligencia Artificial, el nuevo modelo de Odontología. Gacetadental.com. Recuperado de: <https://gacetadental.com/2021/05/inteligencia-artificial-el-nuevo-modelo-de-odontologia-104092/>
- Marcano, L. (2020). Inteligencia Artificial en la Odontología. Od Luis Marcano. Recuperado de: <https://odluismarcano.com/inteligencia-artificial/>
- Meriç, P. y Naoumova, J. (2020). Análisis cefalométrico totalmente automatizado basado en la web: comparaciones entre trazados manuales, computarizados y asistidos por aplicaciones. Revista turca de ortodoncia, 33 (3), 142-149. Recuperado de: <https://doi.org/10.5152/TurkJOrthod.2020.20062>
- Rouse, M. (2021). Inteligencia artificial o IA. TechTarget. Recuperado de: <https://searchdata-center.techtarget.com/es/definicion/Inteligencia-artificial-o-AI>
- Shan, T., Tay, F. y Gu, L. (2021). Aplicación de la Inteligencia Artificial en Odontología. Revista de investigación dental 100 (3), 232 – 244. Recuperado de: <https://doi.org/10.1177/0022034520969115>
- Tejaswi, K., Alekhya, K., Srikanth, G., Srikar, M., Ramaraju, D. y Ramlal, G. (2019). Inteligencia Artificial: desmitificando la odontología. El futuro y más allá. Revista Internacional de Medicina Contemporánea, Cirugía y Radiología.



Libro producido en el IX Encuentro
Interacadémico 2020

INTELIGENCIA ARTIFICIAL

UNA MIRADA MULTIDISCIPLINARIA

La influencia de la Inteligencia Artificial (IA) ha crecido enormemente en todos los ámbitos de la actividad humana. Esta compilación de trabajos es un ejemplo de los variados aspectos en que afecta la vida social y personal. En este volumen, dedicado a la "*Inteligencia Artificial. Una mirada multidisciplinaria*", se abordan los distintos aspectos en que la IA ya está modificando la vida humana tal como la conocemos. Algunas actividades, como la medicina a través de las técnicas diagnósticas, la bioquímica aplicada a la generación de fármacos, la producción agropecuaria, con sistemas aplicados en tiempo real a junto a la información meteorológica, y también la economía a través de los sistemas de gestión han sido influidas notablemente desde hace ya unos cuantos años. En la creación artística, la IA está abriendo un campo de experimentación inédito, como ser en la creación imitativa de música y robots que dibujan y pintan a partir de imágenes. En la educación, la IA permite hoy un notable desarrollo del aprendizaje tutelado o autoaprendizaje. Es justamente en este campo en el que la desigualdad y la exclusión social se hace más notoria y es imprescindible generar una noción nueva del concepto de alfabetización universal, que incluya la dimensión digital.

Las consideraciones sobre las implicancias legales, el futuro del trabajo, las pautas éticas que deben respetarse para el desarrollo de las aplicaciones, la preservación de los derechos de las personas, el cambio, la gestión y evolución de la industria y la ecología son, entre otras, explicitadas en los distintos trabajos incluidos en este volumen. La necesidad de la regulación de las aplicaciones de la IA no puede ser suficientemente enfatizada. Ejemplo de ello son las armas autónomas que aseguran el éxito de la misión. Es interesante considerar que, si se establece que la decisión es de la máquina, el atacante humano quedaría libre de responsabilidad. Hay documentos formales que establecen pautas éticas para la aplicación de la IA en la defensa. La duda que surge inmediatamente es: ¿qué es la ética de la guerra? Al parecer, estas aplicaciones de la IA, sumándose a otros mecanismos existentes de ocultamiento de las responsabilidades de quienes toman las decisiones, están profundizando el proceso de naturalización de la guerra.

La lectura de los trabajos de este volumen permite tener una idea actualizada de las distintas visiones y aplicaciones de la IA en un amplio abanico de actividades, y particularmente la dimensión ética del desarrollo de sus aplicaciones.

ISBN 978-987-99575-4-7

