INTEGRACIÓN & COMERCIO

#44 julio 2018

De un modo más o menos consciente, habitamos todos un nuevo planeta: *Algoritmolandia*. Se trata del espacio ciberfísico en el cual trillones de datos se trasladan a hipervelocidad y son analizados en sistemas crecientemente sofisticados de inteligencia artificial (IA), que mediante algoritmos generan procesos de aprendizaje y autoaprendizaje de un impacto exponencial en la industria, el comercio, los servicios y múltiples facetas de nuestra vida comunitaria.

A través del aporte de más de 40 reconocidos expertos mundiales, se analizan en este informe de INTAL-BID los riesgos y oportunidades de las máquinas inteligentes en áreas que tienen alta implicancia para nuestro perfil productivo y de inserción global: desde la posibilidad de predecir negociaciones comerciales, precios de *commodities* y tendencias de consumo, hasta su desarrollo en fábricas algoritmo, medicina personalizada, educación expandida, infraestructura prototipada, ecomovilidad autónoma, agricultura de precisión, consumo energético, expedientes judiciales, análisis macroeconómicos y desafíos éticos y de equidad social.

Estamos en los albores de una tecnología que se constituye en un nuevo factor de producción. La inteligencia artificial, guiada por una sabia y renovada visión humanista, puede contribuir a consolidar una Integración Regional predictiva e inclusiva para todos los latinoamericanos.

ISBN 978-950-49-6370-7

BID INTAL

INTEGRACIÓN & COMERCIO #44 julio 2018 ALGORITMOLANDIA

ALGORITMOLANDIA

INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA UNA INTEGRACIÓN PREDICTIVA E INCLUSIVA DE AMÉRICA LATINA

BID INTAL Planeta

ALGORITMOLANDIA

INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA UNA INTEGRACIÓN PREDICTIVA E INCLUSIVA DE AMÉRICA LATINA

BID

INTAL

07 Bienvenida **Antoni Estevadeordal**

08 5-R/E **Gustavo Beliz**

INTEGRACIÓN PREDICTIVA

28
Una explosión de productividad
Armen Ovanessoff y Eduardo Plastino

50
Una nueva etapa de globalización
Anand Rao

62
"La tecnología ayuda a los países a construir reglas flexibles"
Peter Diamond

66
Cómo facilitar las negociaciones comerciales
Welber Barral y Gabriel Petrus

74
"Podemos esperar una relocalización de tareas codificables"
Dave Donaldson

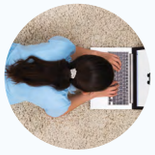
82
Transformando los servicios globales
Avinash Vashistha y Ankita Vashistha

100
Transferencia de capacidades

102
Geo-localización y *Big Data*
Marcos Herrera

112
Macro-economía de ciencia ficción
Daniel Heymann y Pablo Mira

COMERCIO EXPONENCIAL



126
El comercio electrónico en la era de los bots
Carlos Chesñevar y Elsa Estevez

136
"La tolerancia al fracaso es la clave del desarrollo"
Karim Lakhani

142
Tecno-transporte urbano
Phil Tinn y Michael Lin

154
Vehículos autónomos

156
Infraestructura portuaria en 2035
Luis Ascencio y Rosa González-Ramírez

168
Logística robótica

170
Hacia una minería inteligente
John Atkinson

184
Commodities agrícolas
Julia Núñez Tabales, José Caridad y Ocerín, y María García-Moreno

202
Agricultura 4.0

204
Trading algorítmico
Julián Siri y Juan Serur

GOBERNANZA DE REDES NEURONALES

218
Un desafío de gobernanza mundial
Nicolas Miailhe y Yolanda Lannquist

234
"América Latina debe dejar de regalar sus datos"
Geoff Mulgan

240
El experimento Aadhaar en India

244
El riesgo moral en el aprendizaje automático
Juan Lavista

254
IA-Procurement

256
Estados eficientes
Juan Corvalán

266
Cuando el gobierno innova

DIVIDENDOS DIGITALES

272
Nuevas ocupaciones
Kate Pounder y Geoffrey Liu

292
Una medida alternativa del riesgo de automatización
Santiago Chelala

308
Distribución del ingreso en el planeta de las superestrellas
Anton Korinek

318
Educación expandida y personalizada
Débora Schapira

328
"Todo proyecto tecnológico tiene una dimensión ética"
Rafael Reif

332
Cerrando la brecha digital

336
E-Salud
Michael Gillam

350
Medicina de precisión

I&C N°44, Año 22, Julio 2018
ISBN. 978-950-49-6370-7 | R.P.I. 5355458
Publicación propiedad del Instituto para la Integración de América Latina y el Caribe, Banco Interamericano de Desarrollo (BID-INTAL). Todos los derechos reservados.
Esmeralda 130 piso 16 – CABA. ISSN 1995-9524
Copyright © 2018 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-No Comercial-Sin Obras Derivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.

Comité de dirección / Antoni Estevadeordal y Gustavo Beliz.
Comité editorial / Ana Inés Basco, Mariana Pernas, Cecilia Nicolini, Belisario de Azevedo y Santiago Chelala.
Diseño / Andrea Pellegrino y Santiago Fraccarolli.
Corrección / Yamila Rubbo.
Traducción / María Inés Martiarena y Victoria Patience.

Beliz, Gustavo
Algoritmolandia / Gustavo Beliz. - 1a ed. -
Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Planeta, 2018.
360 p. ; 23x15 cm.
1. tecnología. I. Título.
CDD 629.892
Impreso en Gráfica Latina S.A., Av. Constituyentes 3423, CABA.
Primera impresión 2000 ejemplares.

Bienvenida

ANTONI ESTEVADEORDAL
Gerente del Sector de Integración y Comercio
Banco Interamericano de Desarrollo

América Latina enfrenta nuevos desafíos a la hora de encontrar el mejor camino hacia una mayor integración regional. La industria 4.0 ofrece importantes ventajas para incrementar la productividad y lograr que nuestros países sean más competitivos. Pero al mismo tiempo plantea interrogantes sobre cómo impactarán los avances tecnológicos en nuestra matriz productiva y en nuestra canasta exportadora, y sobre cómo consensuar regulaciones que faciliten las nuevas modalidades de comercio.

Esta edición pone el foco en una tecnología específica, quizás la más disruptiva de la Cuarta Revolución Industrial: la inteligencia artificial (IA). Procesos de aprendizaje automático (*machine learning*) comienzan a usarse en la producción de alimentos, en el sector automotriz, en las finanzas y en los servicios.

En la actualidad, casi el 90% del comercio intrarregional se encuentra libre de aranceles, pero la arquitectura regulatoria edificada a partir de la proliferación de acuerdos comerciales preferenciales (ACP) no brinda a las empresas la flexibilidad necesaria para competir en la economía digital. ¿Cuál debe ser el marco regulatorio del intercambio de datos en una integración 4.0 que permita ir más más allá del mosaico actual de tratados y avanzar hacia un mercado regional unificado? ¿Podemos esperar una relocalización de bienes que dejan de producirse en lugares remotos cuando el costo laboral pierde significancia entre los factores que determinan la configuración de la cadena de valor? ¿Cómo prepararnos ante esta amenaza, considerando que en los últimos cinco años el comercio interregional se redujo 26%? O, por el contrario, ¿este nuevo factor de producción que es la IA afianzará las relaciones vigentes a partir de una mayor eficiencia y elevará los flujos de comercio, de productos, conocimiento e información, a nivel global y regional?

Vivimos apasionantes tiempos de cambios. El reconocimiento de imágenes comenzó a implementarse en las fronteras para acelerar los procedimientos aduaneros; aplicaciones de IA se utilizan en la logística portuaria para la organización de contenedores; las empresas la emplean para el manejo de inventarios, para optimizar la relación entre clientes y proveedores y en el transporte de vehículos autónomos; e incluso los *policy makers* la comienzan a tener a disposición en las negociaciones multilaterales que tienden a ser complejas debido a la enorme cantidad de información que se requiere estructurar, solo para citar algunos ejemplos de los muchos que se desarrollan a lo largo de esta edición.

La IA se constituye así en una herramienta más para reducir las deficiencias de los marcos regulatorios y mejorar la calidad institucional (el *software* de la integración), y para contribuir a cerrar las brechas de infraestructura y conectividad física (el *hardware* de la integración) que caracterizan a nuestra región y le restan competitividad frente a los países más desarrollados.

Los especialistas reunidos en este volumen describen el estado de la cuestión y señalan los puntos de dirección para que la IA sirva de apoyo a la integración regional. En el Sector de Integración y Comercio del BID estamos convencidos de que todo paso hacia la facilitación comercial, hacia la reducción de los obstáculos que dificultan el intercambio de bienes, servicios e ideas, servirá para mejorar la calidad de vida de los latinoamericanos.

5-R/E

LAS CINCO R/EVOLUCIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN AMÉRICA LATINA

GUSTAVO BELIZ
Director del Instituto para la Integración de América Latina y el Caribe
Banco Interamericano de Desarrollo

R/E. Revolución y evolución. En cámara lenta y en velocidad supersónica. Física y digital. Visible e intangible. Con bienes y servicios. Con aceros y datos. Con autopistas y *smartphones*. En el siglo XIX y en el siglo XXII. Con tecnofobia y tecnoutopía... América Latina comienza a verse impactada por una disrupción tecnológica donde los modelos tradicionales no terminan de dar un paso al costado y los modelos innovadores no alcanzan aún a implantarse. En dicho escenario transicional, la irrupción de la inteligencia artificial (IA) como un nuevo factor de producción nos llama a reinventar respuestas frente al inacabado desafío de diversificar patrones económicos y agregar valor a nuestra inserción mundial, de un modo sustentable ambientalmente e inclusivo socialmente.

Con mayor o menor conciencia, habitamos un nuevo planeta: *Algoritmolandia*. Vivimos rodeados de algoritmos, ese conjunto de operaciones organizadas de manera lógica y ordenada que permiten solucionar un determinado problema. Cada vez con mayor y exponencial frecuencia, fórmulas crípticas sugieren nuestras próximas compras, la película que veremos el fin de semana, el límite de nuestra capacidad de crédito y la posibilidad de contraer una enfermedad. Ese impacto individual tiene también una dimensión estructural: desde la evolución de las transacciones bursátiles hasta el precio de *commodities*, pasando por el transporte masivo, las decisiones judiciales y la internet industrial. Emergen los robots de cuello blanco, inteligentes, imperceptibles, capaces de aprender, desaprender, sentir e inferir, en lo que constituye un estado superior de los clásicos robots de cuello azul, propios de las tareas rutinarias de la era industrial.

La masividad e hipervelocidad de datos, conjugada con la capacidad analítica cada vez más vasta, nos transporta a una realidad paradojal, en la cual a medida que aumenta la eficacia tecnológica crecen nuestros temores. Tanto los estudios de INTAL-Latinobarómetro, como los del Eurobarómetro y del Pew Research Center,[1] exhiben que más del 70% de los habitantes temen que la IA y los robots reemplacen sus actuales trabajos y destruyan más ocupaciones de las que puedan crear. Al mismo tiempo, visiones apocalípticas de la IA como amenaza de la humanidad conviven con desarrollos beneficiosos para un amplio espectro de los principales problemas universales.

Con un enfoque holístico, multidisciplinario y con sólida evidencia empírica, en este informe reunimos a más de 40 expertos internacionales para analizar las implicancias socioeconómicas de la IA y proyectar respuestas a la pregunta acerca de cómo puede nuestra región aprovechar las oportunidades que ofrece esta tecnología para mejorar la vida de sus ciudadanos, lograr una mayor integración de nuestras naciones, al tiempo que mitigar los riesgos propios de los cambios de época.

A lo largo de estas páginas quedará en claro, a partir de investigaciones, reportajes y del análisis de casos de estudio, cómo la IA está promoviendo una integración híbrida, en la cual las negociaciones arancelarias no desaparecen, como tampoco prescriben las líneas de montaje. Al igual que las capas geológicas, se superponen con fenómenos modernos de intercambio digital, innovación de garaje, automatización y relocalización. Los canales de conexión con el mundo y con nuestros semejantes ya no son sólidos ni líquidos, son invisibles, como los algoritmos.[2] Pero es precisamente esta intangibilidad, esta ausencia de corporeidad la que nos sacude, nos presenta una morfología novedosa de las relaciones que juzgábamos eternas y nos invita a rediseñarnos a partir del análisis simultáneo de 5 R/E, cinco revoluciones y evoluciones.

1 · LA R/EVOLUCIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD

De la planificación masificada a la fábrica algoritmo

El comercio internacional está siendo atravesado por dos tendencias de reconfiguración.[3] Desde la esfera financiera, el endurecimiento de las condiciones de liquidez para países emergentes y el estrés que provoca el mayor costo del dinero en el mundo. Desde la esfera de la economía real, las nuevas tecnologías y la industria 4.0 que demandan una innovación permanente para evitar que los bienes y servicios exportados se vuelvan obsoletos. Ambas tendencias confluyen en el mismo concepto: selectividad. Así como los flujos de capitales y las inversiones serán más selectivas en su posicionamiento, consumidores y empresas deberán competir en mercados globales cada vez más exigentes.

En este contexto, el modelo de negocios en la mayoría de los sectores está atravesando una transformación acelerada. La IA afecta tanto las técnicas productivas hacia dentro de las empresas como la relación con clientes y proveedores. Surgen nuevos bienes, industrias y servicios que obligan a redefinir nuestra matriz exportadora y a dejar de lado antiguos parámetros de concentración. El velocímetro de la IA creado por Stanford (2017) muestra que el ritmo de estos cambios es exponencial, cada vez más vertiginoso. Hoy el 54% de los altos ejecutivos de compañías a nivel global están invirtiendo en IA[4] construyendo la fábrica

algoritmo –representada por todos los sectores de la economía–, que conjuga en tiempo real la producción ciberfísica.

Según Purdy y Daugherty (2016), la IA puede elevar la productividad del trabajo hasta 37% cuando la labor humana se potencia con herramientas de aprendizaje automático. Para América Latina, los beneficios económicos de este gigantesco incremento de productividad fueron calculados en US$ 700.000 millones.[5] Esto se refleja en mayor eficiencia, velocidad, nuevos productos personalizados y prototipados[6] y nuevas plataformas para el consumo, la inversión y el comercio,[7] a través de un concepto de integración predictiva donde se puedan avizorar con más precisión las demandas y requerimientos de otros actores, sean estos instituciones nacionales o locales, o consumidores individuales.

Incluso, como bien se señala en varios pasajes de este informe, la IA comienza a ser considerada como un nuevo factor de producción en sí mismo (amalgama de capital físico y fuerza de trabajo), con posibilidad de exceder las capacidades intelectuales humanas, autoaprender más y más rápido y dar lugar a un nuevo actor laboral virtual a través de la convergencia –cobotización– con las destrezas personales.

En esta competencia, América Latina no puede regalar terreno. Todo esfuerzo que apunte a reducir los obstáculos al comercio y facilitar la internacionalización de nuestras empresas –con particular énfasis de las pequeñas y medianas de la base de la pirámide– será un paso en la dirección adecuada. En esta tarea, la IA ya no debe ser vista como una opción, sino como una obligación. La amenaza inmediata no es la aplicación de la IA, sino su menosprecio.

2 · LA R/EVOLUCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA

De las autopistas a la nube

Necesitamos cerrar la brecha de infraestructura, para dar un salto de comercio exponencial en base a una agenda renovada. Pero mientras trabajamos en la disminución de costos logísticos con los instrumentos usuales, los países desarrollados continúan sacándonos ventaja. En Normandía, por ejemplo, al norte de Francia, y en tramos de la famosa ruta 66 en los Estados Unidos, las carreteras solares permiten acumular energía para abastecer la iluminación urbana, posibilitar la recarga de baterías de autos eléctricos, derretir la nieve y cambiar, a partir de sensores de IA, el sentido del tráfico según la demanda.[8] Se agiliza así el trasporte de carga y disminuyen las pérdidas de mercancías por demoras innecesarias.[9]

Desde la simplificación de trámites burocráticos hasta la transformación de puertos en corredores inteligentes con mayor capacidad para integrarse a las cadenas logísticas, la IA está favoreciendo la competitividad y la eficiencia operacional de los sectores que picaron en punta en su implementación.

La infraestructura es el andamio sobre el cual emprendimientos de los más diversos rubros económicos ganan escalabilidad. Sin infraestructura digital, las zonas agrícolas más alejadas de los grandes centros urbanos quedan impedidas de aplicar técnicas de agricultura de precisión, donde la IA permite encontrar la combinación de insumos que mejor se adapta a cada zona, simular escenarios de cultivo, detectar una plaga con técnicas de reconocimiento de imagen o focalizar la acción plaguicida solo en las plantas afectadas.[10]

En la industria manufacturera, las compañías automotrices apuestan a la tecnología lídar (*light detection and ranging*) de detección de objetos para lograr, junto a herramientas de IA y macrodatos, la plena autonomía del vehículo. Algunos avances asombrosos se dieron en nuestra región, fruto por ejemplo de la alianza entre Embraer y Uber para fabricar autos voladores. ¿Estamos preparando la infraestructura vial para el nuevo transporte?

La IA se utiliza además para crear grillas inteligentes que coordinen la generación de energía con la demanda en tiempo real, con el consecuente ahorro económico e impacto climático.[11] Los servicios informáticos a partir de desarrollos de IA, *big data* y computación en la nube son otro rubro clave para la diversificación exportadora liderada por servicios basados en conocimiento que necesitan de una infraestructura moderna.[12]

Los drones, que ya funcionan en pruebas piloto de envíos B2C (*bussiness to consumer*), pueden conformar una red aérea inteligente que, si bien no reemplace por completo el actual sistema de transporte terrestre, exprese una nueva forma de relacionamiento y envíos, más veloz y eficiente, en particular en lugares congestionados, zonas alejadas o ambientes hostiles. Este tipo de entrega automática reduce hasta 60% los costos operativos debido a la optimización de las rutas.

La tecnología tiene la facultad de reiniciar el contador del desarrollo, incluso en materia de conectividad física. La infraestructura 4.0 es la vía rápida para cerrar la brecha de América Latina con los países desarrollados.

3 · LA R/EVOLUCIÓN DE LA GOBERNANZA

Del *machine learning* al *government learning*

La automatización no supone gobiernos en piloto automático. Todo lo contrario. Muchos de nuestros socios o competidores en Asia y Europa lanzaron estrategias nacionales para introducir herramientas de IA en sus economías y aumentar la productividad de sectores transables. Es el caso de China, que en su plan de desarrollo de IA se propuso usarla para ganar 10% de eficiencia energética. De la India, que planea ser líder en tecnología 5G, *software* y TIC. O de Japón, que apuesta a encontrar soluciones al envejecimiento poblacional con IA aplicada a la economía del cuidado y a liderar la industria de servicios para la salud.[13]

La gobernanza de la IA tiene que conformar un sistema de incentivos sólido, con premios y castigos. Desde la perspectiva de las recompensas, son válidas las iniciativas que apuestan a la investigación en IA, como sucede a nivel local en Canadá (*Pan-Canadian Artificial Intelligence Strategy*), donde se transfieren recursos públicos a centros especializados para acelerar procesos y aplicaciones. Desde el lado de los castigos, una gobernanza de IA debe ser firme con quienes quebrantan la privacidad de la información personal, buscan lucrar con la ciberpiratería o ponen en funcionamiento algoritmos sesgados que reproducen prejuicios y afectan la vida o las posibilidades de progreso de las personas.

España lanzó también una consulta pública para darle forma a su estrategia digital bajo cinco pilares: la ética de los datos, la creación de ecosistemas digitales, la regulación, la infraestruc-

tura tecnológica y el empleo digital. El sector turismo, piedra angular del sector exportador español, fue señalado como uno de los rubros fundamentales de aplicación. También creó un Consejo de Sabios compuesto por representantes de la academia, el sector privado y la sociedad civil, y dependiente de la Secretaría de Estado de Agenda Digital, para elaborar un libro blanco de principios rectores del uso de la IA en el país.

El Gobierno británico destinará recursos a la creación del Centro para la Ética e Innovación de Datos, un organismo oficial encargado de brindar recomendaciones de políticas públicas y regulaciones, y realizar monitoreos continuos para garantizar la seguridad en el uso de IA. Otros países tienen programas de industria 4.0 en los que la IA se conjuga con la producción local.[14] Es un debate que los latinoamericanos aún nos debemos.

¿Por qué no crear una red de expertos regionales en IA? Un espacio desde donde pensar las mejores políticas públicas para nuestras realidades, articular esfuerzos y voluntades. Mucho se puede hacer desde el sector público para aliviar los costos de las transiciones laborales durante el proceso de automatización, fomentar habilidades blandas en el sistema educativo y monitorear las tendencias globales para anticipar cambios en la demanda laboral. Teniendo en cuenta el grueso de la inversión pública en capital humano que nuestros Estados efectúan, la IA puede darnos las herramientas para modernizar las fuerzas de defensa y seguridad, brindar apoyo a nuestros maestros y facilitar el trabajo médico en los hospitales. Las iniciativas de Mercosur Digital y las compras públicas focalizadas para fomentar la innovación son otros buenos ejemplos.

Precisamos delinear nuestra propia estrategia. Preguntarnos de qué manera vamos a incorporar la IA para agregar valor en nuestros sectores estratégicos con un Estado que acompañe y potencie al sector privado, pasando del *machine learning* al *government learning* y dejando atrás un concepto de sector público que trabaja en silos rutinarios, para pasar a un concepto de gobierno de redes neuronales, dinámico y creativo.[15] Los casilleros del tablero en la geopolítica de los algoritmos se ocuparán más temprano que tarde y conocemos ya el costo de quedarse en el andén viendo marchar el tren del desarrollo. La inacción es una decisión como cualquier otra, no es neutra, tiene ganancias y pérdidas.

4 · LA R/EVOLUCIÓN DE LA EQUIDAD

De la realidad aumentada a la humanidad aumentada

Asistimos a una robotización tridimensional, que simultáneamente crea, reemplaza y destruye empleos. No debemos engañarnos, sino prepararnos con más y mejor educación, con nuevos marcos reglamentarios, con mayor calidad institucional y con acuerdos inclusivos. Así como algunos empleos desaparecerán inevitablemente, ya sea como consecuencia de la innovación o por un simple cambio de las preferencias, surgirán nuevas profesiones en una inédita convergencia de las personas y las máquinas, o en una mixtura de trayectorias educativas que ya comienza a emerger: en Estados Unidos, por ejemplo, la Universidad de Illinois exige primero ser ingeniero antes de hacer un posgrado en medicina.

La IA también puede ser fuente de creación de nuevos empleos aún inexistentes, como expertos en agricultura vertical, entrenadores de cobotización, planificadores de *fintech*, antropólogos de ciberespacio, auditores de economía compartida, diseñadores de viajes en realidad virtual y asesores en *trading* de datos, entre muchos otros.[16]

Asimismo, las actuales profesiones podrán tender a mejorarse en la interacción con programas cada vez más sofisticados y personalizados de IA, como lo describen varios de los ejemplos de nuestro informe: desde evaluadores de políticas públicas a jueces y abogados, desde ingenieros agrónomos a propietarios de micro, pequeñas y medianas empresas, desde diseñadores urbanos a trabajadores de las industrias creativas, desde negociadores de tratados comerciales multilaterales hasta expertos en ciberseguridad y prevención de violencia.

No importa que muchas predicciones hayan vaticinado el fin del trabajo. Austria, Estados Unidos y Alemania, países con alta densidad de robot por habitante, tienen bajo desempleo o perdieron menos puestos de trabajo que otros países en la última crisis financiera. La automatización aparece recién amenazando al empleo que se ubica en el lugar 21 entre los 535 más usuales (Tegmark, 2017).

Ocurre que estamos entrando en la era del postempleo y el postsalario, donde la automatización y la digitalización de la economía alientan relaciones indirectas, de *freelance* y teletrabajo, con implicancias muy distintas a las que tenían los empleos tradicionales. En el ecosistema de innovación, esta nueva realidad es moneda corriente. Las *start-ups* necesitan ser flexibles, seguir una dinámica de prueba y error que sufre la rigidez de los mercados laborales clásicos.

Así como surgen nuevas formas de trabajo, también aparecen nuevas formas de esclavitud. La ausencia de instituciones y reglas que legitimen la relación entre empleadores y empleados son el caldo de cultivo para situaciones de abusos que tienen diferentes matices y grados de violencia, pero siempre recaen sobre los más desprotegidos.[17] Al mismo tiempo, y como lo documentan varios artículos de este informe, las posibilidades que brinda la IA en el área educativa, de salud y de servicios de justicia son inmensas y llaman a nuevos horizontes de inclusión social: pruebas piloto de experiencias de aprendizaje personalizado con algoritmos muestran que es posible aumentar hasta 15% el éxito escolar en los exámenes; el costo de secuenciar genomas cayó a una tasa hasta cinco veces más rápida de lo presagiado en la ley de Moore, lo que vuelve más accesible la medicina de precisión; los servicios de Watson contribuyen a la detección temprana de enfermedades a partir del reconocimiento automático de imágenes; en tanto que el tiempo invertido en trámites burocráticos puede reducirse más de 75% cuando la IA se aplica a procedimientos estatales.

Quizás uno de los interrogantes más cruciales de nuestro tiempo sea si la masificación del uso de la IA nos llevará a un escenario utópico, donde las máquinas se ocupan de las tareas más rutinarias y peligrosas, mientras los seres humanos dedicamos nuestro esfuerzo a labores creativas y a enriquecer nuestra vida en comunidad; o si, por el contrario, el futuro nos depara mayor concentración de poder y desigualdades más profundas, en una economía con superestrellas.[18] No podemos ser espectadores ni darnos el lujo del beneficio de la duda. Tenemos que crear las condiciones para asegurarnos de que el proceso de innovación se

acerque más al primer escenario que al segundo y dejar atrás el riesgo del chauvinismo tecnológico. Se trata de utilizar los dividendos digitales para promover la equidad, en el continente más inequitativo del planeta.

5 · LA R/EVOLUCIÓN DE LA ÉTICA

Del *big data* a los grandes valores

Aunque suene paradójico: si desea poner al ser humano en el centro de las preocupaciones, América Latina no puede dejar de diseñar una política de los robots. Requiere atender a los llamados de inventores, inversores y visionarios, que están proponiendo pasar de la implícita discusión filosófica a la explícita decisión legal y regulatoria que advierta las consecuencias éticas de la irrupción de la IA en nuestra vida cotidiana y productiva. Así ya lo está haciendo el resto del mundo.

La IA puede imitar la creatividad humana componiendo música, poesía, pintura. Puede identificar emociones a partir del reconocimiento de voz, tomar decisiones cuando se le pide analizar antecedentes para un fallo jurídico y superar la mayor precisión quirúrgica cuando se la utiliza en un quirófano. Sus logros, que hasta hace poco solo podían verse en películas de ciencia ficción, son una realidad.

No obstante, en la misma medida en que los avances en IA nos impresionan, surgen nuevos interrogantes. Cathy O'Neil, autora del *best seller Weapons of Math Destruction*, advierte que, aunque los algoritmos parezcan científicos y objetivos, están impregnados de subjetividad y no son más que "opiniones embebidas en códigos". No son mejores que nosotros. Están hechos a nuestra imagen y semejanza.

La lógica de los algoritmos es inductiva. Analizan información pasada y sobre ella hacen predicciones, corriendo el riesgo de mantener el *statu quo*. ¿Son las enormes inequidades, los prejuicios y las desigualdades de género en América Latina un estado que quisiéramos perpetuar? Claramente, no. Debemos cambiarlo. Los algoritmos nos ponen a prueba y nos desafían a mejorar nuestros propios valores, evitando ser sesgados cuando interrogamos las fórmulas.

También los insumos básicos, los datos, necesitan ser chequeados para confirmar su integridad. La academia y la sociedad civil están un paso adelante de los hacedores de políticas públicas en este debate. Existen cinco manifiestos con más de 12.000 firmas de científicos y expertos mundiales que advierten los riesgos (privacidad, seguridad nacional, transparencia) y sientan bases éticas para que la IA no acentúe las desigualdades.

El Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE, por sus siglas en inglés) publicó un manifiesto con principios éticos para evitar que los sistemas autónomos violen derechos humanos básicos ni produzcan tampoco daños al ambiente. La llamada "Carta de Copenhague", suscripta por prestigiosos científicos, invita a compartir una visión de progreso que trascienda al concepto de innovación recordando que el ser humano debe estar en el corazón de cualquier acción tecnológica: "la tecnología no puede estar por encima nuestro", subraya el texto. En el mismo sentido se expresaron los manifiestos éticos difundidos por el *Future of Humanity Institute*, de la Universidad de Oxford, y por *Future of Society*, que cuenta con el apoyo de Harvard, que señalan los riesgos de aplicaciones militares de IA y abogan por una gobernanza global que brinde un marco ético. La Carta Abierta de *Future of Life* fue firmada, entre otros, por Stephen Hawking, y propone promover estudios interdisciplinarios en IA porque su penetración social tendrá enormes impactos legales, económicos, sociales, filosóficos. La mirada precisa ser holística.[19]

El sector privado tampoco tomó una actitud pasiva. Los gigantes tecnológicos IBM, Amazon, Facebook, Google, DeepMind y Microsoft crearon *Partnership on AI to Benefit People and Society*. Sus objetivos son empoderar a la mayor cantidad de gente en el uso de herramientas de IA y participar en el debate sobre sus consecuencias legales, éticas, sociales y económicas. Surgen entonces profundos dilemas relacionados a los derechos humanos, a la privacidad, a la representación.

Las tres leyes de la robótica elaboradas por Isaac Asimov fueron pensadas para que un ser humano no sufra daños físicos a manos de un robot. Depende de nosotros crear las nuevas reglas de la cobotización, cánones más amplios para que los humanos no sean dañados en su dignidad con la pérdida de empleos a manos de la combinación de acero y algoritmos.

Si sentamos bases sólidas, el potencial de la IA ilusiona. Por ejemplo, Broussard (2018) explica cómo podría ser utilizada para resolver problemas endémicos en nuestras sociedades, como la falta de transparencia en el financiamiento de las campañas políticas.[20] También la IA puede ser útil en la formulación de políticas públicas basadas en evidencia empírica (*evidence-based policy making*), en la etapa de identificación de la intervención más apropiada, en la implementación de un programa y en la medición de los impactos deseados.[21]

América Latina debe apoyarse en el factor humano, en el talento. La pasión, la entrega, el sacrificio, el trabajo en equipo, la creatividad. Las virtudes donde somos superiores a las máquinas. No podemos medir nuestros éxitos y fracasos solo en términos de productividad ni maravillarnos por *gadgets* ingeniosos si los dividendos digitales no se encauzan para hacernos mejores como individuos, si la tecnología no se traduce en políticas públicas aptas para mejorar la vida de las grandes mayorías.

El desafío es posible, por supuesto, a partir de un humanismo tecnológico que ponga a las personas como núcleo de los esfuerzos. En *Algoritmolandia*, necesitamos construir no solo capacidades de predicción, sino de previsibilidad; necesitamos crear un *digital new deal* para la inclusión. Porque una integración inteligente es mucho más que una mera combinación de algoritmos.

NOTAS

[1] El estudio del Pew Research Center detectó que el 76% de los estadounidenses considera que la desigualdad económica se incrementará con la automatización. Sobre el tema, ver Smith y Anderson (4 de octubre, 2017) y Basco (2017).

[2] En un libro provocador, Rubin (2018) examina estos cambios en la conexión entre las personas, la adulteración de los conceptos de intimidad y privacidad, y traza escenarios sobre cómo podría modificarse la relación con el mundo a partir del desarrollo de la realidad virtual.

[3] En Mesquita Moreira (2018) se analiza la incertidumbre imperante en el comercio exterior y se recomiendan acciones concretas para que la integración regional sea un vehículo del bienestar ciudadano.

[4] Ver el trabajo de Rao en este número.

[5] Ver el trabajo de Ovanessoff y Plastino en este número para un enfoque regional de la relación entre IA y productividad, y Brynjolfsson, Rock y Syverson (2017) para una mirada global.

[6] El desafío es capturar el valor generado a partir del uso de su producto y pasar del producto tradicional al producto-plataforma, fabricar productos inteligentes que incorporen servicios, priorizando el acceso al producto por encima de la propiedad. Mediante plataformas de innovación abiertas, se establecen mecanismos de cooperación entre empresas que permitan acelerar los resultados de las actividades de I+D+i (ver INTAL, 2018a).

[7]Salesforce (2017) muestra los cambios que produce la IA en el mundo de los negocios, su creciente receptividad en las empresas y consumidores.
[8]Gesing, Peterson y Michelsen (2018) describen los últimos aportes de la IA en logística.
[9]Cada día de retraso adicional reduce el comercio en 1% y en el caso de los productos perecederos la reducción llega a 7%.
[10]García Zaballos e Iglesias Rodríguez (2017) destacan el rol de las nuevas tecnologías en las pymes exportadoras de la región.
[11]Un sistema de este tipo fue implementado por Agder, el tercer operador de energético de Noruega.
[12]INTAL (2018b) examina la situación de los SBC en la región.
[13]Acemoglu y Restrepo (2017) analizan el potencial de las nuevas tecnologías para resolver los problemas que ocasiona el envejecimiento poblacional.
[14]Portugal, Alemania, Reino Unido, España, Holanda (Smart Industry) y Francia (Alliance Industrie du Futur), entre muchos otros. En Estados Unidos, la Casa Blanca creó en 2018 dos comités especiales en IA, uno sobre *machine learning* y otro sobre I&D en IA.
[15]Domingos (2018) elabora un mapa de la incidencia del aprendizaje automático (*machine learning*) en los distintos sectores productivos.
[16]Cognizant (2017) describe 21 nuevas profesiones que serán clave a partir de 2028.
[17]Graeber (2018) describe las nuevas tendencias del mundo del trabajo y los problemas que están ocasionando en la vida en comunidad.
[18]Los dilemas en materia de distribución del ingreso son analizados por Anton Korinek en este informe.
[19]Las diferentes aristas del impacto de la IA son analizadas por expertos multidisciplinarios en Brockman (2015). La génesis de los movimientos proética en este terreno se encuentra detallada por uno de sus protagonistas en Life 3.0 (Tegmark, 2017).
[20]La autora lanzó en 2016 el sitio web campaign-finance.org, que con ayuda de IA facilita el cruce de información sobre financiamiento de campañas políticas entre la información proveniente del sector privado y la de diferentes niveles estatales.
[21]Sobre IA y su incidencia en *evidence-based*, ver Bhatt et al. (2016). Los autores describen métodos donde la IA permite un mayor control de las variables de contexto, desde la percepción individual a la presencia de otros individuos, etcétera.

BIBLIOGRAFÍA

Acemoglu, D. y Restrepo, P. 2017. "Secular Stagnation? The Effect of Aging on Economic Growth in the Age of Automation". *American Economic Review*. 107 (5): 174-179.
Basco, A. I. 2017. "La tecno-integración de América Latina. Instituciones, comercio exponencial y equidad en la era de los algoritmos". Nota Técnica No. IDB-TN-1340. Banco Interamericano de Desarrollo.
Bhatt, M., Suchan, J., Schultz, C. *et al.* 2016. "Artificial Intelligence for Predictive and Evidence Based Architecture Design". En: *Proceedings of the Thirtieth AAAI Conference on Artificial Intelligence*. Association for the Advancement of Artificial Intelligence.
Brockman, J. 2015. *What to Think About Machines That Think: Today's Leading Thinkers on the Age of Machine Intelligence*. Nueva York: Harper.
Broussard, M. 2018. *Artificial Unintelligence: How Computers Misunderstand the World*. Cambridge: The MIT Press.
Brynjolfsson, E. Rock, D. y Syverson, C. 2017. "Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics". NBER Working Paper No. 24001. Cambridge: NBER.
Cognizant. 2017. *21 Jobs of the Future*. Center for the Future of Work.
Domingos, P. 2018. *The Master Algorithm: How the Quest for the Ultimate Learning Machine Will Remake Our World*. Nueva York: Basic Books.
FIR. 2018. *Annual Report*. Federación Internacional de Robótica.
García Zaballos, A. e Iglesias Rodríguez, E. 2017. *Economía digital en América Latina y el Caribe. Situación actual y recomendaciones*. Washington DC: Banco Interamericano de Desarrollo.
Gesing, B., Peterson, S. J. y Michelsen, D. 2018. *Artificial Intelligence in Logistics*. Troisdorf: DHL Trend Research.
Graeber, D. 2018. *Bullshit Jobs: A Theory*. Nueva York: Simon & Schuster.
INTAL. 2018a. "Industria 4.0". Nota técnica IADB. Documento mimeografiado.
INTAL. 2018b. "Los servicios basados en conocimiento: ¿el futuro del desarrollo?". Conexión INTAL No. 260, abril, INTAL, Banco Interamericano de Desarrollo.
Mesquita Moreira, M., coordinador. 2018. "Conectando los puntos. Una hoja de ruta para una mejor integración de América latina y el Caribe". Informe especial. Sector de Integración y Comercio, BID.
O'Neil, C. 2016. *Weapons of Math Destruction: How Big Data Increases Inequality and Threatens Democracy*. Nueva York: Crown Ed.
Purdy, M. y Daugherty, P. 2016. "Inteligencia artificial, el futuro del crecimiento". Working Paper, Accenture.
Rubin, P. 2018. *Future Presence: How Virtual Reality Is Changing Human Connection, Intimacy, and the Limits of Ordinary Life*. Nueva York: HarperCollins.
Salesforce. 2017. *The AI Revolution: Insights into the Next Era of Customer Relationships*. Special Report. Salesforce Research.
Smith, A. y Anderson, M. "Automation in Everyday Life". Pew Research Center. Washington DC, **4 de octubre, 2017**.
Stanford. 2017. *The IA Index 2017 Annual Report*. Stanford University. Disponible en https://aiindex.org/
Tegmark, M. 2017. *Life 3.0: Being Human in the Age of Artificial Intelligence*. Nueva York: Alfred A. Knopf.

ALGORITMOLANDIA EN 10 CLAVES

· 1 ·
La IA constituye un nuevo factor de producción en el que América Latina deberá invertir para elevar la tasa de crecimiento económico y potenciar una integración 4.0.

· 2 ·
Una tecno-diplomacia comercial, con *deep learning* y macrodatos de última generación, puede dinamizar las actuales negociaciones comerciales y la participación estratégica en cadenas globales de valor.

· 3 ·
La IA permite construir escenarios más sofisticados de integración regional predictiva, a través de un set innovador de herramientas analíticas anticipatorias.

· 4 ·
Una infoestructura cognitiva basada en IA –o infraestructura intangible 4.0– presenta la oportunidad de cerrar la brecha de conectividad física en América Latina.

· 5 ·
La IA irrumpe en la región en un escenario de riesgo de automatización del empleo del 39%, con desafíos y oportunidades que se necesitan recalibrar con un criterio humanista.

· 6 ·
La cobotización, como convergencia de IA y nuevos "trabajadores digitales", plantea una creciente y urgente demanda de recalificación profesional.

· 7 ·
La IA aplicada a los servicios globales representa un desafío de agregado de valor y diversificación para una región especializada en tareas potencialmente codificables.

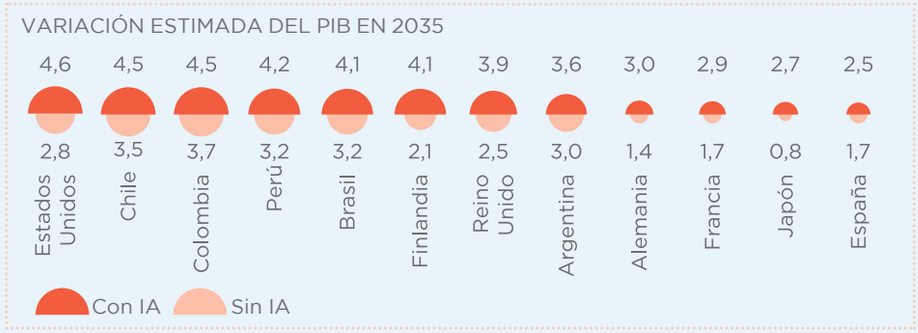
· 8 ·
Una inteligencia colectiva respaldada por algoritmos supone prevenir una "rebelión" de la IA anticipando los riesgos éticos del manejo, análisis y producción de datos.

· 9 ·
Un gobierno de redes neuronales que utilice IA para el bienestar puede promover la equitativa distribución de los dividendos digitales.

· 10 ·
Resulta clave construir una marca latinoamericana en IA, basada en prioridades estratégicas que capturen ventajas innovativas y permitan diversificar la matriz productiva regional.

1 La IA constituye un nuevo factor de producción en el que América Latina deberá invertir para elevar la tasa de crecimiento económico y potenciar una integración 4.0.

La inteligencia artificial (IA) es más que una nueva ola de tecnología. Es un híbrido único de capital y trabajo, que crea una fuerza productiva completamente novedosa, con capacidad de autoaprendizaje. La tasa de crecimiento del PIB de mediano plazo en la región podría pasar de 3% a 4% solo por la incidencia de este factor. Casi el 50% de ese aumento estaría en condiciones de generarse por un incremento de la productividad, al permitir que los trabajadores centren su labor en tareas donde aportan más valor agregado. Sin embargo, el impacto estimado de la IA en el PIB es hasta 3 o 4 veces menor en América Latina y el Caribe (ALC) que en economías desarrolladas. Esta nueva brecha haría incluso más difícil la convergencia en el desarrollo y da cuenta del riesgo que implica cierto rezago en apuntalar las condiciones necesarias para afianzar la IA y su uso para lograr aumentos de productividad. Este cambio exponencial tiene lugar en forma simultánea en diversos sectores que resultan clave para el perfil productivo y exportador de América Latina. El reconocimiento de imágenes se usa en agricultura de precisión para fumigación dirigida donde el rendimiento por hectárea puede subir 30% gracias a la IA; en servicios de salud, para brindar diagnósticos médicos con tasas de hasta 96% de acierto; en la industria automotriz, donde se estima que 37% de los viajes serán realizados por vehículos autónomos en 2030; en el comercio electrónico, con chatbots que detectan emociones y ofrecen atención al cliente 24/7 sin costos adicionales. Surgen nuevos servicios globales y las cadenas de valor se reconfiguran a partir de eslabones mixtos de bienes materiales y datos.



2 Una tecno-diplomacia comercial, con *deep learning* y macrodatos de última generación, puede dinamizar las actuales negociaciones comerciales y la participación estratégica en cadenas globales de valor.

La IA profundiza las tendencias que ya se ven en la actualidad en los patrones de comercio internacional, con cambios en las cadenas globales de valor, los flujos de comercio e inversión y la relocalización de las tareas codificables. Al mismo tiempo, como instrumento de gestión de las políticas comerciales, puede constituirse en un potente medio de aceleración. El análisis de enormes flujos de datos de intercambio comercial, de posiciones arancelarias, de normas técnicas y sanitarias, de evaluaciones de impacto, de reglas de origen y estimaciones de factibilidad influyen tanto en la duración de los debates multilaterales como los factores políticos. El uso de aplicaciones de IA puede impulsar negociaciones que requieren el consenso de varios países al volverlas más eficientes: incrementan la capacidad de procesar una gran cantidad de acuerdos comerciales existentes y sugieren senderos compatibles con las negociaciones en curso. El análisis automatizado de datos permite rastrear varios años de decisiones, comprender en qué se basan los argumentos de las demás partes y apreciar si tienen aún vigencia. Al resolver cuestiones objetivas con información documentada en un *trackeo* inteligente, las negociaciones ganan fluidez. Prototipos para negociaciones en curso, como la del MERCOSUR y Canadá, ya se llevan adelante desde Brasil en el proyecto Intelligent Tech & Trade Initiative (ITTI), con soporte de compañías tecnológicas privadas y la Organización Mundial del Comercio (OMC) como escenario de presentación.

3 La IA permite construir escenarios más sofisticados de integración regional predictiva, a través de un set innovador de herramientas analíticas anticipatorias

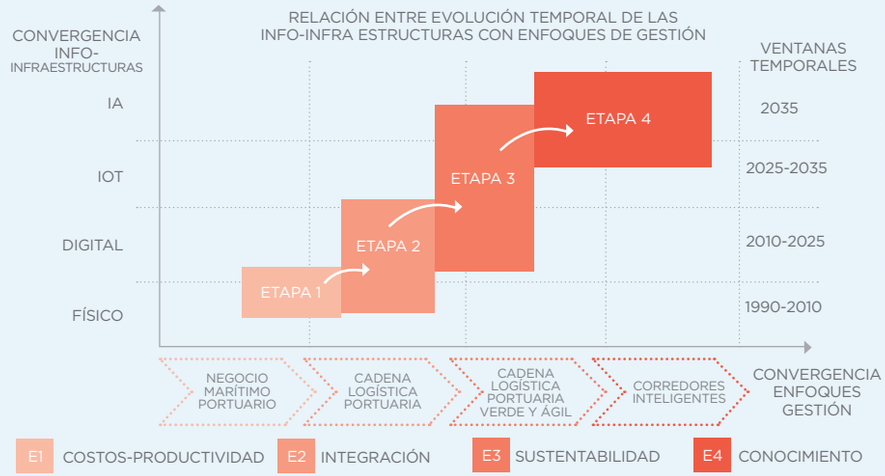
Un ejercicio de eficiencia comparada muestra que los modelos de IA otorgan mejoras de hasta 300% en la capacidad predictiva. Los pronósticos basados en redes neuronales artificiales (RNA) demuestran ser más útiles para establecer conexiones entre variables que pueden dar saltos bruscos. La predicción con esta metodología para el mercado de *commodities* agrícolas brinda resultados muy superiores a los modelos econométricos tradicionales. En finanzas y mercado de capitales, los algoritmos predicen con 95% de eficacia el perfil de riesgo del inversor. En comercio, la proximidad geográfica entre las distintas variables resulta determinante y el reconocimiento de imágenes y la identificación de patrones tiene un potencial predictivo asombroso. El diseño de políticas macroeconómicas estará cada vez menos influenciado por supuestos invisibles y expectativas indefinidas, y dependerá más del comportamiento real de las personas a través de las huellas que dejan en la actividad *online*. El poder predictivo se acrecienta en la intersección de otras disciplinas científicas, como la computación en nube o las neurociencias.

4 Una infoestructura cognitiva basada en IA –o infraestructura intangible 4.0– presenta la oportunidad de cerrar la brecha de conectividad física en América Latina.

La clásica infraestructura de puertos, autopistas, represas, caminos y logística resulta esencialmente transformada por la explosión digital. La IA tiene aplicaciones concretas en materia de transporte, donde se puede asignar en tiempo real el espacio portuario a contenedores y se optimiza el manejo de inventarios mediante sensores e internet de las cosas. La computación en nube posibilita el acceso al diluvio global de datos que en un 80% no se encuentra estructurado. En energía, puede ahorrarse hasta el 10% del consumo con la aplicación de grillas que adaptan demanda y oferta energética de forma automática. Mediante IA se pueden leer señales de tránsito y marcadores urbanos para optimizar la movilidad en una red de transporte interconectada, con autos eléctricos, autónomos y

compartidos. Mapas de código abierto y sensores predictivos de la conducta de los peatones y del comportamiento de multitudes permiten ajustar en tiempo real la ruta de un robot para avanzar hacia una "navegación con conciencia social". Una infoestructura cognitiva fortalece la infraestructura física para crear corredores logísticos inteligentes a partir de un flujo ágil de datos. Información en tiempo real, más universo digital, configuran elementos de la necesaria reinvención de la facilitación del comercio.

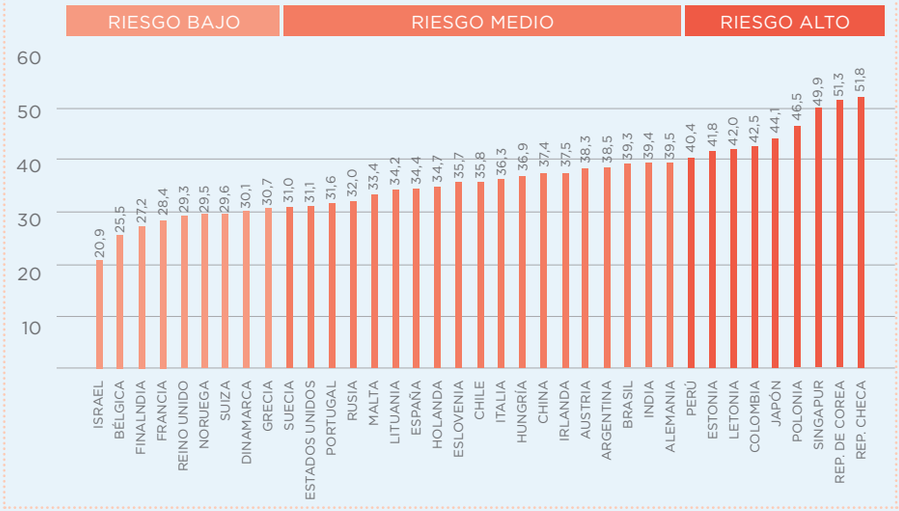
ETAPAS EVOLUTIVAS DE LA INDUSTRIA MARÍTIMO-PORTUARIA



5 La IA irrumpe en la región en un escenario de riesgo de automatización del empleo del 39%, con desafíos y oportunidades que se necesitan recalibrar con un criterio humanista.

Más del 70% de los latinoamericanos, europeos y estadounidenses considera que la IA y la robótica representan una amenaza para el empleo. Según sean las estimaciones, el riesgo de pérdida de trabajo en cada país como consecuencia de la automatización fluctúa entre el 65% y el 10%, y existen también predicciones que indican que solo algunas pocas tareas dentro de cada ocupación serán automatizables por completo. *Algoritmolandia* presenta una nueva forma de medir ese riesgo, que tiene en cuenta datos a nivel agregado y permite así un seguimiento del riesgo de automatización a lo largo del tiempo. El Indicador Sintético del Riesgo de Automatización pondera diferentes ingredientes vinculados al fenómeno: el nivel educativo, la estructura productiva, la proporción de robots por obrero industrial, la penetración de las TIC y el contenido de *software* de las exportaciones. Al incluir factores socioeconómicos en un monitoreo dinámico, el promedio de riesgo de automatización del empleo es de 39% para la región, en un rango de 1 a 100, donde 100% es un riesgo máximo. Los países de América Latina se ubican entre mínimos de 36% y máximos de 43%. Este valor es mayor a menor PIB per cápita y mayor desigualdad del ingreso. Se torna en consecuencia esencial diseñar políticas públicas para manejar con cuidado la transición tecnológica de trabajadores desplazados hacia nuevos empleos. La participación del sector privado resulta prioritaria: en la actualidad, el 54% de los altos ejecutivos de empresas está invirtiendo en IA y la automatización afectará, en diferente medida, a todos los sectores económicos.

RIESGO DE AUTOMATIZACIÓN PARA 37 PAÍSES SELECCIONADOS (EN %)

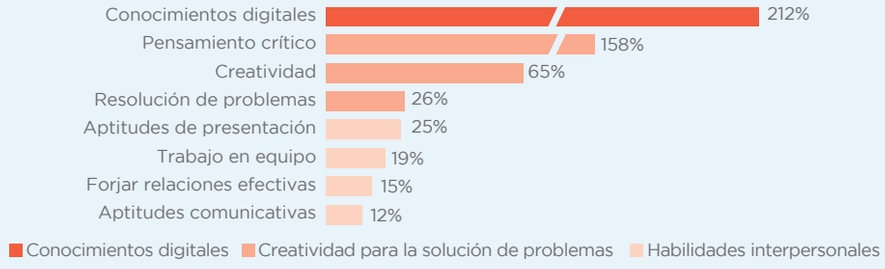


6 La cobotización, como convergencia de IA y nuevos "trabajadores digitales", plantea una creciente y urgente demanda de recalificación profesional.

La receta de la cobotización para evitar la pérdida de empleo es atizar la creación de una fuerza laboral con inteligencia aumentada, donde la IA eleve los límites de las capacidades tradicionales. Con el surgimiento de los "trabajadores digitales", casi tres cuartos del impacto de la automatización en el empleo se producirán dentro del mismo puesto de trabajo. Se espera que a 2030 los trabajadores dediquen dos horas menos por semana a tareas rutinarias automatizables, lo que les permitirá concentrarse en tareas más complejas e interactivas. Pasarán el doble de su tiempo resolviendo problemas y le dedicarán un 41% más al pensamiento crítico y al razonamiento. Utilizarán la comunicación verbal y las habilidades interpersonales un 17% más frecuentemente por semana y necesitarán desarrollar una mentalidad emprendedora más fuerte. Aunque menos fatalista, el escenario de convivencia e interrelación laboral entre trabajadores e IA no está exento de desafíos para la región. Muchas personas necesitarán reentrenarse, absorber nuevos conocimientos a mitad de su carrera profesio-

nal y atender a la creciente importancia de las competencias innovadoras y de aquellas relacionadas con los datos y lo digital. En forma paralela, surgirán también nuevas profesiones potenciadas por "la nueva conversación productiva con la IA", como ya está ocurriendo con los expertos en energías limpias y economía verde, en la que se crea empleo tres veces más rápido que en los rubros tradicionales; los arquitectos y obreros de eco-edificios inteligentes basados en nuevos materiales; los nuevos técnicos autopartistas de la industria de la movilidad que mixtura datos con acero; los diseñadores de arquitectura sintética vertical y bioeconomía; o los trabajadores sociales de la economía del cuidado. Para favorecer la evolución del mercado laboral se precisa incentivar inversiones públicas y privadas que fortalezcan las capacidades de investigación básica relacionadas con IA y automatización, como robótica, sistemas autónomos, aprendizaje profundo y computación cuántica.

HABILIDADES REQUERIDAS POR EMPLEADORES (VAR. % 2012-2015)



7 La IA aplicada a los servicios globales representa un desafío de agregado de valor y diversificación para una región especializada en tareas potencialmente codificables.

Solo los mercados de tercerización de procesos de conocimiento y de comercio electrónico ascienden a US$ 183.000 millones en todo el mundo, cerca del 20% de las exportaciones de América Latina y el Caribe. El desafío para economías que compiten en los mercados de servicios globales consiste en pasar de tareas codificables (como contaduría, asesoría legal y *call centers*) a tareas con alto contenido de inteligencia creativa, como la I+D y el desarrollo de *software* y nuevas tecnologías, sin dejar de aprovechar las oportunidades de la servitización asociada a estructuras productivas locales. En Chile, por ejemplo, una empresa desarrolló un algoritmo que analiza alimentos basados en proteína animal y genera recetas con alternativas veganas de mayor valor nutricional. Una *start-up* mexicana ofrece servicios de IA para optimizar los inventarios de grandes compañías. En Argentina, se desarrollan drones que pueden reaccionar ante imprevistos y modelos 3D de plantas de vid para monitorear el cultivo y realizar acciones correctivas en tiempo real. Los bots son utilizados por numerosas empresas regionales para operaciones comerciales a través de internet, *marketing* direccionado para venta en línea y soporte empresarial hacia clientes en el proceso de venta y posventa.

8 Una inteligencia colectiva respaldada por algoritmos supone prevenir una "rebelión" de la IA anticipando los riesgos éticos del manejo, análisis y producción de datos.

Las cajas negras de los algoritmos pueden dar lugar a decisiones sesgadas o facilitar el acceso a bienes y servicios de mayor calidad. Para evitar lo primero y estimular lo segundo, se necesitan espacios de diálogo multilaterales que garanticen la gobernanza de una IA inclusiva. Más de 12.000 científicos y emprendedores ya han advertido acerca de los riesgos de dejar decisiones libradas a procesos autónomos sin una adecuada supervisión. Se trata de un tema crucial de máxima prioridad para los principales centros de estudios del mundo, como lo refleja el MIT con la creación de la Liga de la Justicia Algorítmica, el Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica como centro más importante de los ingenieros del planeta, y los manifiestos éticos y núcleos de estudios expresados por la Carta de Copenhague, el *Future of Humanity Institute* de la Universidad de Oxford, el *Future of Society* de la Universidad de Harvard y la Carta Abierta Future of Life. Inspirados en parte por modalidades de gobernanza como el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas, estos pronunciamientos pretenden definir criterios de legislación vinculante y no vinculante (derecho duro y blando) en el uso de la IA. La articulación de consensos es el arma más eficaz para combatir los nuevos riesgos que acompañan a la IA, como el de ciberseguridad por parte de piratas informáticos, o el riesgo del uso inapropiado de algoritmos, como ocurre con la tecnología de autos sin conductor cuando se emplea para armamento autónomo, a los que se suman riesgos de control, riesgos sociales, económicos y éticos que urge minimizar. El diluvio de datos de nuestra huella digital debe ordenarse sobre la base de criterios de calidad, confiabilidad, acceso y transparencia.

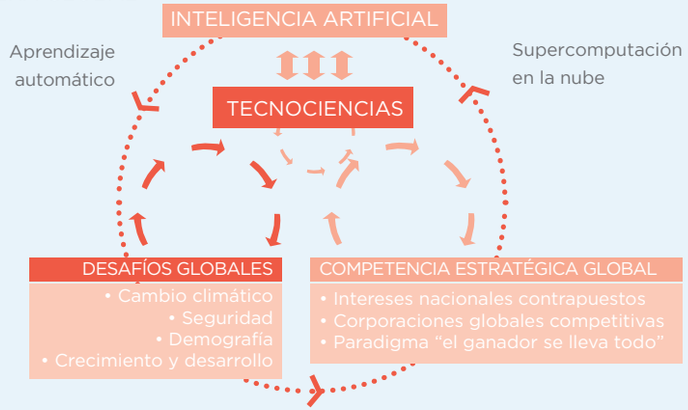
RIESGOS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

1. RIESGOS DEL RENDIMIENTO	2. RIESGOS DE SEGURIDAD	3. RIESGOS DEL CONTROL	4. RIESGOS ÉTICOS	5. RIESGOS ECONÓMICOS	6. RIESGOS SOCIALES
Riesgo de errores	Riesgos de intromisión cibernética	Riesgo de "rebelión" de la IA	Riesgo de "falta de valores"	Riesgo de desplazamiento de puestos de trabajo	Riesgo de proliferación del armamento autónomo
Riesgo de sesgo	Riesgos de privacidad	Incapacidad de controlar IA maliciosa	Riesgo de armonización de los valores	Riesgo de concentración del poder si "el ganador toma todo"	Riesgo de "brecha de la inteligencia"
Riesgo de falta de transparencia o "caja negra"	Riesgos del *software* libre		Riesgo de armonización de las metas	Riesgo de responsabilidad	
Riesgo de explicabilidad				Riesgo de reputación	
Riesgo de estabilidad del rendimiento					

9 Un gobierno de redes neuronales que utilice IA para el bienestar puede promover la equitativa distribución de los dividendos digitales.

La IA habilita escenarios de "ganador se lleva todo", en los que un pequeño número de superestrellas obtienen grandes beneficios, se exacerban las desigualdades al interior de las economías y aumenta la brecha entre los países: si unas pocas naciones son capaces de desarrollar superestrellas, las demás sufrirán una reducción constante en sus términos de intercambio. Los algoritmos pueden provocar decisiones sesgadas y replicar comportamientos humanos errados. Una IA para el bienestar social requiere de la asociación público-privada y la transferencia de conocimiento recíproco entre la academia, el sector estatal y el mundo empresarial. Para ello, la región deberá trabajar en un espíritu de experimentación y prototipeo de políticas estatales, que permita forjar un sector público inteligente y generador de mayor impacto social. Herramientas de IA en la región contribuyen a reducir un 40% del costo de reforzamiento escolar y aumentan en un 25% el acceso a literatura especializada, actúan de apoyo para el profesor y adaptan los contenidos a cada estudiante. Gracias a la innovación con aprendizaje profundo, los profesionales de la salud pueden pasar menos tiempo en la recopilación de datos y tareas rutinarias para dedicarse más a las consultas del paciente. En los servicios judiciales, la IA aplicada predice, escribe y resuelve un expediente simple en 20 segundos con una tasa de acierto del 96%. La IA fusionada con interfaces de control cerebral promete cambios exponenciales en la manera de comunicarnos con los objetos. Premios Nobel destacan el rol de la IA para procesar información en tiempo real y dotar de mayor previsibilidad a las acciones gubernamentales, incluso para optimizar la formulación de políticas basadas en evidencia empírica (*evidence-based policy making*) con evaluaciones de impacto más precisas. Con este objetivo el paso inicial es generar estándares para los datos, como ocurre con las historias clínicas electrónicas o con educación personalizada, que aumenta 15% la tasa de éxito en exámenes.

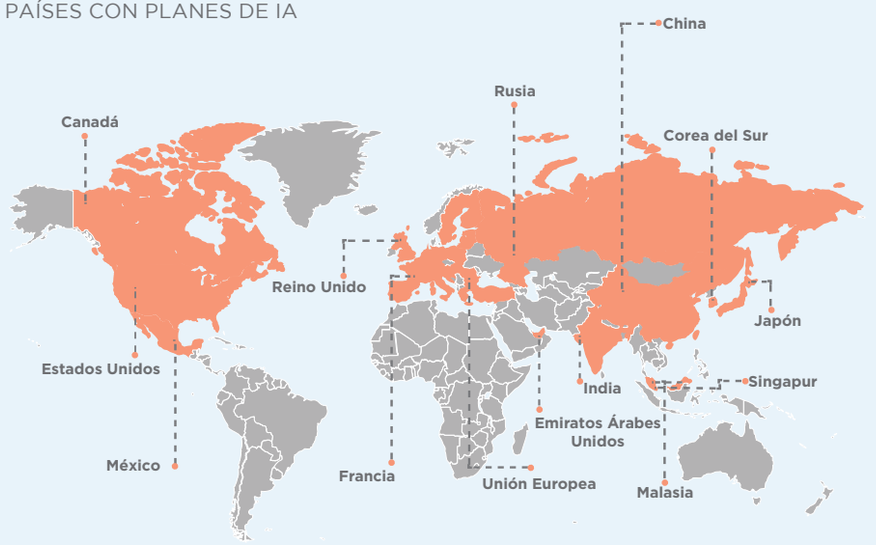
LA CARRERA GLOBAL



10 Resulta clave construir una marca latinoamericana en IA, basada en prioridades estratégicas que capturen ventajas innovativas y permitan diversificar la matriz productiva regional.

Más de 13 países desarrollados y en desarrollo avanzaron en planes para que la inteligencia artificial fortalezca aquellos rubros que consideran clave para sus economías y para el bienestar social de sus poblaciones. Por ejemplo, India lo hizo para las tecnologías de la información y comunicaciones (TIC) 5G, China para energía, Japón en salud. España convocó un Consejo de Expertos de la academia, del sector público y el sector privado privado para elaborar un Libro Blanco sobre IA y políticas públicas que pone el foco en turismo, sector clave de su balanza comercial. En Estados Unidos, la Casa Blanca creó dos comités especiales en IA, uno sobre aprendizaje automático y otro sobre investigación y desarrollo (I+D) en IA. Estas estrategias establecen planes ambiciosos para invertir en I+D, incentivar la formación de expertos, generar valor y elevar la capacidad exportadora, desarrollar marcos regulatorios apropiados e incluso para minimizar los efectos negativos sociales y económicos. La construcción de estrategias nacionales y de una marca latinoamericana de IA implica asumir las debilidades estructurales y definir una propuesta de valorización de la IA que potencie las ventajas comparativas de la región. También es una oportunidad para alinear objetivos y valores relevantes para la difusión de la IA en el contexto latinoamericano en una integración inteligente. Estos desafíos exigen consensos que trascienden las fronteras, en base a modelos inclusivos de gobernanza regional y global que orienten el desarrollo de la IA hacia un beneficio social amplio.

PAÍSES CON PLANES DE IA



Integración predictiva

CÓMO LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL PUEDE SER UNA HERRAMIENTA CLAVE EN LAS NEGOCIACIONES COMERCIALES Y ACELERAR LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL DE LAS ECONOMÍAS LATINOAMERICANAS. EL ROL DE LOS SERVICIOS BASADOS EN CONOCIMIENTO Y LA PREDICCIÓN DE MODELOS EN LA NUEVA MACROECONOMÍA DE DATOS.

Una explosión de productividad

Armen Ovanessoff y Eduardo Plastino
Accenture Research

LAS GANANCIAS DE PRODUCTIVIDAD EN AMÉRICA LATINA FUERON ESCASAS INCLUSO DURANTE LOS PERÍODOS DE MAYOR EXPANSIÓN ECONÓMICA DE LA REGIÓN. ESTE ARTÍCULO EXAMINA CÓMO LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL PUEDE CONSTITUIR UNA VUELTA DE PÁGINA EN LA MATERIA Y REALIZAR UN APORTE SIGNIFICATIVO AL CRECIMIENTO DE LAS PRINCIPALES ECONOMÍAS DEL CONTINENTE.

Un desafío estructural de la economía global es el hecho de que el escenario normal en las últimas décadas ha sido una desaceleración de la tasa de crecimiento (gráfico 1). Y las economías líderes de América del Sur no han sido la excepción. Incluso, en las décadas recientes, la región ha visto cómo los mercados emergentes de Asia-Pacífico –más dinámicos, aunque previamente menos desarrollados– la alcanzaron rápidamente.[1]

Asimismo, el mayor crecimiento de Sudamérica que se produjo hasta los primeros años de la década actual dio lugar a un período caracterizado por el desempeño regional más débil desde la llamada "década perdida" de los años 1980 (gráfico 2). Algunas medidas clave de la eficiencia económica también muestran una marcada tendencia a la baja en la región, mientras el crecimiento de la fuerza de trabajo se desacelera rápidamente y esta no logra aumentar lo suficiente su productividad.

El magro desempeño reciente de Sudamérica pone de relieve los persistentes problemas de productividad de la región. De hecho, las ganancias de productividad han sido mediocres, incluso durante los períodos de mayor expansión económica de la región. Por ejemplo, durante la década de 2000, la productividad total de los factores (PTF) de las cinco economías líderes de América del Sur incluidas en nuestro estudio mejoró apenas un 0,1% promedio por año. A modo de comparación, cabe señalar que, a lo largo del mismo período, la PTF de Corea del Sur creció un 0,7% y la de China, un 3,5% (gráfico 3).

Durante aquellos buenos tiempos, las empresas sudamericanas se daban el lujo de soslayar sus deficiencias de productividad porque los altísimos niveles de ingreso que obtenían –especialmente, provenientes de las exportaciones de productos básicos y del consumo interno– les aseguraban la prosperidad, incluso si sus márgenes eran estrechos. Esto no era sostenible. Hoy en día, esos impulsores de los ingresos desaparecieron y los problemas de productividad de la región quedaron al descubierto. Un resurgimiento sostenible del crecimiento tiene que venir de la mano de aumentos de productividad.

Entonces, ¿de dónde provendrán el nuevo crecimiento y el aumento de productividad? Los economistas clasifican al capital y al trabajo como los factores de producción tradicionales que motorizan la expansión. El crecimiento se produce cuando se incrementan el *stock* de capital o el de trabajo, o cuando se los utiliza más productivamente.

En América del Sur, la eficiencia en el uso del capital ha venido cayendo durante una década. Asimismo, el crecimiento de la población en edad de trabajar se está desacelerando muy rápido, pero el trabajo no se está volviendo más productivo con la misma rapidez (gráficos 4 y 5).

¿Significa esto que América del Sur está llegando al fin del crecimiento tal como lo conocemos?

Si bien la mayoría de los datos referidos a la región –y, de hecho, a la mayor parte del mundo– son indudablemente desalentadores, no están reflejando una parte importante de la historia. El elemento que pasan por alto es el modo en el que las tecnologías, especialmente la inteligencia artificial (IA), afectan el crecimiento de la economía.

Los economistas siempre han pensado en las nuevas tecnologías como impulsores del crecimiento a través de su capacidad de aumentar la PTF. Esto tenía sentido para las tecnologías que habíamos visto hasta ahora: los grandes adelantos tecnológicos de los últimos dos siglos potenciaron de manera extraordinaria la productividad.

Hoy en día, asistimos al surgimiento de otro conjunto de tecnologías transformadoras, comúnmente llamado "inteligencia artificial" (ver recuadro: "Sentir, comprender, actuar"). Muchos consideran que la IA se asemeja a las innovaciones tecnológicas del pasado. Si creemos esto, entonces podemos esperar algo de crecimiento, pero no una transformación.

No obstante, la IA tiene potencial para convertirse no solo en otro impulsor de la PTF, sino en un nuevo factor de producción en sí mismo (gráfico 6). La clave está en darse cuenta de que la IA es mucho más que simplemente una nueva ola de tecnología. Es un híbrido único de capital y trabajo.

A diferencia de las tecnologías anteriores, la IA crea una fuerza de trabajo completamente novedosa. Puede replicar las actividades laborales a mucho mayor escala y velocidad e, incluso, realizar algunas tareas que exceden la capacidad de los seres humanos. Además, en algunas áreas, tiene la capacidad de aprender más rápido que los humanos, aunque todavía no lo haga con la misma profundidad. Por ejemplo, utilizando asistentes virtuales, se pueden revisar 1.000 documentos legales en cuestión de días, en lugar de contratar a tres personas para que completen la misma tarea en seis meses (Sobowale, abril, 2016).

De manera similar, la IA puede tomar la forma de capital físico, como en el caso de los robots y las máquinas inteligentes. Y, a diferencia del capital convencional –como la maquinaria y los edificios–, puede, de hecho, mejorar a lo largo del tiempo, gracias a sus capacidades de autoaprendizaje.

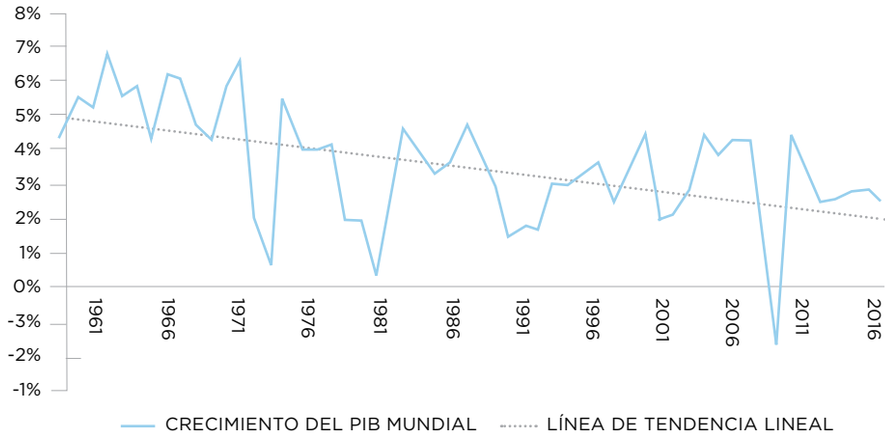
Sobre la base de nuestro análisis y de nuestra modelización, podemos ilustrar lo que ocurre cuando la IA es vista como un nuevo factor de producción, y no simplemente como un potenciador de la productividad. El impacto sobre el crecimiento proyectado para Brasil, por ejemplo, es significativo. Como muestra el gráfico 7, el primer escenario es aquel en el que todo sigue igual, suponiendo que la IA no tiene ningún efecto. El segundo muestra la visión tradicional de la IA como potenciador de la PTF, donde el impacto sobre el crecimiento es limitado. El tercer escenario muestra qué ocurre cuando la IA puede actuar como un nuevo factor de producción: el efecto sobre la expansión económica es más pronunciado. Es en esta capacidad de la IA para complementar y mejorar los factores de producción tradicionales donde yace su verdadero potencial.

TRES FACTORES CLAVE PERMITEN EL CRECIMIENTO DE LA IA

1. El incremento vertiginoso del poder de cómputo. Hace ya seis años, Udi Manber y Peter Norvig (28 de agosto, 2012) de Google informaron que procesar una única búsqueda en ese motor requería aproximadamente la misma cantidad de poder de cómputo que "todos los cómputos realizados –en vuelo y en tierra– por todo el programa Apolo", que incluyó 17 misiones y llevó a Neil Armstrong y a otros siete astronautas a la Luna.

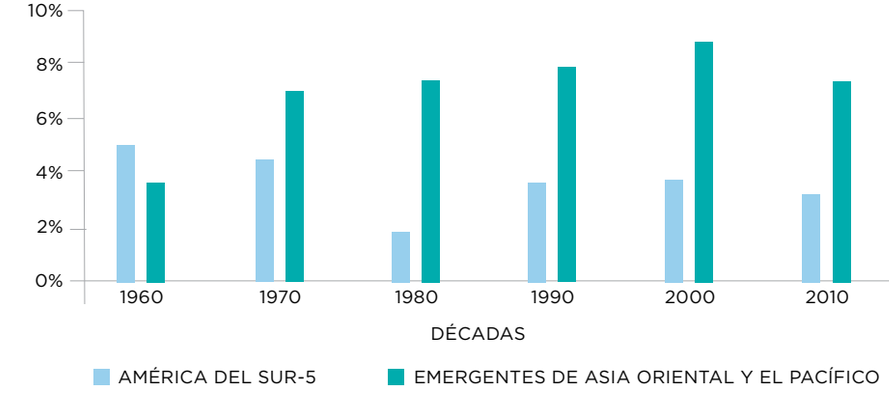
2. Una caída estrepitosa del costo de almacenar datos, cuyo costo marginal

GRÁFICO 1
PANEL A. CRECIMIENTO DEL PIB MUNDIAL
DESACELERACIÓN A LARGO PLAZO



Fuente: Banco Mundial.

PANEL B. CRECIMIENTO DEL PIB REGIONAL
LOS MERCADOS EMERGENTES MÁS DINÁMICOS DE ASIA SUPERARON HACE TIEMPO A LAS ECONOMÍAS SUDAMERICANAS



Nota: Sudamérica-5 es el promedio no ponderado de Argentina, Brasil, Chile, Colombia y Perú. Décadas: 1960 = 1961-69; 1970 = 1970-79; 1980 = 1980-89; 1990 = 1990-99; 2000= 2000-09; 2010 = 2010-16.
Fuente: Banco Mundial y Accenture (a partir de datos del Banco Mundial).

SENTIR, COMPRENDER, ACTUAR

La IA no es un campo nuevo; gran parte de su sustento teórico y tecnológico fue desarrollado a lo largo de los últimos 70 años por expertos en informática como Alan Turing, Marvin Minsky y John McCarthy. Actualmente, el término se refiere a múltiples tecnologías que pueden combinarse de distintas maneras para lograr lo siguiente:

- **Sentir:** el procesamiento de audio y la visión por computadoras, por ejemplo, les permiten a las máquinas percibir activamente el mundo que las rodea adquiriendo y procesando imágenes, sonido y voz. El uso del reconocimiento facial en los puestos de control fronterizo constituye un ejemplo práctico de cómo se puede mejorar la productividad.
- **Comprender:** los motores de procesamiento e inferencia del lenguaje natural les pueden permitir a los sistemas de IA analizar y entender la información recopilada. Esta tecnología se utiliza para implementar la función de traducción de idiomas de los resultados de los motores de búsqueda.
- **Actuar:** un sistema de IA puede actuar a través de tecnologías, como los sistemas expertos y los motores de inferencia, o desarrollar acciones en el mundo físico. Ejemplos de esto son las funciones de piloto automático y freno asistido en los automóviles.

Las tres aptitudes se apoyan en la capacidad de aprender de la experiencia y de adaptarse a lo largo del tiempo (gráfico 8). La IA ya se aplica, hasta cierto punto, en muchas industrias, pero se espera que el grado en el que se está convirtiendo en parte de nuestra vida cotidiana avance muy rápido.

llegó casi a cero. El costo de almacenar un *gigabyte* de datos en una unidad de disco cayó de US$ 185.000 en 1970 a US$ 277 en 1995 y a apenas US$ 0,02 el año pasado.[2]

3. Una explosión de los datos digitalizados. Como nos dijo el profesor de Informática de la Universidad de Dublín, Barry Smyth: "Los datos son a la IA lo que el alimento es a los seres humanos". Por eso, en un mundo más digital, el crecimiento exponencial de los datos está constantemente alimentando los avances en IA.

TRES CANALES DE CRECIMIENTO

Visto como el nuevo factor de producción, hay, al menos, tres maneras fundamentales por medio de las cuales la IA puede impulsar el crecimiento. En primer lugar, puede crear una nueva fuerza de trabajo virtual –a esto lo llamamos "automatización inteligente"–. En segundo lugar, la IA puede complementar y mejorar las aptitudes y habilidades de la fuerza de trabajo y del capital físico existentes. En tercer lugar, como sucedió con otras tecnologías anteriores, la IA puede dar lugar a innovaciones en la economía y apoyar de esa manera la PTF.

Automatización inteligente

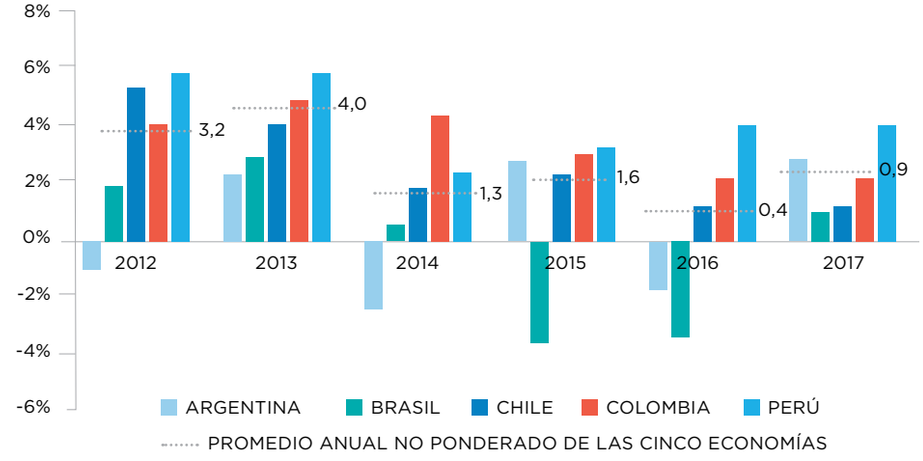
La nueva ola de automatización inteligente impulsada por la IA ya está generando crecimiento a través de una serie de características distintas de aquellas de las soluciones automatizadas tradicionales.

La primera característica es su capacidad de automatizar tareas complejas del mundo físico que requieren adaptabilidad, agilidad y aprendizaje. Pensemos en las dificultades y los riesgos a los que se exponen quienes detectan gases peligrosos en las minas. Los investigadores de la Universidad Nacional de Ingeniería del Perú (UNI) desarrollaron un robot autónomo de cuatro ruedas que explora las minas para detectar metano, dióxido de carbono y amoníaco. El robot utiliza sensores para detectar su ubicación y luego genera las mejores rutas y acciones a aplicar en la mina, a medida que recopila la información sobre los niveles y las tendencias de dichos gases (Andina, 13 de julio, 2016).

A diferencia de la tecnología de automatización tradicional, que es específica para cada tarea, el segundo rasgo distintivo de la automatización inteligente impulsada por la IA es su capacidad de resolver problemas en diferentes industrias y puestos de trabajo. Basta con observar la adopción generalizada de los *bots* conversacionales (o *chatbots*) en los servicios de atención al consumidor, esos asistentes virtuales que ayudan a la gente en su lengua materna. En la actualidad, estos robots son utilizados con entusiasmo por numerosas empresas, desde el Banco Galicia en Argentina hasta la aerolínea colombiana Avianca y la plataforma de comercio electrónico brasileña ShopFácil.

La tercera característica y la más poderosa de la automatización inteligente es el autoaprendizaje logrado gracias a la repetitividad a escala. La *startup* chilena The Not Company (o NotCo) desarrolló un algoritmo, llamado Giuseppe, que analiza los productos alimenticios basados en proteína animal y genera recetas para preparar alternativas veganas que tengan no solo el mismo sabor y la misma textura, sino también un mayor valor nutricional. Para hacerlo, Giuseppe analiza la estructura molecular de los alimentos y encuentra estructuras similares basadas en combinaciones de ingredientes veganos. Por ejemplo, hace mayonesa de fécula de papa, proteína de arvejas

GRÁFICO 2
DESEMPEÑO RECIENTE DE SUDAMÉRICA
¿HACIA UNA NUEVA DÉCADA PERDIDA? (VAR. % DEL PIB)



Fuente: FMI y Accenture (a partir de datos del FMI).

y hojas de romero. Cuanto más crece su base de datos, más algoritmos aprende el "chef" –y más combinaciones puede producir– (Baer, 26 de abril, 2016). Este aspecto de la IA relacionado con el autoaprendizaje es un paso adelante fundamental. Mientras que el capital de la automatización tradicional se degrada con el tiempo, los activos de la automatización inteligente pueden mejorar constantemente.

Incremento del trabajo y del capital

Una parte significativa del crecimiento económico generado por la IA no provendrá de reemplazar el trabajo y el capital existentes, sino de permitir que su uso sea mucho más eficiente.

Por ejemplo, la IA puede permitir que los trabajadores centren su labor en aquellas funciones que suman más valor agregado. Pensemos, por caso, en un proceso tan engorroso y que lleva tanto tiempo como la incorporación de personal. La empresa chilena AIRA (asistente virtual de recursos humanos) desarrolló un sistema para publicar anuncios de oferta de trabajo en los sitios de empleo más utilizados de la web, leer y armar un *ranking* de todos los currículums, realizar pruebas psicométricas y llevar a cabo videoentrevistas con los postulantes. El desempeño de los postulantes se analiza con analítica de las emociones, que traduce en números sus niveles de atención y sus expresiones faciales. Al final de este breve proceso, los seleccionadores humanos pueden aprovechar el poco tiempo con el que cuentan para realizar entrevistas profundas con los candidatos mejor calificados (Pulsosocial, 20 de octubre, 2016).[3]

Asimismo, la IA incrementa la mano de obra al complementar las capacidades humanas, ofreciéndoles a los empleados nuevas herramientas para potenciar su inteligencia natural. Por ejemplo, en Brasil, una serie de empresas se están preparando para incorporar sistemas de inteligencia híbrida en sus servicios de soporte posventa. Esto implica que un robot recopila información sobre los consumidores a partir de sus interacciones previas con la empresa, como las compras de productos, las comunicaciones directas o referencias a través de las redes sociales. Luego, le brinda al asistente humano información sobre el estado de ánimo y los reclamos efectuados por el consumidor, y también puede sugerirle promociones que podrían ser relevantes para cada nuevo cliente de manera individual.

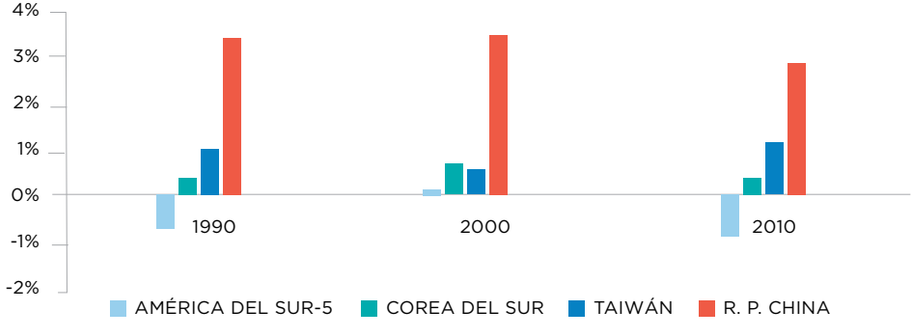
La IA también puede mejorar la eficiencia del capital, lo cual es muy importante para los vastos sectores industriales y manufactureros de América del Sur. Tomemos el caso de Ubivis, una *startup* brasileña fundada en 2014 con la ambición de ayudar a las empresas manufactureras a entrar en la era de la internet de las máquinas inteligentes. Ubivis instala sensores y controladores externos en las máquinas industriales existentes para recopilar enormes cantidades de datos sobre sus operaciones. Estos macrodatos se almacenan luego en la nube y se utilizan como insumo para procesos de aprendizaje automático que tornan increíblemente más productivos los activos del cliente a través de, por ejemplo, el mantenimiento predictivo, que resuelve los problemas antes de que se vuelvan costosos.

Difusión de la innovación

Uno de los beneficios menos analizados de la IA es su capacidad para impulsar innovaciones originales a medida que se difunde en toda la economía. Tomemos el caso de los vehículos sin conductor, probablemente el producto más publicitado del desarrollo de la IA hasta ahora. A medida que la innovación engendre más innovación, el impacto de los vehículos sin conductor sobre las economías eventualmente se extenderá mucho más allá de la industria automotriz.

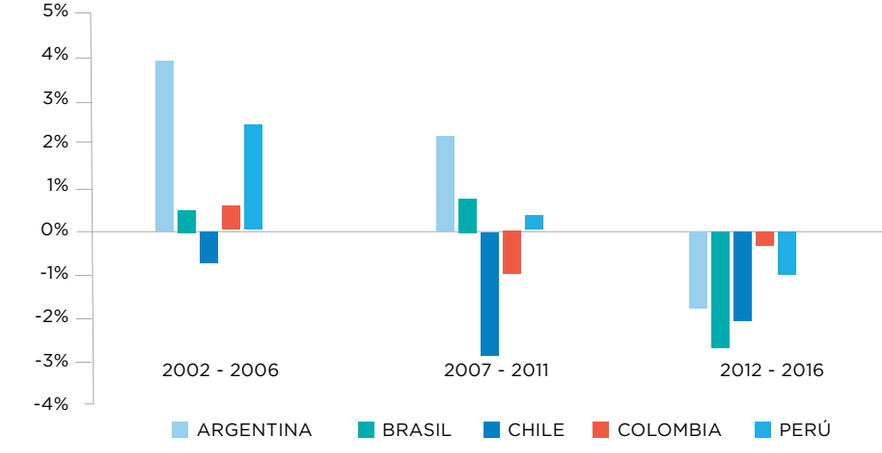
Por ejemplo, mientras viaja, el pasajero –que ya no conduce– bien puede estar

GRÁFICO 3
PANEL A. EL PROBLEMA DE LA PRODUCTIVIDAD
REZAGADOS DETRÁS DE LAS ECONOMÍAS DINÁMICAS DE ASIA



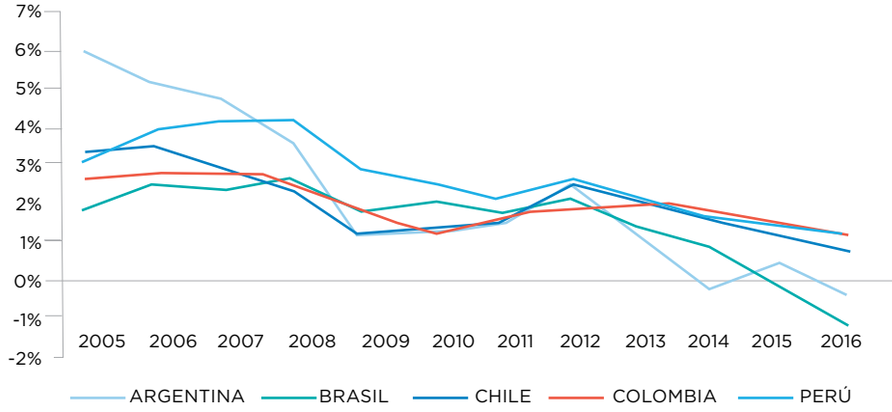
Crecimiento anual de la productividad total de los factores (PTF), promedio por década.
Nota: La PTF es la proporción del crecimiento económico no explicada por las contribuciones del capital y del trabajo. Sudamérica-5 es el promedio no ponderado de Argentina, Brasil, Chile, Colombia y Perú. Décadas: 1990 = 1990-99; 2000 = 2000-09; 2010 = 2010-16. Los datos de la R. P. China son las mediciones oficiales de ese país, publicadas por The Conference Board.
Fuente: Total Economy Database de The Conference Board y Accenture (a partir de datos de la base de datos económicos Total Economy Database de The Conference Board).

PANEL B. CAÍDA DE LA PRODUCTIVIDAD SUDAMERICANA
LAS ECONOMÍAS DE LA REGIÓN SE ESTÁN TORNANDO MENOS PRODUCTIVAS



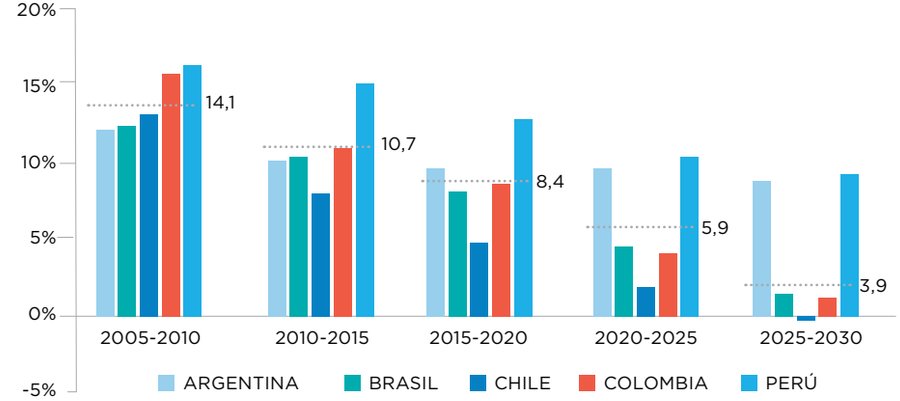
Variación anual promedio de la PTF durante el período.
Fuente: Accenture (a partir de datos económicos de la base de datos Total Economy Database de The Conference Board).

GRÁFICO 4
EFICIENCIA DEL CAPITAL
LA TASA DE EFICIENCIA MARGINAL DEL CAPITAL, UN INDICADOR DE LA PRODUCTIVIDAD DEL CAPITAL –COMO LAS MÁQUINAS Y LAS INSTALACIONES– CAYÓ SIGNIFICATIVAMENTE DURANTE LA ÚLTIMA DÉCADA



Tasa de eficiencia marginal del capital, media móvil de 3 años
Fuente: Accenture (a partir de datos del Banco Mundial).

GRÁFICO 5
PANEL A. EL RITMO DE CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN EN EDAD DE TRABAJAR CAE RÁPIDAMENTE
A MEDIDA QUE LAS POBLACIONES ENVEJECEN Y LAS TASAS DE NATALIDAD DISMINUYEN, HAY MENOS PERSONAS DISPONIBLES PARA RELEVARLOS EN EL MERCADO DE TRABAJO



Nota: Crecimiento promedio de la población en edad de trabajar cada 1.000 habitantes. La edad de trabajar se define como el rango 15-59.
Fuente: Datos y proyecciones de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) de la ONU.

utilizando servicios móviles, lo cual abre nuevas oportunidades para las agencias de publicidad, el comercio minorista, las empresas de medios y otros que podrían innovar en el desarrollo de nuevas ofertas. Las compañías de seguros podrían generar evaluaciones de riesgo más precisas y flujos de ingresos nuevos a partir de las grandes cantidades de datos que producen los vehículos autoconducidos y los controladores que tienen conectados. También se abren oportunidades de innovación en el sector público, ya que los datos precisos y en tiempo real sobre el tránsito y las rutas que generan los vehículos y otras fuentes dan lugar a nuevas formas de cobrar por el uso de las carreteras y de controlar la congestión y la contaminación.

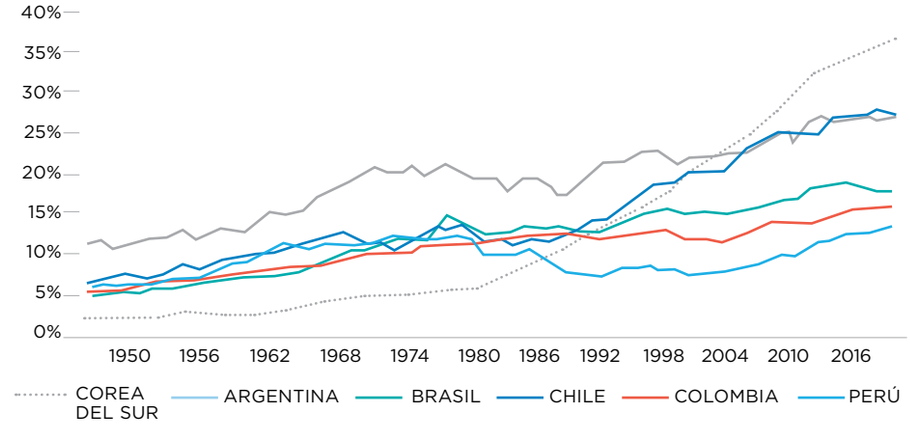
Podrían lograrse, incluso, beneficios sociales significativos. Se espera que los vehículos sin conductor reduzcan drásticamente la cantidad de accidentes de tránsito y las muertes relacionadas con estos, y que la tecnología potencialmente se convierta en una de las iniciativas de salud pública más transformadoras de la historia de la humanidad. También podrían devolverles la independencia a aquellos que no pueden manejar un vehículo debido a alguna discapacidad, permitiéndoles acceder a trabajos de los que anteriormente se hallaban excluidos. E incluso entre quienes pueden conducir, los autos sin conductor podrían hacer que el viaje resulte mucho más conveniente, al dejarles tiempo libre para dedicarlo a trabajar o al ocio.

En América del Sur ya encontramos vehículos sin conductor utilizados y diseñados para ambientes controlados, como las minas y los puertos, pero, a medida que avancen la tecnología y las regulaciones, las oportunidades se multiplicarán.

UN NUEVO FACTOR DE PRODUCCIÓN

Para comprender el valor de la IA como un nuevo factor de producción,

PANEL B. PERO EL CRECIMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DEL TRABAJO SIGUE SIENDO MAGRO
PRODUCTO DE LA MANO DE OBRA POR HORA TRABAJADA EN US$ 2017 (CONVERTIDOS AL NIVEL DE PRECIOS DE 2017 CON US$ PPA ACTUALIZADOS AL 2011)



Fuente: The Conference Board, Total Economy Database.

Accenture, en colaboración con Frontier Economics, modeló el impacto potencial de la IA en cinco economías que juntas generan un 85% del producto económico de América del Sur. Nuestro resultado reveló que hay oportunidades destacables para la creación de valor. Hallamos que la IA tiene el potencial de añadir hasta un 1% a las tasas de crecimiento económico anual de estos países –un remedio poderoso para las bajas tasas de crecimiento de los últimos años–.

Para estimar el potencial económico de la IA comparamos dos escenarios para cada país. El primero es la línea de base, que muestra la tasa de crecimiento económico anual esperada bajo los supuestos actuales acerca del futuro. El segundo es un escenario con IA, que muestra el crecimiento económico esperado una vez que el impacto de la IA haya sido absorbido por la economía. Como el impacto de toda nueva tecnología tarda cierto tiempo en dar frutos, tomamos 2035 como el año base para la comparación (ver Apéndice).

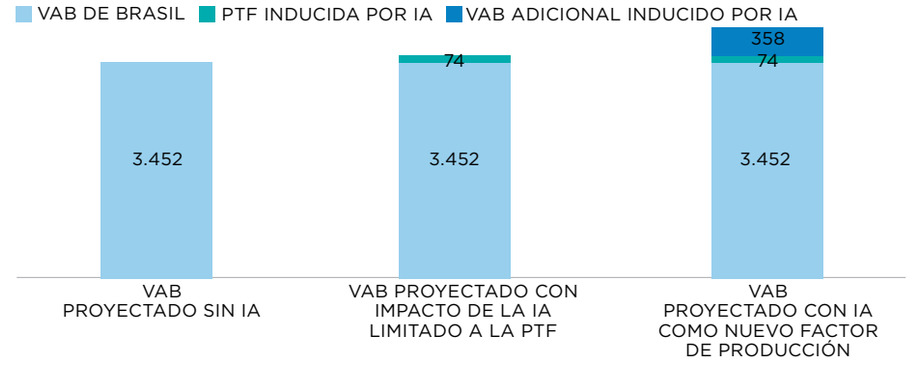
Según nuestra modelización de Argentina, Brasil, Chile, Colombia y Perú, la IA produce los beneficios económicos más altos en términos absolutos en Brasil, cuyo valor agregado bruto (VAB) culminaría con US$ 432.000 millones adicionales en 2035. Esto significaría un incremento del crecimiento de 0,9 puntos porcentuales para ese año. La IA también podría hacer que Chile y Perú incrementen su VAB –una *proxy* del PIB– en un punto porcentual en 2035. Por su parte, Colombia podría obtener una expansión adicional de 0,8 puntos porcentuales.

Las comparaciones entre países ocultan el impacto significativo que la IA podría tener sobre las economías aparentemente rezagadas. Por ejemplo, se espera que, para 2035, la IA aumente la tasa de crecimiento de Argentina del 3,0% al 3,6%. Esto implica que, de los cinco países, Argentina sería el que recibiría el impulso más moderado debido a la IA, pero incluso esta contribución relativamente modesta sigue siendo de una magnitud importante: se trata de cerca de US$ 59.000 millones adicionales de

GRÁFICO 6
EL MODELO DE CRECIMIENTO DE LA IA
NUESTRO MODELO ADAPTA EL MODELO DE CRECIMIENTO TRADICIONAL INCLUYENDO A LA IA COMO FACTOR DE PRODUCCIÓN

Nota: ▲ Indica el cambio en ese factor.
Fuente: Accenture.

GRÁFICO 7
TRES ESCENARIOS DE CRECIMIENTO PARA LA ECONOMÍA BRASILEÑA
LA IA COMO NUEVO FACTOR DE PRODUCCIÓN PUEDE DAR LUGAR A IMPORTANTES OPORTUNIDADES DE CRECIMIENTO PARA LA ECONOMÍA DE BRASIL



Nota: Valor agregado bruto (VAB) de Brasil para 2035 (en miles de millones de US$).
Fuente: Accenture y Frontier Economics.

VAB, que llevarían a un VAB total de US$ 702.000 millones en 2035.

A lo largo de Sudamérica, el crecimiento más acelerado que permitiría la IA reduciría la cantidad de años necesarios para que cada economía nacional duplique su tamaño (ver gráfico 10). En general, se espera que la IA redunde en beneficios extraordinarios en los distintos países y redefina la nueva normalidad como un período de crecimiento económico más alto y más duradero.

IMPACTO POTENCIAL

Al centrarnos en países individuales, podemos ver la importancia relativa de los tres canales a través de los cuales repercute la IA. Comparamos el tamaño de cada economía en 2035 en un escenario de línea de base con el escenario que incluye la IA, en el que la IA ya fue absorbida por la economía (ver gráfico 11).

La visión optimista de la IA, en palabras del futurista Ray Kurzweil (19 de diciembre, 2014), es que podrá ayudarnos a lograr los "avances más importantes para afrontar los grandes desafíos de la humanidad". En América del Sur, los emprendedores con visión de futuro, como Paulo Henrique Souza de Ubivis, la ven como una oportunidad única para que la región aproveche los avances tecnológicos del resto para lograr el propio.

No obstante, la IA no está exenta de problemas. El empresario Elon Musk advirtió que podría volverse "la amenaza existencial más grande" para la humanidad. El recientemente fallecido físico británico Stephen Hawking temía que "el desarrollo de una inteligencia artificial plena pudiera significar el fin de la raza humana" (Cellan-Jones, 2 de diciembre, 2014). Incluso si estos pronósticos sombríos no se concretaran, la IA tiene potencial para agravar el desempleo y la inequidad.

Entonces, ¿se trata de algo bueno o de algo malo?

La verdad es que depende de cómo manejemos la transición hacia una era de la IA. Para cumplir la promesa de que la IA sea un nuevo factor de producción

que pueda reavivar el crecimiento económico en beneficio de todos, las partes interesadas relevantes tienen que estar debidamente preparadas –intelectual, tecnológica, política, ética y socialmente– para hacer frente a los desafíos que surgen a medida que la IA se integra cada vez más en nuestras vidas. Hay cinco áreas de acción que son críticas.

Preparar a la próxima generación

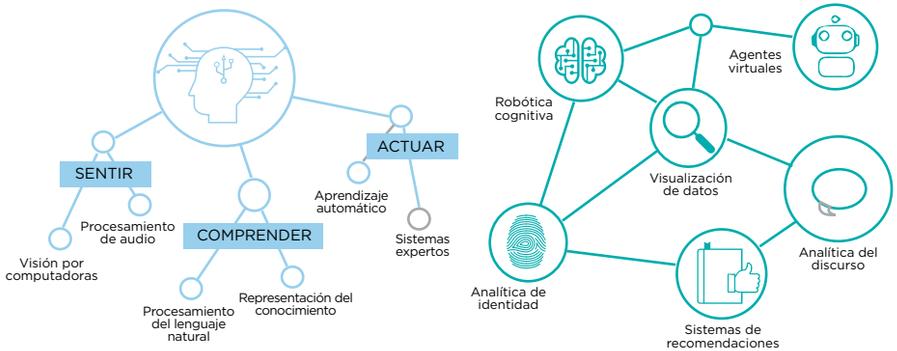
Un tema recurrente en las entrevistas que llevamos a cabo con empresarios y académicos de toda Sudamérica fue la escasa reserva de talentos. La Organización Internacional del Trabajo calcula que apenas aproximadamente un 20% de los trabajadores sudamericanos se desempeñan en puestos de trabajo que requieren altos niveles de calificación, comparados con más de un 40% en la Unión Europea y en Estados Unidos (gráfico 12).[4]

Para hacer frente a este problema, será crucial mejorar la calidad de los sistemas educativos nacionales, así como ampliar el acceso a la educación terciaria en varios países. Pero preparar a la próxima generación no será suficiente. La generación actual de trabajadores sudamericanos también necesitará apoyo para adaptarse a la economía de la IA.

Esto se producirá en un contexto en el cual, a medida que la IA elimine la necesidad de que los seres humanos desarrollen ciertas tareas, les dejará tiempo a los trabajadores para que aprendan sobre áreas en las que pueden agregar más valor. En este contexto, se necesitarán competencias técnicas para diseñar e implementar sistemas de IA, explotando la experiencia adquirida en muchas especialidades, entre ellas, la robótica, la visión artificial y el reconocimiento de patrones. En este sentido, la región tiene mucho por hacer. Los países sudamericanos estaban en la última mitad de las 70 economías incluidas en las pruebas de ciencias de la OCDE, tomadas a jóvenes de 15 años en 2015 (OCDE, 2018).

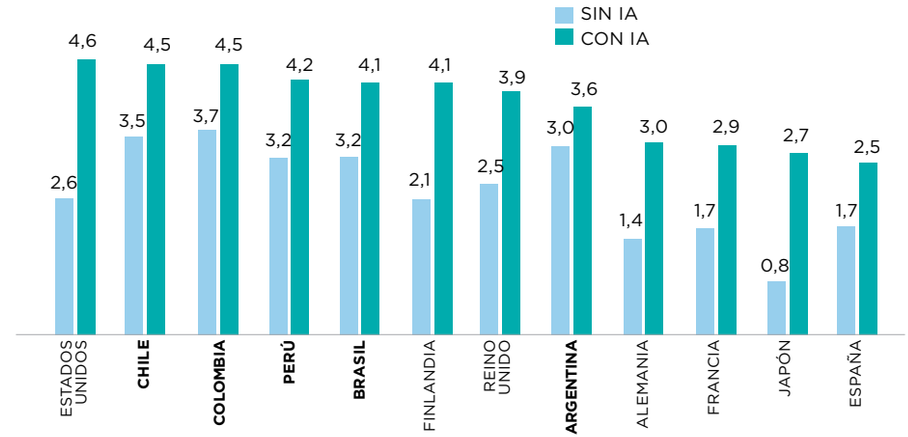
Pero las habilidades interpersonales, la creatividad y la inteligencia emocional serán todavía mucho más importantes que hoy. Quizás, la cultura ampliamente

GRÁFICO 8
TECNOLOGÍAS EMERGENTES DE IA



Fuente: Accenture.

GRÁFICO 9
EL IMPACTO ECONÓMICO DE LA IA
LA IA TIENE POTENCIAL PARA INCREMENTAR LAS TASAS DE CRECIMIENTO ECONÓMICO ANUALES DE AMÉRICA DEL SUR EN HASTA 1 PUNTO PORCENTUAL EN TÉRMINOS DE VALOR AGREGADO BRUTO



Fuente: Accenture y Frontier Economics.

reconocida de Sudamérica en cuanto a su apertura y facilidad para relacionarse y comunicarse podría, en este caso, ser una ventaja (ver recuadro "Desarrollar capacidades").

Fortalecer los ecosistemas

Las innovaciones florecen cuando hay relaciones estrechas y regulares entre las *startups*, las grandes empresas, los investigadores académicos, los organismos gubernamentales y otras partes interesadas clave. Lamentablemente, en Sudamérica, los ecosistemas de innovación tienden a ser débiles. Una investigación anterior de Accenture subrayó cómo los bajos niveles de confianza en la región contribuyen a que aquellos de innovación colaborativa también sean escasos (Ovanessoff, Plastino y Faleiro, 2015). "Las tendencias globales apuntan a la colaboración y a la cocreación, pero en nuestro país la [falta de] confianza nos está impidiendo logarlo", se lamenta Renzo Pruzzo (13 de septiembre, 2015), gerente general de la organización interprofesional chilena Club de Innovación.

Ana Maguitman, investigadora argentina de la Universidad Nacional del Sur y del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas reconoce la necesidad de forjar relaciones de confianza entre las instituciones, no solo entre las empresas. Cayó en la cuenta de esto después de que la oficina de enlace de su universidad hallara que su trabajo tenía potencial de desarrollo comercial: "Me enseñaron sobre transferencia de tecnología y sobre cómo entablar comunicación con las empresas. Esto era algo nuevo para nosotros".

Algunas empresas visionarias de la región ya están explorando las oportunidades que ofrecen los ecosistemas globales. La *startup* brasileña Ubivis hace un gran uso de los programas de código abierto de la IoT que ofrecen organizaciones como las fundaciones

Apache Software y Eclipse. Como nos explica el CEO de la compañía: "Nos basamos en el trabajo de estas organizaciones globales. Agregamos el 30% vital a su 70%".

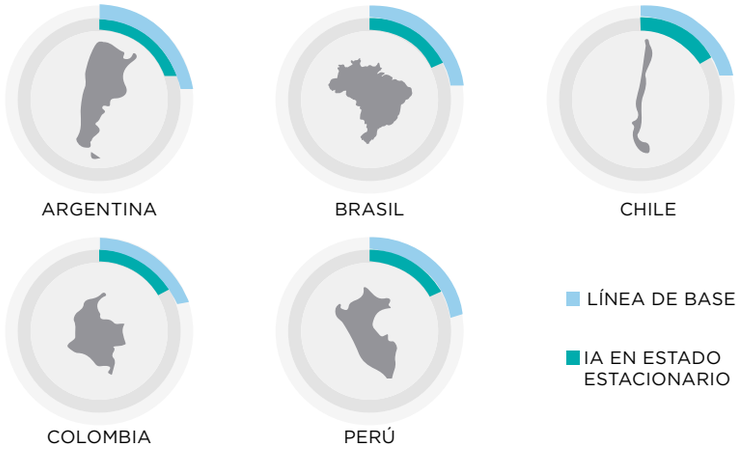
Fomentar regulaciones adecuadas

A medida que las máquinas autónomas asuman tareas que habían estado exclusivamente en manos de los seres humanos, habrá que revisar las leyes actuales. Por ejemplo, la ley de 1967 del Estado de Nueva York que exige que los conductores lleven una mano en el volante fue diseñada para mejorar la seguridad, pero puede inhibir la adopción de características de seguridad semiautónomas, como la centralización automática en el carril (Kessler, 3 de mayo, 2015).

En otros casos, hacen falta nuevas reglamentaciones, y la demora en implementar nuevas leyes puede socavar el progreso de América del Sur en la adopción y el desarrollo de tecnologías de IA. Por ejemplo, en Brasil, la legislación relacionada con la ciencia tiende a ser "reactiva", según Yasodara Córdova, una investigadora brasileña de la Digital Harvard Kennedy School of Governance (el programa sobre tecnologías digitales de la Escuela de Gobierno John F. Kennedy de la Universidad de Harvard). "Esto tiene dos consecuencias algo contradictorias, ambas negativas. Provoca inseguridad jurídica, que desalienta las inversiones. Al mismo tiempo, quienes pretenden explotar usos éticamente cuestionables de las nuevas tecnologías pueden beneficiarse del vacío legal". En este mismo sentido, Natalia Ospina Díaz (1 de junio, 2016), una abogada colombiana especializada en tecnologías de la información, explica que su país no está "preparado jurídicamente" para el ritmo del cambio tecnológico actual.

También en este punto, la IA en sí

GRÁFICO 10
TIEMPO PARA QUE LAS ECONOMÍAS DUPLIQUEN SU TAMAÑO
LA IA ALLANA EL CAMINO PARA QUE EL CRECIMIENTO ECONÓMICO SE ACELERE



Nota: Cantidad de años para que la economía duplique su tamaño (un círculo completo representa 100 años).
Fuente: Accenture y Frontier Economics.

misma puede ser parte de la solución, creando regulaciones adaptativas que vayan mejorando a medida que se aplican y que cierren la brecha entre la velocidad de la evolución de la tecnología y la respuesta de las regulaciones a dicha evolución. Del mismo modo en que las soluciones inteligentes que utilizan cantidades enormes de datos pueden orientar la toma de decisiones en áreas como la planificación urbana, la salud y los servicios sociales, también pueden utilizarse para actualizar las regulaciones a la luz de nuevas evaluaciones de costo-beneficio.

Promover un código de ética

Los sistemas inteligentes están penetrando rápidamente en entornos sociales que antes estaban circunscriptos a los seres humanos.

Esto da lugar a problemas éticos y sociales que pueden ralentizar el progreso de la IA. Dichos problemas van desde cómo actuar ante algoritmos que presentan un sesgo racial hasta si, en caso de accidente, los vehículos autónomos deberían darle preferencia a la vida de su conductor por sobre la de otros. Dada la prevalencia que tendrán los sistemas inteligentes en el futuro, quienes formulan las políticas deben asegurar el desarrollo de un código de ética para el ecosistema de la IA.

Es necesario complementar los debates éticos con normas y mejores prácticas más tangibles para el desarrollo de las máquinas inteligentes. La industria de la robótica, como segmento de la IA, ya se encuentra un paso adelante en el establecimiento de estándares universales para su funcionamiento. Los estándares empresariales producidos por BSI (British Standards Institution, el organismo que establece las normas para la estandarización de procesos en el Reino Unido), aplicables a los robots, constituyen un paso en la dirección correcta.

Minimizar riesgos sociales

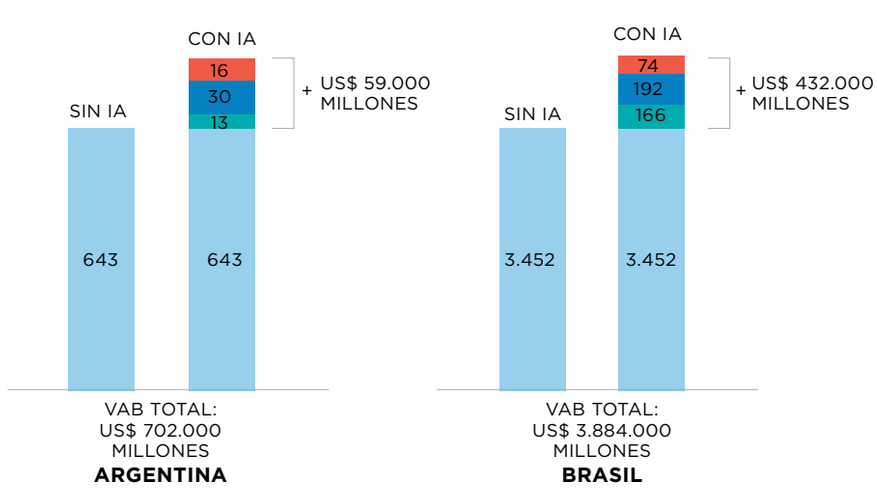
Una preocupación legítima y generalizada de muchos analistas es que la IA eliminará puestos de trabajo, agravará la inequidad y erosionará los ingresos. Dado el nivel de inequidad extremadamente alto de la región –donde el 10% de la población ya controla cerca del 70% de la riqueza de todo el continente latinoamericano–[5] (Bárcena Ibarra y Byanyima, 17 de enero, 2016), resulta imperioso tomar este riesgo muy en serio y prepararse para enfrentarlo.

La perspectiva de pérdida de puestos de trabajo –motivada por un avance tecnológico vertiginoso– es la principal razón por la que algunos Gobiernos, en países que van desde Canadá hasta Holanda, han empezado a poner a prueba programas piloto de renta básica universal (Tencer, 7 de diciembre, 2016; Brown Hamilton, 21 de junio, 2016).[6] "La necesidad de una renta básica universal será cada vez más evidente", advierte el profesor Guillermo Simari, titular del laboratorio de I+D en Inteligencia Artificial de la Universidad Nacional del Sur, de Argentina.

Pero el ingreso es solo una parte de la ecuación; podemos ver también cambios en los valores que la sociedad les atribuye a lo que aportan las personas, las máquinas y las comunidades. ¿Cómo trataremos el trabajo remunerado frente al trabajo no remunerado? ¿Vamos a cobrar un impuesto sobre los robots? ¿Se

70%
DE LA RIQUEZA DE ALC SE CONCENTRA EN UNA DÉCIMA PARTE DE LA POBLACIÓN

GRÁFICO 11
IMPACTO DE LA IA SOBRE LAS ECONOMÍAS NACIONALES



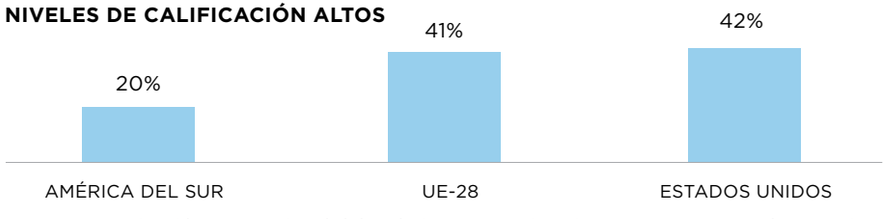
Fuente: Elaboración propia.

sentirá una parte de la sociedad liberada o despojada de su dignidad y de su autoestima si el trabajo remunerado ya no es una opción para ellos? Cuando planificamos el camino a seguir, dichas cuestiones referidas a la estructura de la sociedad y a los contratos sociales tienen que ser cuidadosamente examinadas.

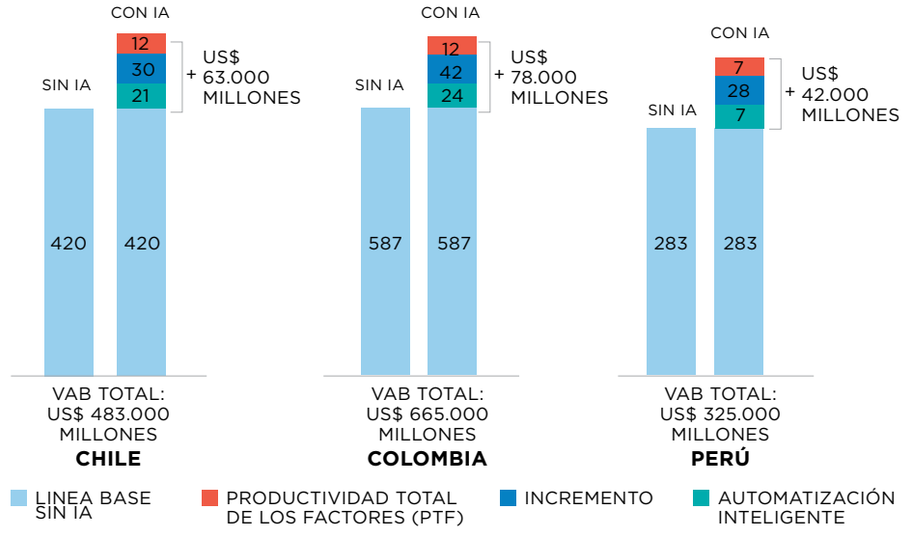
Sin embargo, al mismo tiempo, los responsables de políticas también tienen que articular los beneficios comunes que la IA le ofrece a la sociedad en su conjunto. Por ejemplo, vastos sectores de la fuerza de trabajo se beneficiarían si pudieran tener empleos más estimulantes y que les brinden mayor satisfacción. Una encuesta de Accenture destacó que el 84% de los gerentes de 14 países creen que la IA los hará más eficientes y tornará a los trabajos más interesantes (Kolbjørnsrud, Amico y Thomas, 2016).

Más allá del empleo, la IA promete aliviar algunos de los problemas más acuciantes del mundo, como el cambio climático (mejorando la eficiencia de los medios de transporte) y la falta

GRÁFICO 12
PARTICIPACIÓN DE LA MANO DE OBRA EN TRABAJOS QUE REQUIEREN NIVELES DE CALIFICACIÓN ALTOS



Fuente: Organización Internacional del Trabajo (ILO), estimaciones para 2018, empleo por tipo de ocupación.



de acceso a los servicios de salud (reduciendo la presión sobre sistemas que están sobrecargados). Beneficios como estos tienen que ser claramente explicados para fomentar una visión más completa y más realista del potencial que ofrece la IA.

APROVECHAR LA OPORTUNIDAD

La inteligencia artificial ofrece un abanico de oportunidades novedoso para que las economías sudamericanas enfrenten su déficit de productividad e incrementen su dinamismo sobre una base más sostenible.

La buena noticia es que, para muchos sectores, la IA ya se está haciendo realidad en la región y el interés de las empresas, los Gobiernos y los individuos no parece menor que el de las partes tecnológicamente más avanzadas del mundo. De hecho, los sistemas y aplicaciones de IA más revolucionarios se están diseñando y construyendo regionalmente.

Al mismo tiempo, si la región pretende capturar los beneficios amplios y profundos que promete la IA, tiene que lograr mejoras fundamentales en algunas áreas clave, como los sistemas educativos y los ecosistemas de investigación e innovación.

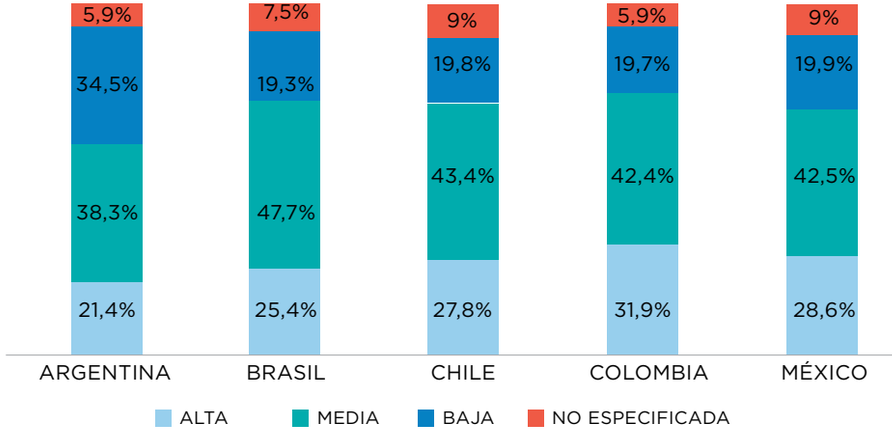
Dicho esto, los desafíos más grandes que enfrenta Sudamérica para capitalizar las oportunidades que ofrece la IA no difieren de los que enfrenta el resto del mundo. Los líderes empresariales y los responsables de políticas de América del Sur no deberían pensar que tienen que ponerse al día –como suelen creer– en términos de IA. En lugar de esto, deberían relacionarse activamente con sus pares del resto del mundo para convertir la IA en una fuente productiva y sostenible de crecimiento económico y social para todos.

DESARROLLAR CAPACIDADES

En investigaciones recientes sobre el futuro de los mercados de trabajo en América Latina, Accenture halló que uno de cada tres trabajadores empleados en la economía formal de la mayor parte de los mercados más grandes de la región dedicaba el 75% de su tiempo a tareas rutinarias. Dado que esas son las tareas que más probablemente lleven a cabo las máquinas inteligentes –las computadoras y los robots–, dichos trabajadores son los que corren el mayor riesgo de que sus trabajos se transformen o se pierdan en los próximos años a causa de la automatización.

GRÁFICO 13

PROBABILIDAD DE AUTOMATIZACIÓN PARA 2020, SOBRE LA BASE DEL CONTENIDO DE TAREAS RUTINARIAS



Fuente: Accenture.

Esto no significa que la pérdida de puestos de trabajo sea inevitable. El hecho de que los trabajos se puedan automatizar no significa que esto necesariamente vaya a ocurrir. También descubrimos que la tecnología puede ayudar a esos trabajadores a adquirir las capacidades que necesitarán para desempeñarse en los trabajos que se crearán, a través de medios que van desde los cursos en línea hasta los programas de capacitación que utilizan realidad virtual y aumentada. Asimismo, después de que algunas tareas se hayan automatizado, los empleadores podrán reconfigurar los puestos de trabajo, manteniendo a los trabajadores existentes, pero asignándoles nuevas funciones.

No obstante, los países latinoamericanos no pueden escapar a la necesidad de elevar la capacitación de los trabajadores vulnerables y asegurarse de que las personas jóvenes ingresen al mercado de trabajo con la formación necesaria. Esto es crucial para evitar un aumento de la informalidad –que ya afectaba al 46,8% de los trabajadores no agrícolas en 2015, según la Organización Internacional del Trabajo–, así como la caída de salarios en muchos casos y, en muchos otros, el retroceso de los salarios y del progreso que últimamente había logrado la región en términos de reducción de la pobreza y de la inequidad.

Las medidas concretas que creemos que las empresas, sus socios de la comunidad de las ONG y las instituciones de formación del Estado podrían tomar para guiar una transformación digital responsable incluyen las siguientes: 1) evaluar las tendencias económicas y sociales que crearán nuevos puestos de trabajo en los próximos años en América Latina; 2) enfocarse en el desarrollo de las capacidades humanas duraderas que serán cada vez más relevantes en el mercado de trabajo, así como de habilidades técnicas nuevas; y 3) utilizar nuevos métodos de enseñanza, incluidos el aprendizaje empírico y la capacitación basada en tecnología[7].

NOTAS

[1] Los autores desean expresar su agradecimiento a Mark Purdy y Roberto Frossard por su apoyo y sus aportes al presente trabajo.
[2] Según una investigación de IDC citada por el reportero sénior de Computerworld, Lucas Mearian (23 de marzo, 2017).
[3] http://site.airavirtual.com/.
[4] Organización Internacional del Trabajo, "Employment by occupation -- ILO modelled estimates, Nov. 2017", disponible en: www.ilo.org/ilostat [Consultado el 9 de mayo de 2018].
[5] Datos de 2014 para América Latina.
[6] Para leer más sobre las discusiones referidas a un programa piloto recientemente abortado que garantizaba un ingreso ciudadano universal para las personas desocupadas en Finlandia, ver, por ejemplo, Goodman (24 de abril, 2018) y Jauhiainen y Mäkinen (2 de mayo, 2018).
[7] Para un análisis más profundo, ver Plastino, Zuppolini y Govier (2018).
[8] Para más detalles sobre la importancia de la capacidad de absorción nacional, ver Purdy y Davarzani (2015).

BIBLIOGRAFÍA

Andina. "Robot minero también tendría utilidad en agricultura y desastres naturales". Agencia Peruana de Noticias. **13 de julio, 2016**.
Baer, D. "This Startup Is Using Machine Learning to Create Animal Product Substitutes". Business Insider. **26 de abril, 2016**.
Bárcena Ibarra, A. y Byanyima, W. "Latin America Is the World's Most Unequal Region. Here's How to Fix It". WEF. **17 de enero, 2016**.
Brown Hamilton, T. "The Netherlands' Upcoming Money-for-Nothing Experiment". The Atlantic. **21 de junio, 2016**.
Cellan-Jones, R. "Stephen Hawking Warns Artificial Intelligence Could end Mankind". BBC News. **2 de diciembre, 2014**.
Frey, C. B. y Osborne, M. 2013. "The Future of Employment: How Susceptible Are Jobs to Computerisation?". Working Paper. Oxford Martin School y University of Oxford.
Goodman, P. S. "Finland Has Second Thoughts About Giving Free Money to Jobless People". The New York Times. **24 de abril, 2018**.
Jauhiainen, A. y Mäkinen, J. H. "Universal Basic Income Didn't Fail in Finland. Finland Failed It". The New York Times. **2 de mayo, 2018**.
Kessler, A. M. "Law Left behind as Hands-Free Cars Cruise". Star Tribune. **3 de mayo, 2015**.
Kolbjørnsrud, V., Amico, R. y Thomas, R. J. 2016. *The Promise of Artificial Intelligence: Redefining Management in the Workforce of the Future*. Accenture.
Kurzweil, R. "Don't Fear Artificial Intelligence". Time. **19 de diciembre, 2014**.
Manber, U. y Norvig, P. "The Power of the Apollo Missions in a Single Google Search". Google Search Blog. **28 de agosto, 2012.**
Mearian, L. "CW@50: Data Storage Goes from $1M to 2 Cents per Gigabyte (+Video)". Computerworld. **23 de marzo, 2017**.
OCDE. 2018. *PISA 2015 Results in Focus*. OECD.
Ospina Díaz, N. "¿Está Colombia preparada jurídicamente para enfrentar el desafío tecnológico?". Portafolio Blog. **1 de junio, 2016**.
Ovanessoff, A., Plastino, E. y Faleiro, F. 2015. *Why Brazil Must Learn to Trust in Collaborative Innovation*. Accenture.
Plastino, E., Zuppolini, M. y Govier, M. 2018. *Building Latin America's Skills For The Age of Intelligent Machines*. Accenture.
Pruzzo, R. "La confianza como pieza clave para la co-creación". Diario Financiero. **13 de septiembre, 2015**.
Pulsosocial. "Inteligencia Artificial 'made in Chile': AIRA acelera reclutamiento y selección de personal". Pulsosocial. **20 de octubre, 2016**.
Purdy, M. y Davarzani, L. 2015. *The Growth Game-Changer: How the Industrial Internet of Things Can Drive Progress and Prosperity*. Accenture Strategy.
Sobowale, J. "How Artificial Intelligence Is Transforming the Legal Profession". ABA Journal. **Abril, 2016**.
Tencer, D. "Basic Income Coming To P.E.I.? Legislature Passes Motion Unanimously". The Huffington Post Canada. **7 de diciembre, 2016**.

APÉNDICE: MODELAR EL IMPACTO EN EL VALOR AGREGADO

La IA tiene potencial para desencadenar un impacto disruptivo amplio sobre la sociedad y generar una miríada de beneficios económicos. Si bien algunos de estos beneficios se pueden medir, hay otros, como la conveniencia para el consumidor y el ahorro de tiempo, que son de una naturaleza mucho más intangible. Nuestro análisis se centra en medir el impacto de la IA sobre el Valor Agregado Bruto (VAB).

Partimos del modelo de crecimiento modificado desarrollado por Robin Hanson, profesor de economía de la Universidad George Mason, de Virginia, Estados Unidos. Observamos el incremento adicional del crecimiento que se producirá como resultado de la IA y lo contrastamos con la tasa de crecimiento en la línea de base.

En nuestro modelo, definimos el trabajo como un continuo de tareas que pueden ser desarrolladas por una inteligencia humana o por una artificial –y no únicamente como el trabajo realizado por seres humanos–. La intención era introducir los sistemas inteligentes como una fuerza de trabajo adicional capaz de hacerse cargo de actividades que requieren un nivel avanzado de agilidad cognitiva.

Para estimar las proporciones de las tareas de los trabajadores que podrían ser realizadas por máquinas inteligentes (las tasas de absorción de la IA), nos basamos en las investigaciones realizadas por Frey y Osborne (2013), quienes adoptaron un enfoque basado en tareas para identificar los roles y las ocupaciones que se ven afectados por la IA. Las estimaciones se agregaron por país, teniendo en cuenta las distintas combinaciones de ocupaciones y de industrias dentro de cada uno.

Estas cifras fueron ajustadas para reflejar lo siguiente:

- Supuesto sobre el empleo a largo plazo: suponemos que, a largo plazo, el empleo será constante.
- Diferencias entre el potencial tecnológico de la IA y el potencial real alcanzado: consideramos la absorción de IA –desde cero hasta el máximo potencial tecnológico–. Suponemos que, en el horizonte temporal analizado, un 50% de la absorción sería razonable, es decir, se supone que la sustitución de la IA alcanzará el 50% de su potencial tecnológico.
- La capacidad de los países para absorber tecnologías de IA: un factor clave determinante del impacto de la IA sobre el crecimiento es qué tan bien se posiciona cada país para beneficiarse del surgimiento de las tecnologías y qué tan preparado está para integrarlas a su economía –medidas por lo que llamamos la "capacidad de absorción nacional" de un país–.[8]

Con estos cálculos y ajustes, llegamos a nuestras estimaciones finales de las tasas de absorción de la IA utilizadas en nuestro modelo macro. Junto con el modelo cuantitativo, complementamos nuestra investigación llevando a cabo entrevistas con empresarios y expertos de una amplia gama de disciplinas y de investigaciones secundarias a fin de tener más visiones sobre la capacidad de la IA para generar crecimiento económico.

TECNO-INTEGRACIÓN

Con más de 20.000 encuestas exclusivas en 18 países de la región, el Bien Público Regional edificado a partir de la alianza INTAL-Latinobarómetro mide la opinión de los latinoamericanos sobre integración y nuevas tecnologías.

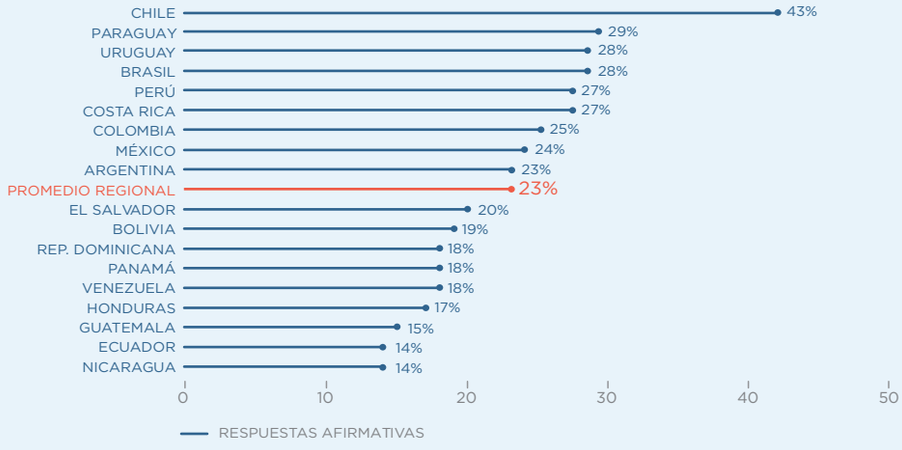
24%
de los latinoamericanos cree que la inteligencia artificial y la robótica crearán más empleo del que destruirán

23%
estaría dispuesto a viajar en un vehículo conducido por un robot

22%
se atrevería a ser intervenido quirúrgicamente a distancia

¿Cautela o temor al cambio?

Disposición a viajar en un vehículo manejado por un robot según país



Fuente: INTAL-Latinobarómetro.

Una *nueva etapa* de **globalización**

Anand S. Rao
PriceWaterhouseCoopers

LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL IMPLICA EL INICIO DE UNA NUEVA FASE DE LAS RELACIONES ECONÓMICAS INTERNACIONALES, EN ESPECIAL A PARTIR DE LA GENERALIZACIÓN DE APLICACIONES DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LOS NEGOCIOS. EN LA PRÓXIMA DÉCADA, SE ESPERA UNA DISRUPCIÓN PROFUNDA EN LOS DISTINTOS SECTORES ECONÓMICOS A NIVEL GLOBAL. ESTE ARTÍCULO ANALIZA LAS OPORTUNIDADES QUE ESTAS TRANSFORMACIONES PRESENTAN Y LOS RIESGOS ASOCIADOS.

Recientemente, las investigaciones sobre IA fueron descriptas como la Cuarta Revolución Industrial (Schwab, 2016; Kelnar, 2 de diciembre, 2016). Hoy existen tecnologías innovadoras y revolucionarias que están conectando a millones de personas y máquinas con el fin de automatizar y llevar adelante tareas que eran irrealizables en el pasado. La creciente sofisticación de las tecnologías de IA y AA (aprendizaje automático) está transformando nuestras vidas –como consumidores y también dentro de la empresa–.

¿Pero por qué de pronto la IA se convierte ahora en un tema candente cuando las investigaciones en este campo empezaron en los 50? En los últimos años, la IA ha estado creciendo a un ritmo acelerado producto de la abundancia de datos, de las mejoras vertiginosas en el poder de cómputo, de la posibilidad de acceder de modo sencillo y económico a estos a través de la computación en la nube, de las mejoras a los algoritmos y de la facilidad de acceso a las herramientas y técnicas de código abierto.

FACTORES QUE EXPLICAN LA EXPLOSIÓN

Hoy en día, utilizamos IA cotidianamente y esta atraviesa un momento histórico debido a seis factores convergentes.

Macrodatos o *big data*: las computadoras nos han brindado acceso a enormes cantidades de datos, tanto estructurados (en bases de datos y hojas de cálculo), como no estructurados (como los de texto, audio, video e imágenes). Todos estos datos documentan nuestras vidas y mejoran la comprensión humana del mundo. A medida que se introducen billones de sensores en distintos artefactos, envoltorios, prendas de vestir, vehículos autónomos y artículos similares, los macrodatos se harán cada vez más enormes. El procesamiento de toda esta información asistido por IA nos permite utilizar estos datos, entre otras cosas, para descubrir patrones históricos y realizar predicciones más eficientes y recomendaciones más efectivas. A medida que la generación y el almacenamiento de los datos se volvieron la norma para las empresas, la disponibilidad de datos creció de un modo exponencial.

Poder de procesamiento: las tecnologías en pleno avance, como la computación en la nube y las unidades de procesamiento gráfico (GPU), han hecho que el manejo de grandes volúmenes de datos se vuelva menos costoso y más rápido gracias al uso de sistemas potenciados por IA a través del procesamiento en paralelo. La innovación y el poder de procesamiento dieron lugar a una mayor cantidad de experimentos científicos en el campo de la IA. Las GPU son circuitos electrónicos especializados que minimizan el tiempo necesario para que algoritmos complejos de AA se entrenen, acelerando los cálculos con multiplicación de matrices. Producto de esto, han mejorado muchísimo los algoritmos que entrenan

54%
DE EJECUTIVOS EN EL MUNDO ESTÁ INVIRTIENDO EN IA

redes neuronales y que dependen fuertemente de grandes cantidades de datos de entrenamiento y de miles de parámetros. Los investigadores pueden ahora experimentar de manera más eficiente en el entrenamiento estas redes para realizar tareas complejas, como el reconocimiento de imágenes. En el futuro, los chips de aprendizaje profundo (AP) –un tema central de las investigaciones actuales– van a llevar incluso más allá los cómputos en paralelo.

Un mundo interconectado: las plataformas de las redes sociales han cambiado de un modo fundamental la forma en que interactúan los individuos. Esta creciente conectividad ha acelerado la difusión de la información y ha alentado la socialización del conocimiento, lo que llevó al surgimiento de una inteligencia colectiva, que incluye comunidades de código abierto que desarrollan herramientas de IA y comparten aplicaciones.

Software y datos de dominio público: estos están acelerando la democratización y el uso de la IA; que se ve reflejado en la popularidad de las plataformas y los estándares de AA de código abierto, como TensorFlow, Caffe2, PyTorch y ParlAI. Un enfoque de código abierto implica que se dedica menos tiempo a la programación rutinaria y llevará a una estandarización de la industria y a una aplicación más amplia de las herramientas emergentes de IA.

Mejores algoritmos: los investigadores han logrado avances en diferentes aspectos de la IA, particularmente en el AP, que involucra distintas capas de redes neuronales, cuyo diseño se inspira en el modo en el que el cerebro humano encara el procesamiento de la información. Las redes neuronales de AP (perceptrones multicapa) fueron imaginadas por primera vez en 1965, pero recién ahora se están construyendo y poniendo a prueba. Con estos avances, hemos alcanzado niveles de reconocimiento de voz y de imágenes similares a los de los humanos. Las tasas de error cayeron del 25% al 5% en apenas unos pocos años. Otra área de investigación emergente es el aprendizaje por refuerzo profundo, en el cual la IA aprende con datos de entrada escasos o nulos, por ensayo y error. A medida que se sigan sumando otros logros similares en este campo, eventualmente, la IA tendrá un impacto sobre todo lo que nos rodea, desde los bienes manufacturados hasta las experiencias sociales.

Rendimientos acelerados: las presiones competitivas han motorizado el desarrollo de la IA, ya que las empresas han utilizado los algoritmos y el *software* de código abierto para impulsar sus ventajas competitivas y aumentar sus rendimientos, por ejemplo, a través de una mayor personalización de los bienes de consumo o utilizando la automatización inteligente para incrementar su productividad.

La convergencia de estos factores ha ayudado a la IA a pasar del medio *in vitro* (los laboratorios de investigación) al *in vivo* (la vida cotidiana). En la actualidad, tanto las corporaciones ya establecidas como los nuevos emprendimientos o *start-ups* pueden ser pioneros en los avances y aplicaciones innovadores de la IA. De hecho, se den cuenta o no, muchas personas ya están utilizando sistemas dotados de IA para recorrer las ciudades, realizar compras en línea, buscar recomendaciones sobre entretenimientos, filtrar correo no deseado o compartir el viaje al trabajo. Por lo tanto, la IA ya está aquí y muchos ejecutivos de empresas perciben su valor potencial. En 2017, en una encuesta de ejecutivos mundiales de PwC, el 54% informó que estaba realizando inversiones significativas en IA, al tiempo que la falta de habilidades digitales seguía siendo un gran motivo de preocupación. A medida que las organizaciones continúen invirtiendo en herramientas, optimización de datos, personal e innovaciones facilitadas por la IA, se espera que los valores realizados se disparen y que la renta anual de los sistemas facilitados por IA aumente de US$ 1.400 millones en 2016 a US$ 59.800 millones para 2025.

TIERRA DE OPORTUNIDADES

El análisis llevado a cabo por PwC (Rao, Verweij y Cameron, 2017; Gillham *et al*., 2018) mide el potencial económico para la IA desde el momento actual hasta 2030 e incluye economías regionales y ocho sectores comerciales de todo el mundo. A través de nuestro Índice de Impacto de la IA, también observamos de qué modo las mejoras a la adaptación/personalización, calidad y funcionalidad pueden aumentar el valor, la elección y la demanda en cerca de 300 casos de uso de la IA, y qué tan rápido es probable que se afiancen las transformaciones y disrupciones. Otros elementos clave de la investigación incluyen análisis exhaustivos sector por sector (Gillham *et al*., 2018).

Lo que queda de manifiesto de un modo muy fuerte como resultado del análisis que hemos llevado a cabo para escribir este informe es la gran importancia que tendrá la IA como motor de cambio, y cuánto valor potencial disponible genera para quien pueda aprovecharla. La IA puede aportar hasta US$ 15.700 billones (o un 14% más) a la economía global de 2030, una cifra que supera la suma del producto actual de China y la India. De este monto, US$ 6.600 billones (5,8%) probablemente deriven de aumentos de productividad y US$ 9.100 billones (8%), de efectos sobre el consumo. Si bien algunos mercados, sectores y empresas individuales están más avanzados que otros, la IA en general todavía se encuentra en un estadio muy temprano de su desarrollo. Desde un punto de vista macroeconómico, surgen, por tanto, oportunidades para que los mercados emergentes se pongan en ventaja con respecto a sus pares más avanzados. Y dentro del propio sector empresarial, algunos de los nuevos emprendimientos de la actualidad o alguna empresa que ni siquiera haya sido aún fundada pueden llegar a ser los líderes del mercado dentro de 10 años.

CUADRO 1
RIESGOS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

1. RIESGOS DEL RENDIMIENTO	**2.** RIESGOS DE SEGURIDAD	**3.** RIESGOS DEL CONTROL	**4.** RIESGOS ÉTICOS	**5.** RIESGOS ECONÓMICOS	**6.** RIESGOS SOCIALES
Riesgo de errores	Riesgos de intromisión cibernética	Riesgo de "rebelión" de la IA	Riesgo de "falta de valores"	Riesgo de desplazamiento de puestos de trabajo	Riesgo de proliferación del armamento autónomo
Riesgo de sesgo	Riesgos de privacidad	Incapacidad de controlar IA maliciosa	Riesgo de armonización de los valores	Riesgo de concentración del poder si "el ganador toma todo"	Riesgo de "brecha de la inteligencia"
Riesgo de falta de transparencia o "caja negra"	Riesgos del *software* libre		Riesgo de armonización de las metas	Riesgo de responsabilidad	
Riesgo de explicabilidad				Riesgo de reputación	
Riesgo de estabilidad del rendimiento					

Fuente: PwC Data & Analytics.

+14%
PUEDE APORTAR
LA IA A LA
ECONOMÍA GLOBAL

Con respecto a los efectos en términos de mejora de los productos, se espera que casi todo el impacto sobre el PIB derive de una mayor variedad de bienes, así como de incrementos de su calidad, mientras que el impacto de los incrementos del ahorro de tiempo que obtendrían los consumidores que utilicen productos potenciados por IA se considera insignificante. Esto no solo refleja el hecho de que el incremento básico (%) del ahorro de tiempo es relativamente escaso, en promedio, a lo largo del año (por consumidor), sino también que este incremento de la oferta (disponibilidad) de mano de obra no es lo suficientemente importante para incentivar un incremento real y significativo de la oferta laboral.

Cabe destacar que los efectos del lado del consumo aparecen más rezagados, pero son de una magnitud sorprendente y exceden a la contribución del incremento de la productividad del trabajo al aumento del PIB hacia fines de los años 2020. Tanto la naturaleza rezagada como la magnitud de estos impactos se pueden explicar por el complejo mecanismo de transmisión (inicial) de estas mejoras de los productos al consumo. Dado que el mecanismo de transmisión de las mejoras en los productos del lado del consumo –y, particularmente, la entrada de nuevas empresas– demanda un tiempo considerable, el efecto de las mejoras en los productos sobre el PIB demanda considerablemente mucho más tiempo para concretarse que los efectos derivados de aumentos de la productividad. Pero una vez que se produjo la transmisión, el impacto sobre el PIB es sustancial, lo cual refleja, fundamentalmente, cuánto más asequibles se volvieron los bienes a partir de la entrada de nuevas empresas (gráfico 1).

Asimismo, hay dos salvedades importantes para tener en cuenta al interpretar nuestro análisis.

Nuestros resultados estiman la presión que empuja al alza del PIB producto únicamente de la IA, bajo un supuesto *ceteris paribus* (Rao *et al.* 2017). Nuestros resultados pueden no verse reflejados directamente en las cifras de crecimiento económico futuro, ya que habrá muchas fuerzas positivas o negativas que o bien amplifiquen o bien neutralicen los efectos potenciales de la IA (por ejemplo, cambios en la política comercial mundial, auges o derrumbes financieros, cambios significativos de los precios de los productos básicos, *shocks* geopolíticos, etcétera).

1. Como mencionamos anteriormente, los resultados de nuestro modelo económico se comparan con una línea de base del crecimiento económico en estado estacionario a largo plazo. La línea de base se construye a partir de tres elementos clave: crecimiento poblacional, crecimiento del *stock* de capital y cambio tecnológico. La tasa de cambio tecnológico supuesta de la línea de base está construida sobre las tendencias históricas promedio. Por lo tanto, dado que la IA ya se había introducido antes del inicio del período de análisis de este estudio, el componente de estos pronósticos que es motivado por el cambio tecnológico ya fue tenido cuenta en las tendencias pasadas del impacto de la IA sobre el PIB (ver método Rao *et al.* 2017). De esto se desprende que es difícil cuantificar la fracción exacta del impacto de la IA sobre el PIB que se agregará a las tasas de crecimiento histórico promedio (es decir, que será adicional a la línea de base proyectada).

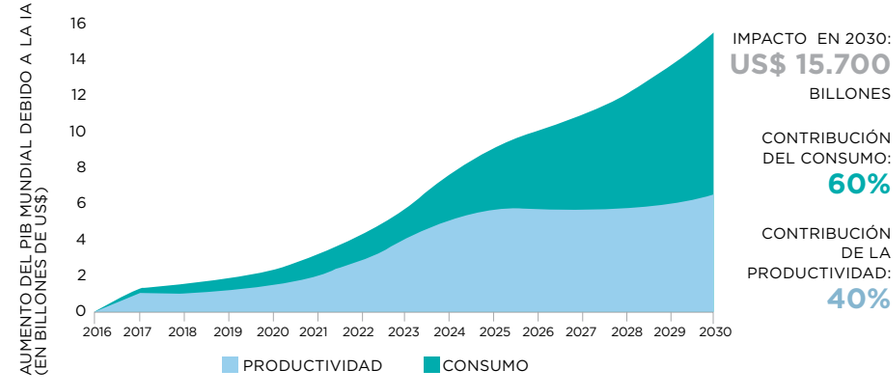
No obstante, nuestro estudio está específicamente centrado en las tecnologías de IA que todavía no se implementaron y que se espera que se implementen entre 2017 y 2030. En consecuencia, un supuesto subyacente pero razonable que hemos formulado es que la escala y el impacto de estas tecnologías de IA estarán por encima de la tendencia actual de la adopción y el impacto de la IA. Bajo esta premisa, nuestro estudio se centra en estimar el impacto económico marginal total de la IA que se implementará en el futuro, específicamente entre 2017 y 2030 –sin incluir a la IA que ya se implementó antes de este estudio, la cual está incluida implícitamente en el supuesto de crecimiento de la línea de base–. Esto también significa que, si bien los resultados de nuestro estudio implican que las tasas de crecimiento económico promedio entre 2017 y 2030 aumentarán debido al impacto de la IA, no afirmamos nada fuera de dicho intervalo de tiempo. Por este motivo, nuestra interpretación no es que la IA vaya a tener un impacto en la tasa de crecimiento de la economía a largo plazo.

Estos dos factores significan que nuestros resultados deben interpretarse como el potencial tamaño del premio económico asociado con la IA en nuestro período de estudio, y no como estimaciones directas del impacto de la IA sobre el crecimiento económico a largo plazo.

Otra salvedad que hay que tener en cuenta en materia económica es que se supone que, en el futuro, las empresas podrán ingresar al mercado y competir en circunstancias idénticas a las actuales. Esto supone que la propiedad de los datos –como forma de hacer negocios– estará regulada por las mismas disposiciones antitrust impuestas en la economía antes de la introducción de la IA. No obstante, si las empresas mantienen una propiedad casi exclusiva de los datos o pueden construir una ventaja competitiva lo suficientemente importante en torno de estos, puede volverse más difícil que el ingreso sea más dinámico y haya más competencia.

Todas las regiones geográficas de la economía mundial obtendrán beneficios económicos de la IA. América del Norte y China se beneficiarán con las ganancias económicas más abultadas a partir de aumentos del PIB motivados por la IA del 26,1% y del 14,5%, respectivamente, que equivalen a un total de US$ 10.700 billones, que dan cuenta de casi el 70% del impacto económico mundial. Más allá de América del Norte y China, es probable que otros países, como los de Europa y los más desarrollados de Asia, también

GRÁFICO 1:
IMPACTO DE LA IA SOBRE EL PIB MUNDIAL HASTA 2030



Fuente: Análisis de PwC.

+5%
CRECERÁ EL PIB DE ALC DEBIDO A IA EN 2030

obtengan aumentos significativos del PIB, de entre un 9,5% y un 11,5% para 2030 (Rao *et al*., 2017). Si bien se prevé que la adopción de la IA sea más lenta en estos países que en la región norteamericana, el potencial de automatización es muy elevado en Europa, mientras que el impacto marginal de las tecnologías de IA sobre la productividad es particularmente alto en las economías desarrolladas de Asia, como lo es también la inversión proyectada en tecnologías para potenciar la fuerza de trabajo.

Del lado del consumo, es probable que quienes adopten más rápido la IA obtengan los mayores beneficios (América del Norte y Europa del Norte), aunque China se hará con una proporción desmedidamente elevada de dichos beneficios, debido a que su escenario muestra un nivel de competencia ligeramente inferior en términos generales, que incrementa el impacto marginal del ingreso de nuevas empresas sobre los precios, lo cual se discute en detalle más adelante. Se espera que América Latina y otros mercados menos desarrollados vayan un poco más rezagados, aunque, a pesar de una menor adopción de tecnologías de IA, se estima que obtendrán beneficios en términos de PIB de aproximadamente un 5% para 2030 (ver gráfico 2).

UN CAMINO NO EXENTO DE RIESGOS

A pesar del gran potencial que ofrece la IA para construir un planeta más sostenible para las generaciones futuras, también entraña riesgos a corto y largo plazo. Estos pueden dividirse, en términos generales, en seis categorías con impactos variables sobre los individuos, las organizaciones y la sociedad (cuadro 1).

Riesgos del rendimiento

Como cualquier otro sistema de *software*, los sistemas de IA necesitan ser verificados y validados utilizando metodologías estándar. No obstante, los sistemas de IA –en particular, los sistemas de aprendizaje automático (AA)– difieren significativamente de los sistemas de *software* estándar. Hay fundamentalmente dos fases en la construcción de un sistema de AA (Dietterich, 1988; Hall, Phan y Ambati, 2017). En primer lugar, el desarrollador entrena al sistema introduciéndole grandes volúmenes de datos de entrada, así como datos de salida. Por ejemplo, si uno quiere que el sistema de AA identifique un gato en una serie de imágenes, el desarrollador alimenta el sistema con cientos de miles de imágenes, de las cuales un subconjunto claramente identificado contiene gatos. El sistema de AA entonces aprende a identificar las características distintivas de los gatos. Una vez que el sistema ha sido entrenado adecuadamente, se lo despliega en un modo de producción, en el cual, dada cualquier imagen, dicho sistema de AA identificará si hay un gato en ella o no.

La diferencia fundamental con los sistemas tradicionales es que nadie tiene que verificar la codificación línea por línea. En lugar de esto, hay que asegurarse de que los datos proporcionados sean representativos, de que no contengan sesgos, de que entendamos de qué modo el sistema está identificando las características distintivas y de qué modo está haciendo sus recomendaciones. La dificultad que entraña hacer esto en muchos de los algoritmos de AA los convierte en una caja negra, que hace a su vez difícil afirmar si el rendimiento o los resultados de los algoritmos de IA son acertados o deseables. El campo de investigación emergente de la IA explicable (XAI, por sus siglas en inglés) (DARPA, 2016) pretende crear nuevos métodos de IA que sean comprensibles para el razonamiento humano. Pero recién se están dando los primeros pasos en este campo. Mientras tanto, las investigaciones actuales tratan de reducir el sesgo del modelo, producto de los sesgos de los datos de entrenamiento, y mejorar la estabilidad de su rendimiento. A medida que se implementan nuevas soluciones de IA, una consecuencia no deseada es la excesiva dependencia de algoritmos de IA cuyo rendimiento es variable (Goodman y Flaxman, 2016). Es esencial que los seres humanos sigan estando involucrados en la auditoría de los resultados de los algoritmos para atenuar estos sesgos no deseados y otros riesgos más generales del rendimiento.

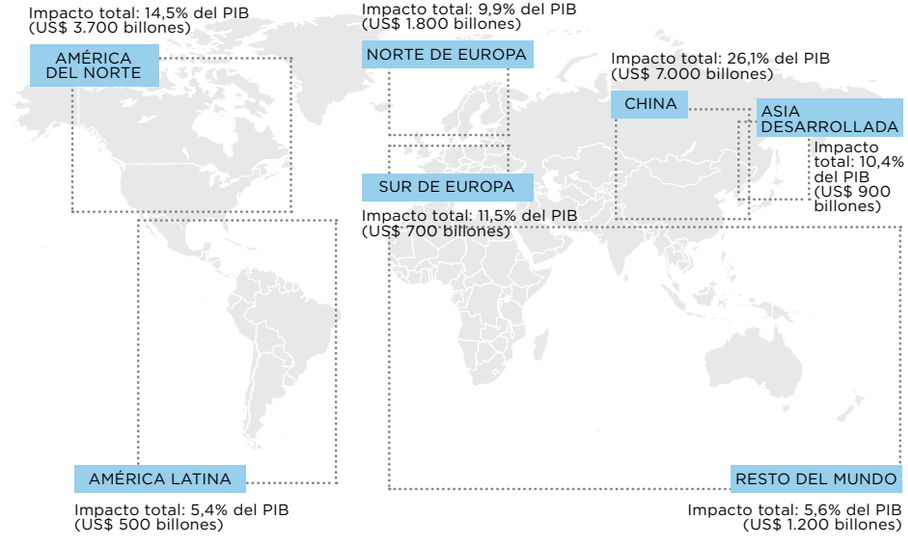
Ejemplo: una serie de bancos y compañías de seguros están utilizando modelos de AA para tomar decisiones respecto del otorgamiento de créditos al consumo, tarjetas de crédito y pólizas de seguro. Si los datos que utilizan estas organizaciones están sesgados o no son representativos de toda la población, o si el sistema de AA no puede explicar la lógica de sus recomendaciones de un modo que los consumidores puedan comprender, entonces corremos un riesgo al adoptar estas técnicas generalizadamente, ya que los consumidores perderán la confianza en las recomendaciones del sistema.

Riesgos de seguridad

El uso inapropiado de la IA por parte de piratas informáticos es un riesgo grave, ya que muchos algoritmos desarrollados con buenas intenciones (por ejemplo, para los vehículos autónomos) pueden ser repensados para hacer daño (por ejemplo, para obtener armamentos autónomos). Esto plantea nuevos riesgos para la seguridad mundial (Brundage *et al.,* 2018).

Para poder construir algoritmos ex-

GRÁFICO 2
CRECIMIENTO POR ÁREA GEOGRÁFICA



Fuente: Análisis de PwC.

plicables, transparentes y validados hay que contar con una gobernanza adecuada (Easterbrook, 30 de noviembre, 2010), y esto incluye trazar una línea entre la IA beneficiosa y la perjudicial (Holdren y Smith, 2016). Los modelos de AA (especialmente, los de aprendizaje profundo) también pueden ser engañados por datos de entrada maliciosos, llamados "ataques adversarios". Por ejemplo, es posible hallar combinaciones de datos de entrada que desencadenen resultados perversos de los modelos de AA, de hecho, hackeándolos.

Ejemplo: los *hackers* podrían acceder a los sistemas de alerta automatizados, a las redes de distribución eléctrica o a las plataformas interconectadas de vehículos autónomos de transporte y generar complicaciones en una región. Se necesita la gobernanza apropiada para asegurar una IA respetuosa de los seres humanos y del planeta y para evitar el mal uso. El uso inapropiado de la IA también podría producirse cuando los sistemas caen en las manos equivocadas. Por ejemplo, los cazadores furtivos podrían beneficiarse de las herramientas de IA para el rastreo de especies animales en peligro de extinción, destinadas a contribuir a los esfuerzos conservacionistas.

Riesgos del control

Algunos sistemas de IA trabajan de manera autónoma e interactúan entre sí generando mecanismos de retroalimentación entre las máquinas que pueden provocar resultados inesperados. Los vehículos autónomos o semiautónomos, la maquinaria pesada equipada con sensores, los drones, los robots y muchos otros dispositivos y equipos tendrán cada vez más IA incorporada. La incapacidad de los humanos de controlar estos sistemas semiautónomos o autónomos implica riesgos de control considerables (Brundage *et al*., 2018).

Ejemplo: en 2010, las interacciones de múltiples bots en las negociaciones de alta frecuencia causaron una crisis financiera que infló los mercados artificialmente. Asimismo, los *hackers* han demostrado de qué modo pueden tomar el control de los vehículos y manejarlos de manera remota. Si caen en las manos equivocadas, estas herramientas pueden entrañar riesgos significativos para las personas y para la propiedad. Son necesarios el control proactivo, el monitoreo y las salvaguardas para poder detectar estas acciones antes de que se conviertan en un problema. El control de los sistemas de IA o la intervención humana de emergencia deben ser tenidos en cuenta en el diseño de estos sistemas.

Riesgos económicos

A medida que las empresas adoptan IA, esta puede alterar el escenario de la competencia creando ganadores y perdedores. Los que más rápido pueden mejorar sus procesos de toma de decisiones a través de la IA pueden ver cómo los beneficios aumentan aceleradamente, mientras que los que tardan más en adoptarla pueden quedar atrás. Las empresas que enfrentan más problemas en la transición hacia la IA pueden verse forzadas a reducir la inversión, lo cual es probable que perjudique su rentabilidad y, eventualmente, su existencia. Dados los rendimientos acelerados sobre el capital cognitivo (la combinación de la inteligencia humana y artificial), los que primero actúen con la información y los expertos apropiados podrán monopolizar velozmente el mercado. En virtud de la naturaleza global del mundo digital, esto podría desencadenar de inmediato una carrera por la supremacía mundial, lo cual forzaría a los Gobiernos a intervenir para proteger a sus industrias locales y allanaría el camino para un potencial aumento del proteccionismo y una menor globalización.

Ejemplo: el aumento de la productividad generado por la automatización, más el aumento del consumo debido a las mejoras en la personalización y el diseño de los productos y a las campañas de *marketing* basadas en información de la IA cambiarán la cantidad de gente necesaria para proveer estos bienes y servicios y podrían también modificar la naturaleza de las habilidades imprescindibles para sobrevivir en el nuevo mundo de la IA.

Riesgos sociales

La automatización a gran escala amenaza con reducir el empleo en el transporte, la industria manufacturera, la agricultura y el sector de servicios, entre otros. El aumento de las tasas de desempleo podría llevar a una mayor inequidad social. Además, los algoritmos diseñados por un subconjunto de la población a nivel nacional y mundial pueden estar sesgados inconscientemente y llevar, quizás, a resultados que marginen a las minorías o a otros grupos. El armamento autónomo también plantea una amenaza significativa para la sociedad y entraña la posibilidad de llevar a conflictos más acelerados y de mayor escala. Una vez desatados, estos pueden a su vez provocar daños de gran magnitud en el medioambiente e, incluso, un escenario apocalíptico, donde una IA militarizada supondría un riesgo existencial para la humanidad.

Ejemplo: los camiones y automóviles autónomos, junto con la fabricación energéticamente inteligente de la internet de las cosas, conllevan beneficios medioambientales considerables, pero también pueden traer aparejada una pérdida de empleo importante (Goldman Sachs estima que solamente en EE. UU. se perderán aproximadamente 300.000 puestos de trabajo por año cuando la saturación de IA alcance su punto máximo). A esto también podría sobrevenir una caída económica regional con el consiguiente agravamiento de la inequidad y del descontento social.

Riesgos éticos

El uso ético y responsable de la IA involucra tres elementos clave: la utilización de los macrodatos; la creciente dependencia de algoritmos para llevar adelante tareas, diseñar alternativas y tomar decisiones; y la reducción gradual de la participación humana en muchos procesos. En conjunto, estos plantean cuestiones relacionadas con la justicia, la responsabilidad, la igualdad y el respeto de los derechos humanos. Asimismo, si bien ciertos resultados sesgados de la IA pueden plantear preocupaciones importantes respecto de la privacidad, muchas opiniones y decisiones acerca de los individuos se basan en los atributos que se deducen del grupo o la comunidad de pertenencia. Por consiguiente, la evaluación del daño que podría hacer la IA debe encuadrarse más allá del nivel individual y reconocer que la privacidad no es el único aspecto.

Ejemplo: en el futuro, es probable que un vehículo autónomo enfrente situaciones en las que quizás tenga que tomar decisiones morales (por ejemplo, si se encuentra ante dos alternativas, la de matar a uno de los pasajeros del vehículo o a dos que están en la calle, ¿qué decidirá?). Los seres humanos toman diferentes decisiones sobre la base de sus valores, y cómo impartir esos valores a las máquinas o, al menos, alinear los valores de las máquinas con los de los humanos constituye un gran desafío.

DESTRUCCIÓN CREATIVA

La IA tiene potencial para alterar fundamentalmente los mercados a través de la creación de servicios innovadores y de modelos de negocios completamente nuevos. Ya hemos visto la destrucción creativa de la primera ola de digitalización.

Con la nueva ola de IA, dentro de diez años o, incluso, de cinco, algunos de los líderes del mercado quizás sean empresas

que jamás hemos escuchado nombrar. A su vez, algunos de los nombres comerciales más importantes de la actualidad puede que entonces estén luchando por sostener su relevancia o hasta hayan desaparecido por completo, en caso de que su respuesta no haya sido suficiente o haya llegado demasiado tarde.

Es probable que los líderes del mercado del mañana estén hoy mismo explorando sus posibilidades y fijando sus estrategias. Las empresas deberían estar desarrollando activamente su estrategia de IA y reforzando sus capacidades en IA (Rao, 2017). Nuestra recomendación es que las empresas se centren en los siguientes aspectos.

Desarrollar una estrategia de IA acorde a su estrategia global de negocios: deberían integrar la IA en sus planes digitales y analíticos existentes; decidir qué negocios modificar y cuáles reforzar; tomar en cuenta nuevos modelos de negocios basados en una mayor productividad; y planificar inversiones a largo plazo en inteligencia autónoma.

Desarrollar capacidades de IA en toda la empresa: rediseñar sus productos y servicios para incorporar el AA; utilizar la IA para mejorar sus capacidades distintivas más críticas; utilizar la automatización para mejorar sus decisiones actuales; automatizar sus procesos empresariales existentes o desarrollar otros nuevos; y contratar ingenieros y otros profesionales que comprendan la IA.

Institucionalizar su abanico de capacidades de IA: incorporar IA a lo largo de todo el proceso de negocios; adoptar plataformas en la nube y *hardware* especializado; y fomentar una cultura de toma de decisiones abierta a ideas asistidas por IA.

Asegurar la gobernanza adecuada: establecer políticas claras con respecto a la privacidad de los datos, los derechos de decisión y la transparencia; establecer estructuras de gobernanza aptas para monitorear posibles errores y mitigar los riesgos de la IA; desarrollar IA explicable (XAI) y establecer procesos de gobernanza para monitorear la eficacia de estas explicaciones; considerar el impacto sobre el empleo e invertir en el desarrollo de la mano de obra que la IA complementará.

Al anticipar los cambios radicales que la IA traerá aparejados, es importante recordar que estamos apenas en los albores de la revolución de la IA. Esperamos disrupciones y transformaciones más profundas en todas las economías, geografías y sectores. Si bien los efectos económicos de la IA pueden no materializarse por completo de aquí a una década o más, las empresas tienen que empezar a tomar las decisiones estratégicas acertadas ahora mismo.

BIBLIOGRAFÍA

Brundage, M., Avin, S., Clark, J. *et al.* 2018. "The Malicious Use of Artificial Intelligence: Forecasting. Prevention, and Mitigation". University of Oxford. arXiv:1802.07228.

DARPA. 2016. "Broad Agency Announcement: Explainable Artificial Intelligence (XAI)". DARPA-BAA-16-53. Arlington: Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), Information Innovation Office.

Dietterich, T. G. 1988. "Artificial Intelligence". Minsky 1988 (2017): 3-24.

Easterbrook, S. "The Difference between Verification and Validation". *Serendipity*. **30 de noviembre, 2010**.

Gillham, J., Rimmington, L., Dance, H. *et al.* 2018. "The Macroeconomic Impact of Artificial Intelligence". PwC White Paper.

Goodman, B. y Flaxman, S. 2016. "EU Regulations on Algorithmic Decision-Making and a 'Right to Explanation'". *AI Magazine*. 38 (3): 50-57.

Hall, P., Phan, W. y Ambati, S. "Ideas on Interpreting Machine Learning". O'Reilly Media. **15 de marzo, 2017**.

Holdren, J. y Smith. M. 2016. "Preparing for the Future of Artificial Intelligence". Washington DC: Oficina Ejecutiva del Presidente. Comité sobre Tecnología del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Gobierno federal de los EE. UU.

Kelnar, D. "The Fourth Industrial Revolution: A Primer on Artificial Intelligence (AI)". Medium, MMC writes. **2 de diciembre, 2016**.

Rao, A. 2017. "A Strategist's Guide to Artificial Intelligence". *Strategy + Business*. 87: 2-10.

Rao, A., Verweij, G. y Cameron, E. 2017. "Sizing the Prize: What Is the Real Value of AI for Your Business and How Can You Capitalise?". PwC White Paper. PwC.

Schwab, K. 2016. *The Fourth Industrial Revolution*. Ginebra: WEF.

NECESITAMOS DEJAR DE LADO TANTO EL PESIMISMO COMO EL CHAUVINISMO TECNOLÓGICO PARA PROFUNDIZAR EL DEBATE SOBRE LOS DIVIDENDOS DIGITALES.

Peter Diamond
Premio Nobel de Economía

“La tecnología ayuda a los países a construir reglas *flexibles*”

PETER DIAMOND, PREMIO NOBEL DE ECONOMÍA, ES UNO DE LOS MAYORES EXPERTOS MUNDIALES EN SEGURIDAD SOCIAL, MERCADOS DE TRABAJO Y ANÁLISIS DE FALLAS DE MERCADO, AQUELLOS PROBLEMAS ECONÓMICOS QUE REQUIEREN DE LA PARTICIPACIÓN GUBERNAMENTAL PARA RESOLVERSE. EN ESTA ENTREVISTA CON *INTEGRACIÓN & COMERCIO*, DIAMOND EXPLICA QUE LA VELOCIDAD DE LOS CAMBIOS TECNOLÓGICOS OBLIGA A LOS GOBIERNOS A ELEVAR SU CAPACIDAD DE RESPUESTA PARA NO QUEDAR RELEGADOS FRENTE AL SECTOR PRIVADO Y A LOS NUEVOS DESAFÍOS. TAMBIÉN ELOGIA EL SISTEMA DE PENSIONES CHILENO Y SOSTIENE QUE EL COMERCIO DE BIENES SIGUE UNA LÓGICA MUY DISTINTA A LAS REGLAS QUE RIGEN LOS MERCADOS DE CAPITALES.

¿Cuál será el impacto de las nuevas tecnologías en el empleo?

Prefiero analizarlo en el largo plazo. Obviamente, desde hace ya varios siglos asistimos a avances en los conocimientos tecnológicos que han tenido un impacto significativo sobre la economía. La primera enseñanza que nos dejan es que es muy importante que el Gobierno tenga capacidad de respuesta ante los problemas que plantean las nuevas tecnologías. Ya sabemos cuál es el rol del Gobierno en la regulación de los negocios. El modo de perseguir ganancias puede exigir cierta protección del consumidor, de los trabajadores y del medioambiente. Conocemos los riesgos y el papel de los gobiernos a la hora de afrontar aquello que no resuelve el mercado. Una cuestión inevitable es que la velocidad de respuesta de las empresas ante las oportunidades será mucho mayor que la del Gobierno frente a aquellos temas en los que podría mejorar.

> LA SOSTENIBILIDAD A LARGO PLAZO DEPENDE DE LA POLÍTICA, NO DE LA ECONOMÍA

¿Cómo mejorar el funcionamiento de los mercados de trabajo?

Eso siempre es un problema. En tiempos de la crisis financiera, Paul Samuelson habló acerca de cómo la ingeniería financiera había sido la causante de la crisis. Mientras que Bob Merton manifestó que la tecnología siempre se adelanta a las regulaciones relacionadas con la seguridad que requiere la innovación. Y así fue concretamente en el caso de los derivados. De modo que este no es un fenómeno nuevo. Si con la IA tendremos drones que estarán combatiendo entre sí sin personas, entre muchas otras novedades, el interrogante es cómo impactará esto en los gobiernos y en las empresas. Estos cambios parecen estar produciéndose muy rápido y hemos estado desatendiéndolos durante los últimos 30 años. No hemos invertido en educación ni en infraestructura y hemos actuado de mal modo con respecto a los problemas de la distribución del ingreso. Ahora necesitamos centrarnos en las fuentes de recursos necesarias para mejorar la distribución del ingreso. El surgimiento de estas tecnologías no significa que sean necesariamente negativas, pero la cuestión fundamental que tenemos que abordar es de qué modo hacer que generen valor para más personas.

¿Cree que subirá la desocupación como consecuencia de la automatización?

Si nos centramos particularmente en el mercado laboral, en primer lugar, sería erróneo enfocarnos en el desempleo como tema principal. Ya hemos pasado antes por esta situación y es verdad que, a corto plazo, se produce un impacto sobre el empleo. No obstante, los mercados laborales tienden a responder y a adaptarse, cuando se les permite hacerlo. Lo importante es cómo el sistema educativo prepara a las personas para aprovechar las oportunidades que surjan. Estamos viendo un cambio en las relaciones de trabajo, en los modos de organización, e invita a repensar los tipos de regulaciones, los derechos que tienen los trabajadores, quién es un empleado y quién es un empleador y cuáles son las obligaciones de quien contrata. Estos problemas exigen repensar muchas cosas.

¿Cómo organizar los sistemas de seguridad social a partir de la mayor esperanza de vida y el trabajo independiente?

La respuesta debe ser muy específica para cada país. Hay algunos países que instauraron sistemas que perdurarán y se adaptarán a los cambios en la expectativa de vida, en la distribución del ingreso y en otros factores. Chile diseñó un buen sistema, y como su gobierno funciona muy bien, tiene la capacidad de hacerlo marchar, ya que puede adaptar las regulaciones con frecuencia y ajustarlas a las necesidades específicas que surjan. Otros países tienen sistemas mucho más costosos y pasan muchos años sin realizar ningún cambio. En toda América Latina existe el problema de que el sector formal, en el mejor de los casos, absorbe a la mitad de la mano de obra, de modo que el sistema de pensiones, construido en torno del empleo formal, no abarca a toda la población. Por lo tanto, el pilar solidario de Chile es una forma de cubrir esa brecha. Hay dos aspectos relacionados con la sostenibilidad, el primero es qué nivel resulta razonable en términos de lo que la economía puede solventar. El segundo, más político, es cuántos ingresos se recaudarán. Por lo tanto, la sostenibilidad, en realidad, es una cuestión política, no económica. En Suecia, por ejemplo, tienen ajustes automáticos. Si se vislumbra que el sistema previsional no será sostenible, los recortes a los beneficios se inician de inmediato. Siguen teniendo el problema de qué magnitud tendrán los beneficios, pero no sufren el *shock* de un cambio abrupto. La idea es que la sostenibilidad es algo que uno puede construir mediante reglas automáticas. Es mejor diseñar buenas reglas automáticas que aplicar respuestas periódicas ante las crisis.

¿Considera que la inteligencia artificial puede contribuir a diseñar mejores normas y políticas públicas?

Sí, podremos contar con sistemas previsionales más complejos gracias a la computarización y a las comunicaciones. Permiten distribuir los riesgos de una manera más inteligente. Y en muchos países puede haber una proporción de la población, probablemente la mayoría, que no esté preparada para tomar decisiones arriesgadas. Por lo tanto, se necesita un buen diseño previo. Algo que ha llamado mucho la atención es el sistema por primas de Suecia. La gente reconoce que entrar al sistema por defecto es una manera de participar en un sistema bien diseñado sin tener que dedicarle tiempo a evaluar qué acciones comprar. En consecuencia, en ese sistema por defecto se encuentra el 99% de los que ingresan, en su mayoría, jóvenes. Es por este motivo que el diseño del sistema es muy importante. Uno puede ajustar el sistema con tecnología

EN 1982, PETER DIAMOND, POR ENTONCES UN JOVEN PROFESOR DEL MIT, PUBLICÓ UN ARTÍCULO QUE SERÍA REVOLUCIONARIO Y SE CONOCERÍA COMO "EL MODELO DEL COCO". EL TEXTO MOSTRABA DE MANERA RIGUROSA POR QUÉ LAS PERSONAS SUBIRÍAN A LAS PALMERAS PARA BUSCAR COCOS SOLO SI CREÍAN QUE OTRAS PERSONAS TAMBIÉN IBAN A HACERLO, Y SENTÓ ASÍ LAS BASES PARA EL ANÁLISIS DE PROBLEMAS DE COORDINACIÓN. ERA SOLO EL INICIO DE UNA PROLÍFERA VIDA ACADÉMICA: DIAMOND PUBLICÓ MÁS DE 12 LIBROS Y 150 ARTÍCULOS. AQUÍ UNA MUY BREVE SELECCIÓN:

"AGGREGATE DEMAND MANAGEMENT IN SEARCH EQUILIBRIUM". *JOURNAL OF POLITICAL ECONOMY* 90 (5): 881-894. 1982.

"PAIRWISE CREDIT IN SEARCH EQUILIBRIUM". *QUARTERLY JOURNAL OF ECONOMICS* 105 (2): 285-319. 1990.

"THE FLOW APPROACH TO LABOR MARKETS". *AMERICAN ECONOMIC REVIEW* 82 (2): 354-359. CON O. BLANCHARD. 1992.

de un modo más sofisticado, adaptarlo a los riesgos que los individuos desean asumir. Se puede tener un sistema con varias partes, como en el caso chileno, con un enfoque no lineal respecto de la distribución del ingreso. En la mayoría de los países, el sistema tiene distintos planes, donde uno es lineal y el otro es fijo. Y luego puede haber distintas vinculaciones entre ambos, de modo que se produce una compensación. En los Países Bajos, hay un beneficio fijo para las personas mayores de 65 años. Está establecido por encima de la línea de pobreza, de modo que la pobreza en la vejez es inexistente. Obviamente, es necesario destinar recursos para hacer esto; ellos tienen una parte del impuesto a los ingresos especialmente dedicada a cubrir estas asignaciones. Una vez más, uno necesita algún impuesto que esté vinculado a cierto gasto con el que las personas estén de acuerdo.

¿Qué tipo de acciones coordinadas pueden tomar los países?

Una palabra que todavía no mencioné es "globalización", y la respuesta a la tecnología en distintos contextos internacionales. Por ejemplo, respecto de la recaudación tributaria, necesitamos muchísima coordinación entre los países en materia de impuestos a las corporaciones multinacionales. También necesitamos acabar con los paraísos fiscales, algo que es muy difícil de hacer desde el punto de vista político. Otro gran tema es el de las inversiones extranjeras y las reglamentaciones que las rigen, para no tener los auges y caídas que son tan comunes en América Latina. Lo primero que hay que pensar es que las reglas que gobiernan el comercio de bienes siguen una lógica distinta de aquellas que rigen los mercados de capitales. No es una buena idea que el mercado de capitales tenga que estar igualmente abierto en ambos sentidos. Los países necesitan inversión extranjera directa, pero la necesitan en un entorno de protección del trabajo, de los consumidores, de las jubilaciones y del medioambiente. Aunque, para ser honesto, no sé cómo lograr esto, no soy politólogo. Lo que necesitamos en materia de regulaciones son más regulaciones buenas y menos regulaciones malas. Por lo tanto, más o menos no es la cuestión, sino que tiene más que ver con la calidad que con la cantidad.

Cómo *facilitar* las **negociaciones comerciales**

Welber Barral
Barral M Jorge Consultores Asociados

Gabriel Petrus
Cámara de Comercio Internacional de Brasil

LAS HERRAMIENTAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PUEDEN REVOLUCIONAR LAS REGLAS DE JUEGO EN LA SITUACIÓN ACTUAL DE LAS RELACIONES INTERNACIONALES, A PARTIR DE LA CAPACIDAD PARA REDUCIR LA COMPLEJIDAD DE LAS NEGOCIACIONES COMERCIALES Y AUMENTAR LA TRANSPARENCIA Y EL ACCESO A LA INFORMACIÓN.

En vísperas de la Cuarta Revolución Industrial, cada vez quedan más en evidencia el alcance y la velocidad con que las tecnologías disruptivas están reformulando el modo en que se organizan las instituciones tanto nacionales como globales (Schwab, 2016)[1].

Cabe destacar el ritmo exponencial con el que la fabricación avanzada ha venido incrementando la productividad industrial a lo largo de los últimos años. La robótica y la automatización no solo están tornando más eficiente el mundo material, sino que, en última instancia, por la influencia que ejercen, están modificando la manera de tomar decisiones sensibles en áreas clave de nuestra sociedad y nuestros gobiernos.

Las herramientas de inteligencia aumentada (cuando la inteligencia artificial potencia la inteligencia humana) se construyen sobre la base del aprendizaje profundo y los sistemas cognitivos –aquello que el público en general conoce como inteligencia artificial–, y su uso está ya muy difundido en diferentes sectores e industrias.

Ginni Rometty, directora ejecutiva de IBM, en una columna editorial acerca de la iniciativa sobre comercio y tecnología inteligente, Intelligent Tech & Trade Initiative (ITTI) –un proyecto de investigación[2] lanzado por la ICC Brasil que pretende identificar la aplicación de las herramientas de inteligencia artificial a las negociaciones y transacciones comerciales–, reconoció el enorme potencial de los sistemas de IA en nuestra sociedad: "Predecir el riesgo en los mercados financieros, anticipar el comportamiento de los consumidores, asegurar la seguridad pública, gestionar los flujos de tráfico, optimizar las cadenas globales de valor, personalizar la medicina, tratar enfermedades crónicas y prevenir pandemias" (Rometty, 2017, 15).

Asimismo, hay fronteras inexploradas para el uso de la IA en beneficio del progreso mundial, incluso en el campo del comercio internacional: los mercados abiertos son clave para el crecimiento económico y la prosperidad compartida. La IA no tiene por finalidad reemplazar a los seres humanos ni la voluntad humana, que esencialmente distingue nuestra condición humana de aquella de otros seres vivos (Arendt, 1958).

Uno puede tener ahora otros argumentos, pero la misma distinción aún se aplica a los seres humanos cuando los comparamos con los robots –algo que Hannah Arendt seguramente no predijo en la década de 1950–.

La inteligencia aumentada tiene un potencial enorme para reemplazar decisiones ineficientes o mal enfocadas y arrojar luz sobre procesos de toma de decisiones complejas de modo de volverlos más eficientes y rentables. Es precisamente en este punto en el que vemos una oportunidad muy promisoria para que los gobiernos y las instituciones multilaterales apliquen la IA a las negociaciones, transacciones y operaciones comerciales internacionales.

Además de hacer más eficiente el

comercio, estas herramientas tienen potencial para desempeñar un papel revolucionando las reglas de juego en la situación actual de las relaciones internacionales. En la medida en que disminuya la complejidad de las negociaciones comerciales y aumente la transparencia, será más difícil que las políticas proteccionistas o la retórica antiglobalización encuentren eco al amparo de argumentos económicos erróneos.

Este trabajo explorará más profundamente las potenciales vías alternativas para la aplicación de IA a las negociaciones comerciales.

NEGOCIACIONES COMPLEJAS

El logro de acuerdos comerciales exitosos implica uno de los procesos más trabajosos y prolongados que enfrentan los responsables de políticas de todo el mundo, tanto en los países en desarrollo como en los desarrollados.

Las negociaciones bilaterales y regionales generalmente llevan más tiempo que el que dura un período de gobierno de quienes suelen estar de hecho a cargo de estas. Aquellas tendientes a lograr un acuerdo bilateral entre el MERCOSUR y la Unión Europea, por ejemplo, ya están a punto de superar los 15 años de tratativas interminables.

Incluso en el caso de los países que históricamente han sido los principales promotores de la liberalización comercial, concluir los procesos destinados a sellar acuerdos de libre comercio pocas veces les llevó menos de tres años, contados desde el inicio de las negociaciones hasta la firma del tratado.

Según una investigación llevada a cabo por Caroline Freund y Christine McDaniel (21 de julio, 2016): "En promedio, negociar un TLC con Estados Unidos lleva un año y medio, pero luego se tarda más de tres años y medio para llegar a la etapa de implementación". Si tomamos a EE. UU. como caso de estudio, el trabajo revela que las negociaciones comerciales con países que ostentan participaciones más altas en el comercio son las que demandan más tiempo.

La lógica detrás de estos hallazgos es que una mayor participación en el comercio significa que hay más sectores y más productos involucrados, lo que, en otras palabras, significa que hay más datos desagregados implicados. Como se señaló desde la iniciativa ITTI, esta información incluye los impuestos sobre los productos que están negociándose, la lista de productos, las reglas de origen, el potencial para integrar cadenas de valor, el volumen de las exportaciones e importaciones entre las partes involucradas, los acuerdos comerciales previos y otras estadísticas.

CUADRO 1
DURACIÓN DE LAS RONDAS DEL GATT/OMC

RONDA	INICIADA	CONCLUIDA	PARTICIPANTES	DURACIÓN
GINEBRA	ABRIL DE 1947	OCT. DE 1947	23	6 MESES
ANNECY	ABRIL DE 1949	AGOSTO DE 1949	13	4 MESES
TORQUAY	SEPT. DE 1950	ABRIL DE 1951	38	7 MESES
GINEBRA II	ENERO DE 1955	MAYO DE 1956	26	16 MESES
DILLON	SEPT. DE 1960	JULIO DE 1962	26	22 MESES
KENNEDY	MAYO DE 1964	JUNIO DE 1967	62	37 MESES
TOKYO	SEPT. DE 1973	NOV. DE 1979	102	74 MESES
URUGUAY	SEPT. DE 1986	ABRIL DE 1994	123	91 MESES
DOHA	NOV. DE 2001		153	123 MESES

Fuente: GATT (1980) y OMC (2018).

Además, en otra investigación dirigida por Christoph Moser y Andrew Rose (2012), se modeló empíricamente la duración de las negociaciones comerciales multilaterales y regionales. Con respecto a las negociaciones comerciales regionales, un análisis de series de datos históricos de más de 30 acuerdos comerciales reveló: "[Estas negociaciones] se dilatan más cuando hay más países sentados a la mesa".

Las negociaciones multilaterales tienden a ser mucho más complejas. Moser y Rose (2012) establecieron una comparación interesante sobre la base de la duración de las rondas de liberalización del comercio del GATT/OMC. Según estos autores: "El tiempo transcurrido entre el inicio de las negociaciones y su conclusión aumentó de manera sistemática con la cantidad de participantes".

Por lo tanto, esta investigación señala: "A los 23 miembros de la primera ronda de negociaciones del GATT (Ginebra) les llevó tan solo seis meses cerrar un trato para reducir 45.000 aranceles". Hoy en día, con más de 150 miembros en la OMC, los datos analizados llevan a concluir que la gran cantidad de partes involucradas dificulta enormemente las negociaciones. Por consiguiente, la cantidad de partes interesadas que participan es otro pilar clave sobre el que se mantiene la complejidad de estas negociaciones comerciales.

Otro factor de complejidad señalado por Moser y Rose como una de las causas de que las negociaciones comerciales se tornen interminables es el perfil económico de los países involucrados. Las negociaciones entre países más ricos y más abiertos terminan en menos tiempo que aquellas entre economías más pobres y más cerradas. En consecuencia, podemos suponer que la información asimétrica probablemente sea otra variable clave para que las negociaciones comerciales se dilaten en el tiempo.

45.000
ARANCELES
REDUJERON 23
MIEMBROS DEL GATT
EN 6 MESES

Lo que estos investigadores pusieron de manifiesto es que ciertas variables específicamente determinadas por los datos tienen mucha más influencia sobre la duración de las negociaciones comerciales que las variables determinadas por factores políticos. En consecuencia, las tecnologías de inteligencia aumentada tienen potencial para hacer frente a los obstáculos por los cuales las negociaciones no son tan eficientes como podrían ser.

Otra consecuencia importante de la adopción de aplicaciones de IA para las negociaciones comerciales fue señalada por la iniciativa ITTI: "El acceso a estas tecnologías, tanto para los países desarrollados como para los menos adelantados (PMA), será un punto de inflexión en el modo en que las naciones generen sus políticas comerciales y podría minimizar la influencia de los grupos de interés y de la política a la hora de tomar decisiones comerciales, e impulsar, al mismo tiempo, el comercio internacional en general" (ITTI, 2017).

Para despertar conciencia acerca del potencial y la importancia de la adopción de estas tecnologías, el embajador Álvaro Cedeño sintetizó esto de un modo muy interesante: "El mundo cambió drásticamente, debido, sobre todo, al progreso tecnológico. La aceleración de los microprocesadores y el aumento de la capacidad de almacenamiento de las memorias y de la velocidad de cone-

xión a la internet fueron procesos particularmente extraordinarios que se produjeron durante los últimos diez años, desde la aparición de los teléfonos inteligentes. Sin embargo, la política comercial todavía se sigue negociando de un modo rudimentario y bastante ineficiente (Cedeño Molinari, 2017).

FACILITAR EL INTERCAMBIO

Sobre la base de los modelos de análisis predictivo del aprendizaje automático, la inteligencia aumentada ofrece un instrumento eficiente para responder a las variables de complejidad identificadas en el capítulo anterior y promover así una mayor eficiencia en las negociaciones comerciales.

Asimismo, habrá un acceso mejorado a sistemas de procesamiento de datos más eficientes para todas las partes involucradas y el enfoque de las decisiones clave por parte de los responsables de las negociaciones comerciales estará basado en aspectos técnicos más que políticos. Como señaló la iniciativa ITTI (2017): "La inteligencia aumentada les da un toque humano a los macrodatos. La racionalidad se ve así facilitada y deja más espacio para que las decisiones estén basadas en valores".

En este sentido, Álvaro Cedeño resalta la importancia de la adopción de tecnologías digitales que puedan acelerar la aplicación de simulaciones del comercio internacional y de las negociaciones comerciales: "Esto podría traer aparejados resultados que servirían como evidencia y brindarían parámetros útiles para los responsables de políticas y para la toma de decisiones (...); las simulaciones, eventualmente, podrían llevar a que la institución adopte la inteligencia artificial como un recurso para utilizar datos que ella misma genera y que la ayudarían a visualizar las causas y las consecuencias de la extracción de materias primas, de la producción, la fabricación, el envío, las exportaciones e importaciones, el consumo, y la disposición de los bienes" (Cedeño Molinari, 2017).

Otro componente de las negociaciones comerciales que la IA puede transformar son las llamadas "cuestiones técnicas menores", que, de hecho, tienen potencial para obstaculizarlas y hasta bloquearlas. Un ejemplo sencillo es la determinación de las reglas de origen, un tema arcano que muchas veces dilató dichas negociaciones.

Según Eric Siegel (2016), para la computación cognitiva, ningún detalle es tan menor como para no tenerlo en cuenta. Como resultado, si se utiliza la inteligencia aumentada en las negociaciones comerciales, no se pasará por alto ningún microrriesgo (o microinformación –que puede ser importante para cierta parte del sector económico interesado en un capítulo específico de una negociación comercial–). Esto será de gran ayuda para lograr que las negociaciones sean una tarea más sencilla para quienes toman las decisiones.

Además, otro beneficio que conlleva el uso de aplicaciones de IA es la capacidad de procesar la gran cantidad de acuerdos comerciales existentes y su impacto sobre las negociaciones en curso. Uno de los hallazgos de la iniciativa ITTI es el siguiente: "El análisis automatizado de los datos permite rastrear varios años de decisiones que pueden ayudar a comprender en qué se basan los argumentos de las demás partes. Las negociaciones se pueden acelerar, ya que hay cuestiones objetivas que se pueden resolver gracias a que la información está mejor documentada" (ITTI, 2017, 49).

Finalmente, mientras que la mecanización implicó que los seres humanos tengan que trabajar menos (Chase, 2016), la IA implicará que los negociadores comerciales tendrán más tiempo para centrarse en los aspectos políticos clave de las negociaciones en lugar de hacerlo en los obstáculos impuestos por tecnicismos que muchas veces constituyen el verdadero impedimento para alcanzar acuerdos comerciales efectivos.

En otras palabras, tendrán más tiempo para abordar cuestiones como la relevancia política de un acuerdo para los asuntos internos, o la transición necesaria para un sector industrial sensible, o el impacto estratégico sobre una relación bilateral a largo plazo –todos temas que requieren análisis político, más que una evaluación técnica–.

MEJORAR LAS VENTAJAS COMPETITIVAS

Otro uso potencial para que los países aprovechen las herramientas de IA durante las negociaciones comerciales es permitir que cada uno de ellos explore y expanda sus ventajas competitivas. Según la iniciativa ITTI (2017, 43): "Usar la inteligencia aumentada para tomar decisiones de política comercial podría permitirles a los países expandir sus ventajas competitivas al brindarles mejor información para dicho proceso decisorio".

La iniciativa ITTI corrobora los argumentos esbozados anteriormente en este artículo, en el sentido de que a los funcionarios gubernamentales y a los negociadores les demanda mucho tiempo reunir toda la información necesaria para iniciar y llevar a cabo una negociación comercial. Por lo tanto, no solo reduciría la complejidad de las negociaciones comerciales, sino que también aceleraría la etapa de recopilación de datos y ayudaría a los negociadores a definir la mejor estrategia para llegar a concluir el proceso de negociación.

La iniciativa ITTI también afirma que la IA sería útil para analizar las posibles barreras al comercio e identificar qué polos satisfarían los objetivos de ambas partes de modo de concluir una negociación comercial, con los elementos necesarios para propiciar situaciones donde, en dicha negociación, entablada entre dos polos opuestos, todos ganen.

LOS PASOS A SEGUIR

La iniciativa Intelligent Tech and Trade Initiative (ITTI) es un proyecto de investigación global liderado por ICC Brasil que estudia de qué modo las tecnologías de última generación, como la cadena de bloques o *blockchain* (el registro que da confiabilidad al sistema) y la IA (inteligencia aumentada), podrían impulsar el avance de las negociaciones y de las transacciones comerciales. El objetivo final de la iniciativa ITTI es suscitar el debate entre la comunidad tecnológica, los negociadores comerciales, los líderes de negocios y los académicos en torno del mejor modo de llevar adelante una agenda comercial constructiva. Consciente de las especificidades tanto nacionales como multilaterales, la iniciativa ITTI pretende enfrentar a las fuerzas tendientes a la desglobalización que operan actualmente en el comercio internacional. Esta iniciativa fue lanzada oficialmente por ICC Brasil en octubre de 2017, durante el Foro Público de la OMC realizado en Ginebra, y publicó su primer artículo de discusión en diciembre de ese mismo año durante la Conferencia Ministerial de la OMC en Buenos Aires. Los próximos pasos incluyen el desarrollo de un enfoque global basado en aplicaciones para los negociadores comerciales construidas sobre plataformas de inteligencia artificial.

ADOPCIÓN DE HERRAMIENTAS DE IA

Como sucede con cualquier iniciativa disruptiva, tanto el sector público como el privado deben hacer frente a ciertos desafíos a la hora de adoptar herramientas de IA para las negociaciones comerciales. Creemos que estos desafíos no son tecnológicos –ya que la IA ha sido utilizada para transformar campos mucho más sensibles, como los servicios de salud y de seguridad pública–, sino de gobernanza.

Pueden dividirse en dos dimensiones diferentes: (1) establecer reglas de juego a nivel mundial y (2) establecer una base de datos de comercio mundial para alimentar estas plataformas (y sus algoritmos) con información confiable.

En la actualidad, hay diversas instituciones que gestionan sus propios repositorios de datos de comercio sin interactuar entre sí: UN Comtrade de la ONU, INTRADE de BID, el Banco Mundial, la OMC, la UNCTAD y el Centro de Comercio Internacional, por nombrar solo algunas. Por consiguiente, debería crearse una base de datos integrada y basada en la nube a fin de asegurar que las distintas herramientas de IA construidas y utilizadas por los negociadores comerciales se alimenten con el mismo nivel de información.

La iniciativa Intelligent Tech and Trade sugiere: "Un recurso internacional basado en la nube con información sobre todos los acuerdos internacionales ratificados en todo el mundo podría informar a los negociadores acerca del mejor modo de seguir avanzando en las negociaciones en curso" (ITTI, 2017, 46).

Según Álvaro Cedeño: "Esto requeriría muchísima confianza entre los socios comerciales, una buena cuota de transparencia –para que la información más actualizada sea la base sobre la cual se toman esas decisiones– y marcos regulatorios nacionales e internacionales perfectamente sincronizados –para que el comercio se produzca libre de fricciones–" (ITTI, 2017, 62).

Otro desafío es establecer parámetros para definir qué resultado se considera exitoso o justo en una negociación comercial en particular. Como señalaron desde ITTI (2017, 50): "Lograr uniformidad y consenso respecto de qué parámetros se deben adoptar no será fácil, dadas las distintas interpretaciones que los países hacen de cuáles son los resultados de una negociación comercial que se consideran efectivamente 'buenos', según diversos criterios de política económica".

Al mismo tiempo, hay que asegurar que todos los países –incluso los menos adelantados (PMA)– tengan acceso a esta tecnología para evitar que se produzca una brecha comercial y tecnológica. Como la misma ITTI (2017, 44) argumentó: "Para los PMA, el principal obstáculo será el acceso a estas tecnologías innovadoras, aunque invertir en ellas podría ser altamente beneficioso". La buena noticia es que las soluciones basadas en la nube cada vez son más accesibles comparadas con la infraestructura física tradicional, que es mucho más costosa para los PMA.

Para ser eficaces, estas herramientas tienen que ser adoptadas por un buen número de países participantes de las negociaciones comerciales. El uso difundido de estas herramientas es un aspecto clave de su éxito. Cuantos más datos comerciales se introduzcan en la herramienta, más comparaciones podrá realizar la plataforma y más eficaz resultará para las negociaciones futuras. Este es un aspecto central de lo que se define como proceso de aprendizaje profundo.

Por lo tanto, las instituciones que fijan las normas a nivel mundial, como la OMC –y la ICC–, tienen un papel importante por desempeñar en la difusión de estos mecanismos de modo de explotar su potencial para promover más acuerdos comerciales a nivel bilateral, regional y plurilateral.

MENOR SUBJETIVIDAD

El uso de la IA ya está revolucionando las formulaciones de políticas (Wigglesworth, 31 de enero, 2018) y permitirá que las naciones sean gobernadas por gobiernos inteligentes. Esto ya se está haciendo realidad en algunas áreas clave de gobierno, que están utilizando estas plataformas para aprovechar la capacidad de procesamiento de grandes cantidades de datos sociales y económicos y están configurando modelos mucho más precisos para facilitar las decisiones económicas y políticas.

Este artículo exploró el enorme potencial de estas tecnologías para empoderar los procesos de toma de decisiones a través de las fronteras y entre las distintas partes interesadas, tanto nacionales como internacionales. Por tanto, el impacto sobre el comercio internacional tiene un enorme potencial para generar negociaciones comerciales inteligentes.

Como se mencionó anteriormente, la IA no reemplazará las decisiones políticas, pero las hará más transparentes y les brindará a los negociadores comerciales mayor capacidad para procesar de manera eficiente una cantidad de datos complejos.

En consecuencia, la IA hará que disminuya el nivel de subjetividad en las negociaciones comerciales y neutralice así los argumentos económicos mal orientados que han sido el sustento de la retórica proteccionista.

La IA puede facilitar considerablemente las negociaciones tendientes a alcanzar acuerdos comerciales y ayudar a develar todo el potencial que el comercio entraña para el crecimiento económico. En un momento histórico en el cual la idea de que el comercio es un elemento clave para el crecimiento de la economía aparece debilitada, el uso de tecnologías disruptivas también puede ser una herramienta para evitar que el sistema multilateral de comercio se vea socavado.

NOTAS

[1] Welber Barral es exsecretario de Comercio Exterior de Brasil (2007-2011) y socio gerente de la firma consultora de comercio internacional Barral M Jorge. Gabriel Petrus es director ejecutivo de la Cámara de Comercio Internacional de Brasil (ICC Brasil).

[2] La iniciativa Intelligent Tech and Trade Initiative es un proyecto de investigación global liderado por la ICC Brasil que reúne a líderes de negocios y tecnología con negociadores y académicos para debatir y hallar el modo en que la cadena de bloques o *blockchain* (el registro que da confiabilidad al sistema) y la IA (inteligencia aumentada) podrían tener un impacto positivo sobre el comercio mundial.

BIBLIOGRAFÍA

Arendt, H. 1958. *The Human Condition.* Chicago: University of Chicago Press.

Cedeño Molinari, Á. 2017. "Smart Trade Multilateralism". En: *Intelligent Tech and Trade Initiative. Building ITTI: A Discussion Paper*. San Pablo: Cámara de Comercio Internacional de Brasil.

Chace, C. 2016. *The Economic Singularity: Artificial Intelligence and the Death of Capitalism.* Three Cs. Edición Kindle.

Freund, C. y McDaniel, C. "How Long Does It Take to Conclude a Trade Agreement With the US?". Instituto Peterson de Economía Internacional, Trade & Investment Policy Watch. Washington DC, **21 de julio, 2016**.

GATT. 1980. "Loose-Leaf System for the Schedules of Tariff Concessions: Abbreviations for GATT Legal Instruments". Committee on Tariff Concessions. TAR/W/6. 27 de mayo.

ITTI. 2017. *Intelligent Tech and Trade Initiative. Building ITTI: A Discussion Paper.* San Pablo: Cámara de Comercio Internacional de Brasil.

Moser, C. y Rose, A. K. 2012. "Why Do Trade Negotiations Take So Long?". *Journal of Economic Integration.* 27 (2): 280-290.

OMC. 2018. "Los años del GATT: de La Habana a Marrakech". Consultado: 16 de abril. https://www.wto.org/spanish/thewto_s/whatis_s/tif_s/fact4_s.htm

Rometty, G. 2017. "General Landscape of Technology". En: *Intelligent Tech and Trade Initiative. Building ITTI: A Discussion Paper.* San Pablo: Cámara de Comercio Internacional de Brasil.

Schwab, K. 2016. *The Fourth Industrial Revolution.* Ginebra: Foro Económico Mundial.

Siegel, E. 2016. *Predictive Analytics: The Power to Predict Who Will Click, Buy, Lie, or Die.* Hoboken: Wiley.

Wigglesworth, R. "Can Big Data Revolutionise Policymaking by Governments?". Financial Times. Nueva York, **31 de enero, 2018**.

Dave Donaldson
Instituto Tecnológico de Massachusetts
(MIT)

> “Podemos esperar una **relocalización** de tareas **codificables**”

DAVE DONALDSON INTEGRA UNA LISTA MUY SELECTA. ESTE JOVEN PROFESOR DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MASSACHUSETTS (MIT) GANÓ LA MEDALLA JOHN BATES CLARK DE LA ASOCIACIÓN ESTADOUNIDENSE DE ECONOMÍA AL MEJOR ECONOMISTA MENOR DE 40 AÑOS. PAUL SAMUELSON, MILTON FRIEDMAN, ROBERT SOLOW, JAMES TOBIN, KENNETH ARROW, GARY BECKER, JOSEPH STIGLITZ Y PAUL KRUGMAN, ENTRE OTROS PREMIOS NOBEL, RECIBIERON EL MISMO GALARDÓN EN SUS PRIMEROS AÑOS DE VIDA PROFESIONAL. DONALDSON ES UN ESPECIALISTA EN COMERCIO INTERNACIONAL, Y FUE UNO DE LOS ORADORES DE LA CONFERENCIA *ECONOMICS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE*, QUE REUNIÓ EN TORONTO EN 2017 A GRANDES EXPERTOS INTERNACIONALES PARA REPENSAR EL FUTURO DE LA ECONOMÍA DE LOS ALGORITMOS. EN ESTA ENTREVISTA ANALIZA EL IMPACTO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA) EN LAS POLÍTICAS COMERCIALES.

¿A qué conclusiones llegaron economistas líderes durante el encuentro de Canadá?

Fue una reunión reveladora de los modos en los que la IA está generando adelantos extraordinarios en distintas áreas de la vida; y no tengo dudas de que lo seguirá haciendo. Parece haber una alta probabilidad de que impacte en la vida económica. Demasiado elevada para ignorarla.

¿Cuáles son las implicancias de la IA para la política comercial?

Los países podrían utilizar la política comercial ya sea como una forma específicamente direccionada de intervención interna o para modificar los términos de intercambio, de modo de favorecer a su propio país, lo cual, por naturaleza, termina dañando a los demás países. Pero es probable que ninguna de estas dos sea una buena decisión política. Es mucho mejor atender a las intervenciones internas exclusivamente a través de la política interna, ¿qué país recurre a los aranceles para tratar de que aquellos que dañan el ambiente contaminen menos? Es probable que la mayoría de los países no pueda hacer demasiado para cambiar los precios internacionales y, por lo tanto, sus términos de intercambio, de modo que, cuando algo cambia en la economía, como ocurre con los desarrollos de IA, mi primera reacción es siempre la misma: la política comercial probablemente no debería adaptarse. Una vez más, si uno está pensando en resolver un problema interno, como el aumento de la inequidad en las regiones más rezagadas, se trata de un problema que se puede resolver mejor por medio de políticas internas. Y si uno está en un país relativamente pequeño y cree que puede utilizar la política comercial para contrarrestar los efectos de la IA sobre los precios internacionales, probablemente se esté engañando a sí mismo.

¿Qué tan importante es la geografía para que se produzca un derrame de conocimiento?

La verdad es que no lo sabemos realmente. Nadie lo sabe. Hay alguna evidencia compatible con la existencia de derrames de conocimiento. Pero la evidencia al respecto no es para nada concluyente. Todos sabemos que el conocimiento y la información no se dirigen simplemente a cualquier lugar.

TRAS GRADUARSE DE FÍSICO EN LA UNIVERSIDAD DE OXFORD, DAVE DONALDSON DECIDIÓ CONTINUAR SUS ESTUDIOS EN ECONOMÍA. SE DOCTORÓ EN LA LONDON SCHOOL OF ECONOMICS E INICIÓ UNA PROLÍFERA OBRA ACADÉMICA QUE CUENTA CON PUBLICACIONES EN LAS PRINCIPALES REVISTAS ESPECIALIZADAS. AQUÍ SUS PRINCIPALES ARTÍCULOS:

· "NONPARAMETRIC COUNTERFACTUAL PREDICTIONS IN NEOCLASSICAL MODELS OF INTERNATIONAL TRADE". *AMERICAN ECONOMIC REVIEW*. 107 (3): 633-689. CON R. ADAO Y A. COSTINOT. 2017.

· "THE VIEW FROM ABOVE: APPLICATIONS OF SATELLITE DATA IN ECONOMICS". *JOURNAL OF ECONOMIC PERSPECTIVES*. 30 (4): 171-198. 2016.

· "THE GAINS FROM MARKET INTEGRATION". *ANNUAL REVIEW OF ECONOMICS*. 7: 619-647. 2015.

· "RICARDO'S THEORY OF COMPARATIVE ADVANTAGE: OLD IDEA, NEW EVIDENCE". *AMERICAN ECONOMIC REVIEW: PAPERS AND PROCEEDINGS*. 102 (3): 453-458. CON A. COSTINOT. 2012.

· "WHAT GOODS DO COUNTRIES TRADE? A QUANTITATIVE EXPLORATION OF RICARDO'S IDEAS". *REVIEW OF ECONOMIC STUDIES*. 79 (2): 581-608. CON A. COSTINOT E I. KOMUNJER. 2012.

Si esto fuera así, las personas no serían capaces de procesar todo ese cúmulo. De modo que hay algo que tiene que ver con el proceso de selectividad por el cual el conocimiento deja su fuente y pasa a ser absorbido por el lugar de destino y, obviamente, es posible que ese flujo se torne más costoso con la distancia, pero también sabemos que hoy en día los académicos escribimos artículos y los subimos a internet y ese flujo de conocimiento ya no es local. Tomemos solo un ejemplo del campo de las investigaciones académicas fuera de la economía: Google quería abrir oficinas, centros de especialización en diferentes aspectos de la IA, y quería a determinados investigadores famosos de alto perfil para dirigir esos centros. Y entonces se planteaba la cuestión de dónde establecer esas oficinas y, aparentemente, estos investigadores de alto perfil no querían mudarse, entonces Google simplemente construyó sus centros alrededor de ellos. La empresa ahora tiene un centro en Londres, Inglaterra, y otro en Edmonton, Canadá –dos localizaciones que no están precisamente cerca de la sede central de Google en Mountain View, California–. Este ejemplo nos indica que Google no está preocupado por el costo de transmitir los derrames de conocimiento a lo largo de vastas distancias para que se produzcan dentro la empresa. Saben que el conocimiento fluirá y entonces ya no interesa qué tan alejada se encuentre la fuente del lugar de destino.

¿En qué consiste el efecto mercado interno de economía y cómo aplica en este caso?

Para evitar cualquier confusión, el efecto mercado interno es un concepto fundamental de la teoría de comercio, que no tiene particularmente nada que ver con los flujos de conocimiento. Pero a mí me parece que es un concepto útil para reflexionar acerca de las cuestiones relacionadas con las tecnologías, como la IA. Según los modelos clásicos de las economías abiertas, un país que tiene mucha demanda interna de un producto, si el comercio es costoso, producirá una mayor cantidad de dicho producto: si los consumidores locales lo demandan, los productores lo fabricarán. Pero a medida que el país produce mayores cantidades de este bien, empujará sus costos de producción al alza: los productores tendrán que pagar más a los trabajadores, utilizar más capital, más tierra y, eventualmente, a medida que traten de producir mayores cantidades de este bien para satisfacer a los consumidores locales que lo demandan, el país será cada vez menos eficiente en su producción del bien. Esto también significa que tendrá cada vez menos éxito para vender el producto en el exterior. No obstante, si uno cree que vive en un mundo con rendimientos crecientes a escala muy fuertes desde el punto de vista geográfico local, donde las industrias aprenden unas de otras a través de procesos como los derrames de conocimiento, entonces lo que ocurre es todo lo contrario de lo que acabo de describir. En ese caso, una gran demanda le permitiría al país funcionar a gran escala internamente. Y se volvería más eficiente porque está produciendo a mayor escala gracias a la base que le proporciona su demanda interna. Esencialmente, el efecto mercado interno se produce cuando una gran base de demanda interna nos ayuda a convertirnos en un país exportador exitoso, en contraposición al caso opuesto, cuando lo que sucede es que obstaculiza el éxito exportador.

MAYOR DEMANDA AYUDA A SER MÁS EFICIENTE Y EXPORTAR MÁS

Volviendo a la inteligencia artificial y en relación con este comentario, ¿cree que la IA ayudará a volvernos más eficientes?

No lo sabemos aún. Es como preguntarle a la inteligencia artificial si va a tener éxito para predecir las condiciones climáticas. Los que saben esa respuesta son los informáticos, los meteorólogos y los estadísticos. A modo de ejemplo, pensemos en la gestión de la cadena de valor, que percibo como un problema puramente computacional. No es economía, es estrictamente un problema de optimización, un problema que algunos dicen que la IA resolverá de un modo más fácil y, por lo tanto, más eficiente. Me interesa más saber qué efecto tendrá esta mejora de la eficiencia productiva sobre la economía en general. ¿Quizás signifique que las empresas son especialmente mejores para dedicarse a formas de producción económica más complejas que implican varios pasos desde el punto de vista geográfico y que involucran a muchas unidades geográficas? Otro interrogante es el impacto que esto tendrá sobre la forma en que se organiza el comercio. Las dos incógnitas que tenemos por delante son qué efectos tendrá la IA en la gestión de la cadena de valor y qué efectos tiene la gestión de la cadena de valor sobre la economía, tanto en la economía interna como en el comercio.

¿Pueden las nuevas tecnologías contribuir a diversificar las exportaciones de países emergentes, por ejemplo, de servicios basados en conocimiento?

Un modelo simple para reflexionar sobre el modo en el que la IA está afectando a la economía y a la produc-

ción es imaginarse que hay una tarea por hacer y dos formas de hacerla. Una forma es pedirle a un ser humano que la haga y la otra es pedírselo a una computadora. Mi modo de ver el comercio de servicios es como un comercio de tareas. En general, no estamos hablando del comercio de bienes terminados, sino del intercambio de algunas de las tareas relacionadas con la producción, algunos de los pasos involucrados. Por supuesto que cualquiera de las tareas también puede ser un bien terminado, el bien final que compran los consumidores. Cuando me corto el cabello, se trata de un servicio que también es un bien final. Pero si uno piensa en el comercio de servicios como un comercio de tareas y piensa en una empresa que fabrica bienes, entonces, es como si hubiese tres formas de abordar la producción de la empresa. Una es recurrir a un ser humano del mismo país, otra es recurrir a un ser humano que vive en otro país y la tercera es utilizar una computadora que se encuentra en una nube o en algún lugar. Por eso, según mi modo de ver el comercio de servicios, la tecnología de encontrar a un ser humano en el mercado interno siempre estuvo disponible. No ocurre lo mismo con la tecnología de encontrar a un ser humano extranjero que haga esa tarea por nosotros. Todavía no sabemos hacer eso, por ejemplo, en el caso del corte de cabello, pero sí sabemos hacerlo con los servicios de un radiólogo. Hace unos 20 o 30 años se tornó rentable que un extranjero hiciera esas tareas, y mi interpretación es que esto fue debido a un gran avance en la capacidad de codificar las tareas y enviar comunicaciones a través de vastas distancias. Tengo la impresión de que algunas de las características que hacen que ciertas tareas sean fáciles de codificar y de explicar a un extranjero, y de recibir posteriormente de los extranjeros, son las mismas características que harán que dichas tareas sean fáciles de codificar y explicar, pero no a otra persona sino a una computadora.

> ES MUY FACTIBLE QUE VEAMOS UN DESVÍO DE COMERCIO

¿Esto significa que puede haber un desvío de comercio en estos rubros? ¿Una relocalización?

Sí, totalmente. Quizás esté equivocado. Quizás haya muchos ejemplos de tareas que son extremadamente difíciles para las computadoras todavía y que sería mucho más fácil pedírselas a alguien que se encuentre en otro país. Pero los ejemplos que se me ocurren son los de aquellas tareas respecto de las cuales uno no tendría ninguna esperanza de lograr comunicárselas a una computadora si uno no hubiese podido antes comunicárselas a otro ser humano. Es como si todas aquellas tareas para las cuales hemos logrado descifrar el modo de comunicárselas a otra persona por internet fuesen exactamente todas las mismas tareas que serían fáciles de comunicar a una computadora. Si todo esto fuese así, obviamente, esto querría decir que la IA sería un sustituto para todo tipo de comercio de servicios externalizado. Ahora bien, este es solo un ejemplo, y estoy seguro de que podemos pensar en muchas tareas en las que esto puede funcionar del modo inverso.

¿Cree que los acuerdos comerciales deberían incluir algún tipo de regulación sobre la inteligencia artificial, quizás para promover el comercio de servicios?

Los acuerdos comerciales no solo tienen que ver con los aranceles, sino que también involucran a las reglamentaciones. Muchas normas y reglamentaciones actúan como protección y, como señalé anteriormente, en la mayor parte de los escenarios, la protección no me parece una buena idea. Con respecto a cuestiones no arancelarias, mi percepción es que muchos acuerdos comerciales se limitan a intentar reducir los obstáculos no arancelarios al comercio para que el mundo pueda comerciar más. Eso es bueno y, en promedio, tendría que beneficiar a la población en general de modos muy concretos. Encontrar formas de reducir las barreras no arancelarias para que los países puedan comerciar más servicios sería, en términos generales, algo muy positivo.

¿Hay algún equilibrio entre la privacidad como derecho versus los datos como impulsores de la innovación? ¿Cómo alcanzarlo?

Mi modo de verlo es que, en la mayoría de los casos, los consumidores firman un acuerdo con la plataforma digital antes de usarla, y el uso de datos es parte del acuerdo que firman cuando están haciendo negocios con una empresa. Y no creo que haya nada de malo en ello. Lo que quiero decir es que quizás tengamos que educar

> LA PROBABILIDAD DE QUE LA IA IMPACTE EN LA VIDA ECONÓMICA ES MUY ELEVADA PARA IGNORARLA

mejor a los consumidores y hacerles entender lo que están haciendo cuando firman acuerdos como estos. Como en el caso de la industria del financiamiento al consumo, que creemos que es de gran ayuda. Los consumidores firman acuerdos para obtener tarjetas de crédito muy costosas con las empresas que las proveen, y esos son acuerdos que quizás el consumidor no hubiese firmado si hubiese estado mejor informado, y esta ha sido la motivación subyacente en todas las iniciativas relacionadas con la protección financiera del consumidor. Por eso, en términos de utilización de los datos, veo una analogía. Quizás haga falta un poco más de educación. Pero mi pronóstico es que eso no va a cambiar el comportamiento de la mayoría de los consumidores. Creo que la mayoría no se preocupa demasiado por los aspectos relacionados con la privacidad. Sin embargo, un tema aparte es la filtración de información privada. No sé demasiado acerca de la magnitud de esto, pero mi intuición es que está ocurriendo con una frecuencia increíble. Por eso, quizás también necesitemos castigos más severos para los que permiten que se produzcan las filtraciones, al igual que hacemos en materia de contaminación ambiental, por ejemplo.

EL ABC DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

QUÉ ES

INTELIGENCIA AUMENTADA
La Inteligencia Artificial es una tecnología que permite a las máquinas hacer tareas como si fueran hechas por personas. Cuando se potencia con la inteligencia humana se conoce como inteligencia aumentada.

DILUVIO DE DATOS
Los algoritmos, conjuntos ordenados de operaciones que solucionan un problema, son la materia prima de la IA como nuevo factor de producción.

CAJAS NEGRAS
El autoaprendizaje y la creación automática de nuevos algoritmos en capas superpuestas generan resultados con lógicas difíciles de rastrear.

CÓMO LO HACE

MACHINE LEARNING
La máquina se libera del programador y aprende reglas por sí misma a partir de la experiencia (inducción). En *Deep Learning* (aprendizaje profundo) es capaz también de tomar decisiones.

RECONOCIMIENTO DE PATRONES
Las herramientas de IA permiten reconocer imágenes, voz y emociones. Sus aplicaciones son múltiples y van desde la traducción en tiempo real hasta la economía del cuidado. Cuando interactúan entre sí forman redes neuronales.

SISTEMAS AUTÓNOMOS
Son dispositivos que incorporan internet de las cosas (IoT) y *big data*. Permite la manipulación de objetos y la toma de decisiones en espacios reducidos. En esta tecnología se basan los autos sin conductor.

ROBÓTICA
Los robots son la forma más avanzada de IA. Pueden desempeñarse hoy en el comercio, la industria y los servicios, desempeñando tareas complejas que hasta hace poco solo hacían las personas.

DÓNDE NOS AFECTA

SALUD
Existen robots que realizan cirugías, y método de diagnóstico a partir de análisis de imágenes, como el que utiliza IBM con Watson.

EDUCACIÓN
La IA permite personalizar la enseñanza, y adaptar los métodos educativos según el desempeño de cada alumno.

ECONOMÍA
Algoritmos que realizan transacciones financieras, *marketing* digital, logística con drones y autos autónomos. La IA está cambiando cada aspecto de nuestra vida económica.

QUÉ DESAFÍOS PLANTEA

EMPLEO
Cómo enfrentar el riesgo de automatización del empleo y preparar a las futuras generaciones para el mercado laboral del mañana.

TRANSPARENCIA
El uso de algoritmos plantea la necesidad de acceso a información y a fórmulas donde se toman decisiones que pueden ser sesgadas.

CIBERSEGURIDAD
El respeto a la privacidad y la prevención contra la piratería son dos de los ejes a fortalecer para que la economía digital funcione.

GOBERNANZA
Una institucionalidad de reglas claras y valores éticos que garantice una evolución positiva de la incorporación de IA a la vida en sociedad.

Transformando los servicios globales

Avinash Vashistha y Ankita Vashistha
Tholons Inc.

CUÁL SERÁ EL IMPACTO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LOS SERVICIOS GLOBALES. SE ANALIZAN CASOS COMO LA MERCADOTÉCNICA, LOS SERVICIOS SOCIALES Y JURÍDICOS, LA CIBERSEGURIDAD, EL COMERCIO, ENTRE OTROS CASOS DONDE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS ESTÁN GENERANDO DISRUPCIONES. LAS FIRMAS MÁS INNOVADORAS Y LOS *STARTUPS* CON MAYOR POTENCIAL EN CADA RUBRO.

A lo largo de dos décadas de globalización de los servicios, las oportunidades transformaron a muchas naciones. La India, Filipinas, Europa del Este y América Latina lideraron el cambio y trazaron la historia de esta industria. Hoy en día, la globalización de los servicios suma más de US$ 183.000 millones en todo el mundo. Las fuerzas digitales sacudieron el núcleo de la industria de la tercerización y la alteraron profundamente. La robótica, la inteligencia artificial (IA), las redes sociales, los dispositivos móviles, los macrodatos, la cadena de valor digital, la confianza digital, el *software* como servicio y la nube seguirán transformando los negocios y creando oportunidades de crecimiento para los mercados. Hay enormes posibilidades para que el gasto en tecnología crezca de US$ 2,4 billones a US$ 3,8 billones, dada la transición acelerada de los negocios tradicionales a los digitales. A nivel de la empresa, la innovación digital se puede lograr sobre la base de los "cinco pilares" de las estrategias innovadoras. Los países emergentes que no cargan con un legado, ni están sujetos a grandes esfuerzos y costos transformacionales, deberían sentirse ansiosos por despertar a los albores de la seguridad, la oportunidad y la innovación. El futuro del trabajo es el trabajo colaborativo; el futuro de la innovación es la coinnovación; y el futuro de la inversión es la coinversión. Estos tres elementos de cooperación son centrales en las nuevas modalidades en que las empresas trabajarán, innovarán e invertirán en lo digital y en el futuro de la globalización de los servicios. Una buena base sobre la que podrían apoyarse los países es implementar el ecosistema de "innovación abierta" para reunir estos elementos, de modo que también sea más fácil la colaboración entre quienes lideran el crecimiento, como la India y América Latina.

CENTROS DE EXCELENCIA

La industria de los servicios globales existe desde hace más de dos décadas. Sus orígenes se remontan a principios de la década de 1990. Países como Irlanda, Filipinas, la India, Vietnam, Brasil y República Checa fueron los primeros destinos a los cuales se dirigieron las tecnologías de la información (TI) y los procesos de negocios extraterritoriales u *offshore*. Desde el principio, estos países emergieron como centros de excelencia. Irlanda fue pionera tanto en las TI como en la gestión de procesos de negocio (BPM, por sus siglas en inglés). Filipinas surgió como centro de excelencia para los servicios de atención al cliente; la India, para el apoyo y mantenimiento de aplicaciones; Vietnam, para la ingeniería de telecomunicaciones; República Checa, para la gestión de procesos de negocio –donde la privacidad de los datos era muy importan-

170.000 MILLONES
SE ESPERA ALCANCE EL MERCADO DE CIBERSEGURIDAD

te para los clientes europeos–; y Brasil, para los clientes latinoamericanos.

Esta industria creció considerablemente a lo largo las últimas dos décadas y actualmente es uno de los sectores más grandes en términos de PIB, empleo e ingresos por exportaciones para muchos países. El procesamiento de datos evolucionó hacia la gestión de procesos de negocio, servicios basados en conocimientos y comercio electrónico.

TAMAÑO DE LA INDUSTRIA Y OPORTUNIDADES

La industria mundial de TI-BPM asciende actualmente a US$ 183.000 millones, y la India y Filipinas son los dos principales destinos de tercerización. Los mercados que las siguen en importancia son Estados Unidos y Reino Unido. Los siguientes datos resumen el tamaño del mercado mundial y las oportunidades: el aprovisionamiento global fue de US$ 183.000 millones en 2015 (crecimiento de 8,9%)[1] y el gasto mundial en TI-BPM fue de US$ 1,25 billones en 2015 (crecimiento de 0,4%).[2]

Los avances tecnológicos automatizan cada vez más los procesos de negocio, al tiempo que reducen los beneficios en proporción a los costos que se obtienen producto de la tercerización, gracias al aprovechamiento del bajo costo de la infraestructura y el talento.

Si bien la disrupción digital sigue siendo la principal fuerza motriz de la industria de TI-BPM, otros mercados verticales, como los de la salud, las finanzas y la contabilidad, los medios de comunicación y los servicios gubernamentales, también surgieron como impulsores clave de su crecimiento.

A pesar de las perturbaciones y preocupaciones acerca del futuro de la tercerización de los servicios de TI-BPM, en el corto plazo, sigue habiendo oportunidades de crecimiento muy importantes. La mayor conectividad entre los mercados que tercerizan y sus proveedores –producto tanto de la proliferación de las TI como de la reducción de las barreras económicas– ha provocado una enorme disrupción y ha dado lugar a un gran potencial para el crecimiento y el aumento de la eficiencia. A lo largo de los próximos años, los países que mejor puedan aprovechar esto estarán en condiciones de tomar la infraestructura generada por el auge de los servicios de BPM y explotarla en su propio beneficio en el futuro.

PRINCIPALES DESTINOS DE TERCERIZACIÓN[3]

Una amplia base de talentos con competencias digitales así como la eficiencia de la mano de obra en términos de costos siguen siendo los motivos más importantes para tercerizar. No obstante, hay otros factores cruciales que marcan diferencias entre los competidores. La razón por la cual el desempeño de Filipinas es mejor que el de América Latina, a pesar de su tamaño relativo, al igual que la razón por la que la India sigue manteniendo un liderazgo tan fuerte, es el dominio del idioma inglés. La importancia del inglés tendría que haber disminuido con la disrupción digital; sin embargo, los resultados muestran lo contrario.

La India sigue siendo el principal destino de tercerización, ya que recibe el 60% de los gastos mundiales en este concepto, seguida por Filipinas, América Latina, China y otros. Su amplia base de talentos con competencias digitales y la efectividad en términos de costos siguen siendo el factor clave para dicha tercerización. No obstante, las habilidades creativas, digitales e innovadoras definirán el futuro de los trabajos y los ingresos de la industria. Ahora es el momento oportuno para que países como la India y los de América Latina colaboren y coinnoven, a fin de generar soluciones novedosas para la industria.

TENDENCIAS QUE LE DAN FORMA A LA INDUSTRIA ACTUAL

El surgimiento de la tecnología digital tuvo un impacto significativo en las empresas al generarles la necesidad de adoptar la transformación digital. Los principales proveedores de servicios de TI/BPO están viendo un crecimiento sin precedentes de sus carteras digitales que, en muchos casos, supera por 3 o 5 veces la tasa de crecimiento promedio de la empresa. Dichas empresas deberían capacitarse y potenciar el desarrollo de sus negocios y su capacidad de prestación en los siguientes sectores:

Automatización, robótica, IA, computación cognitiva y reinvención de la fuerza de trabajo. El lugar de trabajo ha cambiado. Cada vez se automatizan más tareas y asistimos al surgimiento de una fuerza de trabajo robotizada. Las empresas que reinventen su fuerza de trabajo y combinen de manera efectiva a los humanos con la tecnología, como socios, se afianzarán en una posición competitiva en los años venideros. La computación cognitiva y la IA son fuerzas multiplicadoras del modelo de generación de valor para el consumidor. Para explotar al máximo el potencial que ofrece el trabajo conjunto de los seres humanos con la tecnología, las empresas necesitan reforzar la capacitación y lograr que sus trabajadores desarrollen las competencias necesarias para complementar las capacidades de las máquinas.

Diseño de la interfaz de usuario (IU). A lo largo de los últimos años, la mayor parte de nuestras actividades diarias pasó a producirse en pantallas de computadoras y teléfonos móviles. Dado que la mayoría de los negocios tienen presencia en internet y la fuerza de trabajo se está transformando en una combinación de seres humanos y robots, se espera que el potencial de crecimiento de la industria del diseño de la IU alcance los US$ 5.579 millo-

CUADRO 1
LOS CINCO PILARES DE LA INNOVACIÓN DIGITAL

CLIENTE	CARTERA DE LA *STARTUP*	ESTRATEGIAS / MENTORES	SOCIO DIGITAL	FINANCIAMIENTO
Masa crítica de proveedores de servicios y corporaciones con conexiones a nivel de responsables de la experiencia del cliente	La masa crítica de *startups* B2B de alta calidad ayudará a desarrollar soluciones y permitirá la transformación digital	Brindarán estrategias y consultoría para las *startups* y los clientes a fin de alinear las soluciones y la transformación digital	Socio digital/ integración de sistemas para implementar, escalar y mantener soluciones para clientes grandes	Sociedad estratégica e inversión en empresas innovadoras

Fuente: Tholons Research 2017.

nes en 2019 (Transparency Market Research, 2016).

Confianza digital, resiliencia de la arquitectura y ciberseguridad. Los debates acerca de la seguridad informática constituyen ahora una responsabilidad mucho más amplia. La tecnología actual necesita proteger la privacidad, brindar beneficios a cambio del uso de los datos y perfiles personales y demostrar responsabilidad. Una sólida confiabilidad digital ayudará a que las marcas capten y fidelicen a sus clientes, ofrezcan nuevos productos y servicios y logren un buen posicionamiento en cadenas de valor de bienes y servicios más amplias. Las defensas tradicionales, como los antivirus y los cortafuegos de red, no han logrado detener los constantes ataques. La ciberseguridad y el manejo del riesgo empresarial representan actualmente una amplia agenda en sí misma. Se espera que el mercado de la ciberseguridad crezca hasta alcanzar los US$ 170.000 millones en 2020 (MarketsandMarkets, 2016a).

Macrodatos (*big data*). Son el nuevo petróleo. Constituyen la materia prima de la economía digital. El gran volumen, velocidad y variedad de datos de los sitios web de una empresa, de sus redes sociales, sensores, etcétera, se han convertido en una herramienta para que los negocios puedan comprender las necesidades y el comportamiento de los consumidores. Las empresas buscan continuamente datos acerca de sus productos, soluciones, clientes y empleados que los puedan poner en ventaja respecto de sus competidores. El análisis de los macrodatos puede permitir eliminar ineficiencias importantes que afectan a los procesos. Para el ejercicio fiscal 2015, la analítica de datos registró el crecimiento más alto del gasto mundial en el sector de BPM y se espera que el mercado de macrodatos crezca de US$ 28.650 millones en 2016 a US$ 66.790 millones para 2021 (MarketsandMarkets, 2016b).

Cadena de valor de los datos. El ecosistema de datos de las empresas se ha vuelto complejo y compartimentado. Esto hace que sea más difícil acceder a los datos a lo largo del proceso, lo cual, a su vez, limita el valor que las organizaciones pueden obtener de estos. El desafío que enfrentamos es vincular y abastecer eficientemente esta cadena de valor. Se ha trabajado mucho y se han realizado innovaciones en ambos extremos de la cadena de valor de los datos. El almacenamiento, alguna vez considerado un factor prohibitivo, se resolvió en gran medida gracias a soluciones como Amazon AWS. Asimismo, muchas empresas están creando algoritmos y soluciones de cómputos cognitivos centrados en la inteligencia empresarial (IE) y en la IA, que aprovechan los macrodatos para orientar sus actividades de mercadotecnia.

Dispositivos móviles/aplicaciones. Ya hay un uso muy extendido de los dispositivos inteligentes. Los abonos de telefonía móvil crecen alrededor de un 3% por año en el mundo y ya alcanzan los 7.500 millones, mientras que las suscripciones a internet ya llegaron a los 5.100 millones (Ericsson, 2016). En todas las industrias, los dispositivos se están volviendo móviles, como los dispositivos médicos que utilizan los pacientes ahora y aquellos que se utilizan en las plantas de producción. Esto trajo aparejada la necesidad de desarrollar aplicaciones especialmente diseñadas para cada función. Los trabajadores independientes y las pymes se encuentran en condiciones de desarrollar negocios en el campo de las aplicaciones móviles y el análisis de estas.

Mercadotecnia digital. Con el crecimiento exponencial de los dispositivos móviles y la penetración de internet en los últimos años, la mercadotecnia digital se ha convertido en la herramienta más poderosa para captar eficazmente una base de clientes más amplia. Las herramientas digitales les permiten a las empresas observar y analizar el comportamiento de los consumidores frente a cualquier campaña de mercadotecnia, de modo de incrementar su alcance y su grado de éxito.

Gestión de contenidos. Los contenidos digitales tienen que estar disponibles automáticamente, en tiempo real y a alta velocidad. Ya sea que se trate de textos, imágenes, catálogos, audios, videos o contenidos interactivos, existe la posibilidad de utilizar plataformas para configurar y entregar estos productos a los clientes.

Internet de las cosas (IoT)/dispositivos integrados. La IoT está creciendo y se ha convertido en una herramienta importante, tanto para las empresas como para la vida personal. Cada vez hay mayor disponibilidad de internet de banda ancha y los costos de conectividad han caído significativamente. Hay un incremento vertiginoso de la cantidad de dispositivos que se conectan a internet para controlar operaciones y ejecutar tareas. Estos se pueden incorporar en las plantas de producción dentro de las máquinas, en minas peligrosas, en plataformas petrolíferas submarinas, en autos de carrera y en sistemas de control y vigilancia. El conocimiento de estos dispositivos y del proceso industrial específico y la capacidad de desarrollar *software* integrado conformarán un nicho de especialización clave. Estas competencias y habilidades son escasas, incluso en lugares como EE. UU., el Reino Unido, Europa, Japón y otros destinos de tercerización, como Filipinas, Europa del Este, China y la India. Según Bauer, Patel y Veira (2014), la base instalada de dispositivos que pertenecen al mundo de la IoT crecerá de 10.000 millones de dispositivos conectados hoy a 30.000 millones de dispositivos en 2020 –un crecimiento que prevé la incorporación de 3.000 millones de dispositivos nuevos por año–.

5.100 MILLONES
DE SUSCRIPTORES
TIENE INTERNET

LOS CINCO PILARES DE LA INNOVACIÓN DIGITAL

Las empresas se ven desafiadas a integrar las innovaciones y la tecnología digital en sus operaciones. No se trata simplemente del aprovisionamiento global y la tercerización de la informática y los procesos empresariales. La innovación tiene que ser un elemento clave del modo de funcionamiento de las empresas en el futuro. Estas necesitan colaborar con socios del campo de la tecnología y con *startups* que les permitan lograr soluciones innovadoras. El futuro de la innovación es la coinnovación. La estrategia innovadora de Tholons para las empresas se basa en cinco pilares. Estos hacen que los clientes, los socios encargados de clientes, la red de nuevas empresas globales/centros de innovación, los mentores, las inversiones y los desarrolladores de plataformas digitales converjan para acelerar el desarrollo de soluciones empresariales (cuadro 1).

Conexión con los clientes. Les permite a las empresas nuevas no solamente acceder a más oportunidades para comercializar sus productos, sino también lograr un compromiso y una retroalimentación invalorables de los clientes más importantes en las industrias a las que apuntan.

Red de *startups*. La red de nuevas empresas globales permite que las mejores empresas emergentes o *startups* se conecten y colaboren entre sí. Asimismo, las conexiones con otros aceleradores de negocios les proporcionan más ámbitos en los cuales proseguir el desarrollo de sus actividades y obtener financiamiento.

Mentores/socios. Son una pieza clave para cerrar la brecha existente entre las grandes empresas que son clientes y las empresas nuevas.

Integradores de sistemas/desarrolladores de plataformas digitales. Son cruciales para el proceso de integración de una solución proveniente de muchas *startups* con el fin de aplicarla luego en una empresa más grande y, potencialmente, en todo el mundo.

Financiamiento. Las empresas nuevas exitosas necesitan fondos para alimentar su crecimiento. En la era actual, los clientes, los socios del área de las tecnologías y los fondos de capital de riesgo coinvierten juntos.

SERVICIOS RELACIONADOS CON LOS CONOCIMIENTOS

Los servicios relacionados con los conocimientos (SRC) son programas que brindan resultados organizacionales (asesoramiento, respuestas, facilitación) sobre la base de contenidos (datos, información, conocimiento) para poder satisfacer las necesidades de los clientes. Hay cuatro tipos de SRC: generar contenidos, desarrollar productos, prestar asistencia y compartir soluciones.

Transformación de los SRC

La automatización, la robótica, la analítica de datos y la IA están reformulando los procesos empresariales actuales. La automatización inteligente les está permitiendo a las empresas ahorrar tiempo y recursos e incrementar su eficiencia. Así como la automatización inteligente de las tareas auxiliares evolucionó hacia una asistencia virtual directamente al cliente, la IA será la imagen digital de las marcas (figura 1, ver anexo).

Servicios financieros y contables (FyC)

La automatización robótica de procesos (RPA) transformó la industria de los servicios FyC. Constituye un segmento de tercerización muy amplio y ya se está automatizando por el uso de robots de *software* que reemplazan a los trabajadores humanos. Este proceso de RPA está liderado por empresas como BluePrism, UI Path y Automate Anywhere.

Salud: gestión del ciclo ingresos

La informática médica y los sistemas de historias clínicas electrónicas (HCE) permitieron lograr estrategias de gestión del ciclo de ingresos de la salud más racionalizadas y precisas. Muchas organizaciones utilizan esta tecnología para rastrear solicitudes a lo largo de todo su ciclo de vida, recaudar los pagos y tratar las solicitudes denegadas.

Servicios jurídicos

La IA se está integrando cada vez más velozmente al mercado de los servicios jurídicos. Los robots ya deciden qué párrafos incluir en ciertos contratos y ayudan a los abogados tradicionales, que tratan de mantener el viejo orden. El *software* evolucionó hacia procesos más inteligentes de búsqueda y hallazgos, contratos, análisis, etcétera. Hoy en día, hay numerosas plataformas de IA para crear documentos legales. El *software* inteligente actualmente lee, interpreta y extrae información específica de los documentos y la convierte en el resultado estructurado que se desee en apenas una fracción de tiempo.

Algunas de las empresas de auditoría más grandes del mundo, como KPMG, alimentan el sistema Watson de IBM para obtener una asistencia integral inigualable que apoya a sus equipos de auditoría. Los análisis predictivos permiten automatizar la recopilación de evidencias y producir informes de datos complejos, lo cual ahorra tiempo y mejora los servicios al cliente. Esta capacidad muy pronto será ampliamente superior a la que pueden lograr los auditores más experimentados.

Computación cognitiva y gestión de relaciones

Los *bots* y la IA de *marketing* digital son simplemente *scripts* integrados en la interfaz de cada aplicación. Interpretan rápidamente el texto que introduce el usuario y le devuelven una respuesta prediseñada y precargada por el desarrollador. Los *bots* y la IA cumplen funciones típicas de servicios al cliente, responden preguntas y redireccionan a los usuarios información y recursos útiles. Actualmente, también se los utiliza para participar e, incluso, iniciar negociaciones de ventas. La plataforma más grande que existe para la implementación de *bots* e IA dedicados a las ventas es la aplicación de mensajería Facebook Messenger, que anunció el lanzamiento, en abril de 2016, de un ecosistema de desarrollo de *bots* de ventas para los anunciantes.

Otro buen ejemplo es Amelia, de IPsoft –un agente virtual que funciona como operador de un *callcenter*–. Amelia se puede desplegar directamente desde la nube en una fracción de tiempo. La IA aprende a medida que funciona y brinda respuestas de alta calidad en distintos idiomas. El nuevo desarrollo de Amelia mejoró su memoria, su comprensión contextual y su receptividad emocional. Este proyecto está muy cerca de pasar la prueba de Turing.

Mercadotecnia digital

La IA en la mercadotecnia digital ya empezó a hacer más fácil la vida cotidiana de los usuarios y de los comerciantes. Desde la producción de textos hasta la visualización de análisis de los negocios, la combinación de los macrodatos con el aprendizaje de las máquinas y la IA está dando lugar a experiencias diarias cada vez más inteligentes y más fluidas. La mercadotecnia moderna y la digital están caracterizadas por un uso veloz de los datos de los consumidores. Las tecnologías de IA son superiores a los humanos cuando se trata de procesar y comprender conjuntos de datos muy vastos, y de producir análisis de datos sustentados por la evidencia. El producto de la IA será la automatización.

Analítica de datos

La analítica de datos y su interpretación ayudan a los procesos empresariales al permitir comprender profundamente el comportamiento de los consumidores, las tendencias del mercado, el manejo de los riesgos, la toma de decisiones, la productividad creciente y la gestión del flujo de trabajo. En el ámbito de la salud, Watson de IBM permite dedicar menos tiempo a buscar en la literatura y en las historias clínicas electrónicas y más tiempo al cuidado de los pacientes. Watson les proporciona a los médicos opciones de

tratamiento basadas en la evidencia, a partir de un entrenamiento experto por parte de los médicos del centro Memorial Sloan Kettering (MSK) para el tratamiento del cáncer.

Investigaciones de mercado/negocios

Los macrodatos, la analítica social y la minería de texto son nuevas formas de llevar a cabo investigaciones de mercado. Las investigaciones pueden ahora adaptarse fácilmente a la escala internacional, y trabajar con texto e imágenes se ha vuelto cada vez más sencillo. Los dispositivos y las herramientas para recopilar datos han acelerado la velocidad de creación de estos. Con la captura de datos en tiempo real, se ha tornado más fácil lograr una interpretación más valiosa de dicha información. Los macrodatos entrañan una oportunidad enorme para que los investigadores puedan comprender cabalmente conjuntos de datos inmensos.

LOS SERVICIOS EN EL COMERCIO ELECTRÓNICO

Las empresas de comercio electrónico están destinando grandes cantidades de dinero a mejorar la experiencia de comprar en línea para, así, incrementar las ventas. Ciertas tecnologías, como los portales de pagos digitales, las de catalogación, las de realidad aumentada y virtual, el amplio uso de la analítica de datos para la interpretación del consumo y de las ventas han cambiado, o se disponen a cambiar, la imagen del comercio electrónico. En este tipo de comercio, los servicios están en constante crecimiento.

Transformación de los servicios del comercio electrónico

Catalogación. Ciertas mejoras, como la catalogación innovadora, las demostraciones interactivas de los productos y la personalización dinámica, les permiten a los vendedores ofrecer una experiencia en línea más acorde con las preferencias de los consumidores.

Mercadotecnia digital. Los desarrollos de la mercadotecnia digital, como el redireccionamiento personalizado, los anuncios emergentes, los mensajes SMS *push* y la gestión de datos maestros, son nuevas formas de segmentar a los clientes de un modo más específico.

Realidad virtual/aumentada. El catálogo de Ikea utiliza su aplicación móvil para proporcionar servicios adicionales con una función de realidad aumentada que les brinda a los consumidores una previsualización virtual del mobiliario ya instalado dentro de un ambiente y les permite hacer una simulación digital con productos de marca.

Logística. Las cajas de suscripción pueden reducir los picos y las caídas abruptos de los volúmenes solicitados y, así, garantizar más previsibilidad y menos faltantes de *stock* y retrasos cuando se producen aumentos súbitos de la demanda.

Pagos digitales. El sistema de pagos digitales simplificó la contabilidad, mejoró la eficiencia y la seguridad y redujo los costos administrativos. Muchos servicios bancarios se están redefiniendo. Esto incluye las tecnologías relacionadas con el comercio electrónico, los pagos móviles y las conversiones de monedas, entre otros.

Analítica de datos. En 2017, el mayor impacto sobre los envíos y los servicios al cliente estuvo dado por el uso de la analítica de datos y la inteligencia artificial. Los *bots* conversacionales o *chatbots* son un muy buen ejemplo de cómo la tecnología de la IA se está difundiendo y tornando cada vez más útil. Un *bot* conversacional inteligente puede, incluso, monitorear los hábitos de cada consumidor en cuanto a sus compras en línea y hacer una compra en su nombre cuando ve que un producto que anteriormente ha comprado y calificado positivamente se pone a la venta.

Cadena de valor de los datos. El uso de macrodatos y de la analítica de datos han posibilitado las entregas en tiempo real, la mejora de la gestión de los proveedores, el aprovisionamiento automatizado de productos y la segmentación personalizada de la cadena de valor.

La transformación digital en las industrias

Las empresas tienen que abrazar las tecnologías y las plataformas digitales, como las redes sociales, la tecnología móvil, la computación cognitiva, la de nube y la inteligencia artificial. La transformación digital está determinando las experiencias de los consumidores, los procesos operativos y los modelos de negocios. Las competencias digitales se han vuelto un aspecto mucho más importante en cualquier organización. Para que este recorrido digital sea exitoso, las industrias han empezado a invertir en iniciativas y habilidades digitales.

Demanda de innovación digital

Las tecnologías digitales se han convertido en un instrumento esencial que da lugar a estilos de vida, modelos de negocios e instituciones societarias sostenibles. Abren un abanico de opciones nuevas en materia de diseño, fabricación e internet de las cosas, servicios de salud, bancarios y financieros, comercio minorista, biotecnología, etcétera.

En los servicios de salud, la innovación digital está dando lugar a mejoras y avances en los procesos que estos servicios involucran, así como en la toma de decisiones y en las experiencias de los pacientes. Los actores clave de la industria de los servicios de salud avanzan constantemente hacia la adopción de las tecnologías informáticas. La figura 2 es un ejemplo de cómo las empresas innovadoras se están librando del legado histórico del sector de la salud para hacerlo más fluido, eficaz y económicamente accesible.

En la actualidad, el manejo de las enfermedades crónicas es complejo y costoso, y su calidad es cuestionable. Las nuevas tecnologías y los procesos que utilizan dispositivos de IoT para monitorear, diagnosticar y guiar los tratamientos están cambiando la forma de manejar ciertas enfermedades crónicas, como la diabetes, los problemas cardíacos y los oncológicos. La figura 3 muestra ejemplos de dichas soluciones para la diabetes y los problemas cardíacos.

Por otra parte, una nueva oleada de tecnologías, como las billeteras digitales, la robótica y la inteligencia artificial, está revolucionando también el modo en el que manejamos, controlamos y distribuimos el dinero. Casi todas las áreas de las finanzas y del sector bancario enfrentan esta disrupción y el sistema bancario tradicional se ve forzado a innovar e invertir en nuevas soluciones digitales. La figura 4 refleja de qué modo las *startups* de esta nueva era están provocando una disrupción en el sector de los servicios financieros.

Comercio minorista

Las innovaciones digitales están mejorando las experiencias de los clientes. Tecnologías como la realidad virtual, los escaparates digitales, los pagos por reconocimiento facial, los servicios que permiten comprar en línea y recoger en la tienda y los cupones móviles, entre otras, están agregando mucho valor a las compras. La figura 5 capta algunas de las *startups* más innovadoras que

desafían el modelo de negocios minorista tradicional.

Sector manufacturero e Internet de las cosas (IoT). La IoT está cambiando la dinámica de la industria, innovando las operaciones y realzando la excelencia de la producción inteligente y de las plantas manufactureras inteligentes del futuro. La figura 6 muestra algunas de las áreas en las que se está incorporando la IoT y las distintas *startups* que trabajan en estas áreas.

Energía y servicios públicos. Las innovaciones digitales tienen un impacto significativo en la sostenibilidad y el uso de las energías renovables. La tecnología les ofrece a las empresas de servicios públicos y a los consumidores formas de controlar el consumo que permiten reducir el uso y el costo de la energía. La figura 7 ilustra cuáles son las *startups* que están transformando el sector energético y el de servicios públicos.

Biotecnología, genómica y productos farmacéuticos. Las empresas farmacéuticas, biotecnológicas y de genómica están llevando la revolución digital a los servicios de salud y a las investigaciones clínicas. La tecnología digital potenció la participación de los pacientes y, en su mayor parte, los servicios de salud se protocolizaron y, de ese modo, se facilitaron las decisiones clínicas.

Medios de comunicación y entretenimiento. La digitalización de la industria del entretenimiento y los medios de comunicación cambió el comportamiento de los consumidores y sus expectativas; hoy en día, tenemos acceso a los contenidos en cualquier momento y desde cualquier lugar. Las tecnologías como la realidad virtual, los gráficos de alta definición y la animación les brindan a los consumidores experiencias nuevas.

Realidad virtual (RV) y aumentada (RA). La RV y la RA son dos tecnologías potentes capaces de cambiar las experiencias de producción, compra y venta. También se están integrando de manera muy fuerte en las industrias del entretenimiento y de los juegos.

Ciberseguridad. La innovación digital requiere seguridad informática; sin una ciberseguridad robusta, los datos y la información del sistema están en constante riesgo de caer en manos de *hackers* y otras amenazas digitales. Para competir exitosamente y mantener una buena posición en el mercado, toda empresa necesita contar con medidas de seguridad sólidas contra las amenazas cibernéticas. Cuando las distintas aplicaciones se comunican y comparten datos, la confianza digital se torna sumamente importante. Los sistemas necesitan construir defensas activas, una arquitectura resiliente y medidas de autenticación robustas. La figura 8 muestra un pantallazo de las *startups* innovadoras en distintas áreas relacionadas con la ciberseguridad.

COMPETITIVIDAD EN LA GLOBALIZACIÓN DE LOS SERVICIOS

El índice de globalización de los servicios que publica anualmente Tholons es la principal clasificación y *ranking* de la industria que muestra las primeras 100 superciudades y las primeras 50 naciones digitales. Los elementos clave que definen este *ranking* incluyen la infraestructura, los costos, el talento, la madurez de los negocios, el riesgo, la calidad de vida y la digitalización/innovación. La innovación y la transformación digitales produjeron cambios en la competitividad de los países y de las ciudades.

La digitalización es ahora un elemento crítico que altera y transforma las industrias de todo el mundo. Las tecnologías, las compañías de gestión de procesos empresariales y las corporaciones multinacionales necesitan adaptarse a esta cruda realidad que generó la disrupción provocada por la era digital. La mayor parte de aquello que ofrecen los principales líderes de la globalización de los servicios, como la India, Filipinas y Europa del Este, sufrirá un proceso de mercantilización. La transformación digital de los clientes y de los servicios –como el avance de los dispositivos móviles, la analítica de datos y la ciberseguridad– hace que dichos servicios ya no se puedan prestar utilizando el modelo de negocios tradicional. Asimismo, la automatización constante del trabajo –a través de la gestión de aplicaciones, la infraestructura y los procesos de pruebas y ensayos– reduce o, en algunos casos, elimina la necesidad de mano de obra. Estas fuerzas afectarán seriamente a las empresas de servicios informáticos.

Tholons Services Globalization 2017, el estándar mundial para establecer un *ranking* de las primeras 50 naciones y de las primeras 100 ciudades, incluye la innovación, el ecosistema de *startups* y la transformación digital como componentes clave que definen sus índices de Naciones Digitales (Top 50) y de Superciudades (Top 100) (ver gráficos 1 y 2). La era digital está cambiando la industria y está formando líderes, provocadores de disrupciones e innovaciones, que definirán el futuro de las economías y el crecimiento de los mercados.

La industria de la tercerización se vio fuertemente sacudida; los principales líderes de esta industria se están cayendo de los primeros puestos. Pune (India) y Cebú (Filipinas) dejaron de ocupar los primeros 10 lugares, mientras que San Pablo (Brasil) y Buenos Aires (Argentina) entraron en ese segmento del *ranking*, lo cual muestra los enormes avances que lograron las ciudades latinoamericanas. De manera similar, entre las Naciones Digitales, Canadá, Chile e Irlanda pasaron a formar parte de las primeras 10.

Los disruptores e innovadores de las naciones digitales y de las superciudades seguirán desafiando a los líderes establecidos. Serán los negocios dedicados exclusivamente al comercio electrónico de esas naciones y ciudades quienes definirán el futuro de la globalización de los servicios.

ECOSISTEMA DE INNOVACIÓN ABIERTO

La innovación abierta gira en torno de la construcción de un ecosistema en el que las *startups*, los académicos (es decir, las universidades), las instituciones privadas (como las empresas informáticas y de BPM, y los proveedores de tecnología) y las instituciones financieras (los capitalistas de riesgo, los bancos, los inversores ángeles, etcétera) se unen para potenciar la colaboración y la coinnovación. Se espera que las *startups* conceptualicen y desarrollen sus productos o servicios, que el mundo académico genere graduados de calidad para dichas *startups* y que las instituciones financieras proporcionen los fondos necesarios para que estas nuevas empresas desarrollen sus productos y servicios.

El ecosistema de innovación abierto necesita contar con políticas de apoyo gubernamental e incentivos adecuados para promover la innovación, el espíritu emprendedor y el trabajo colaborativo entre todas las partes interesadas.

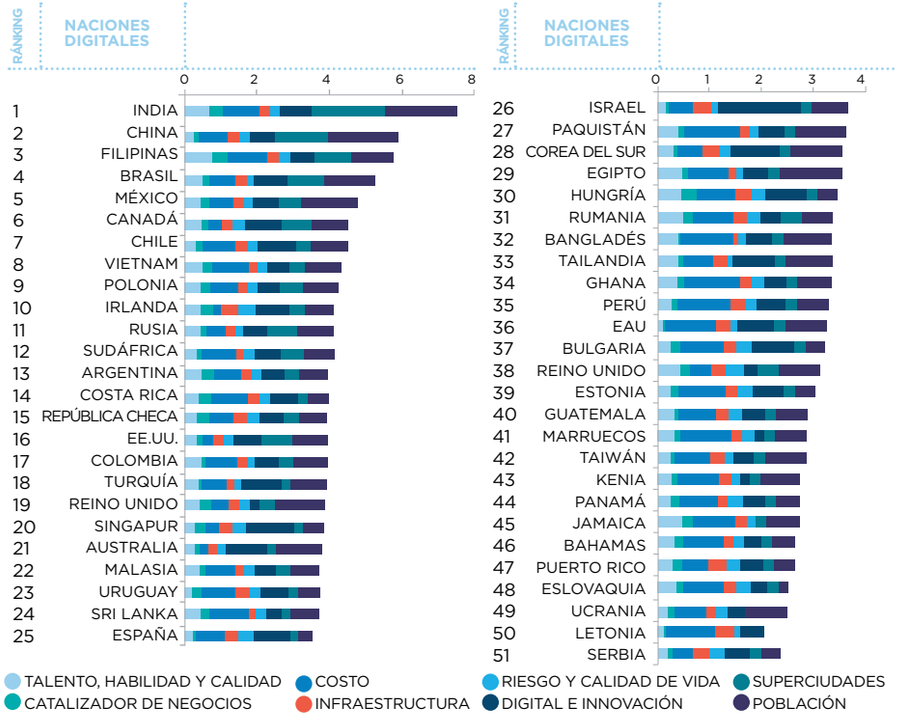
La innovación abierta es crucial en el mundo actual, en el que los productos y servicios innovadores están provocando una disrupción en las prin-

cipales industrias. El ecosistema de *startups* es particularmente pujante en EE. UU., el Reino Unido, Israel, la India y Canadá. Las *startups* superan las 100.000 en EE. UU., las 7.500 en el Reino Unido, las 5.000 en Israel, las 7.000 en la India y las 5.000 en Medio Oriente. Al desarrollar el ecosistema de TI-BPM de un país, debería considerarse la construcción de una plataforma de innovación abierta robusta, de la que participen todas las partes interesadas de la industria y los organismos gubernamentales relevantes.

Los países se beneficiarían mucho si implementaran el ecosistema de innovación abierto y crearan una cultura de *startups* que se conecten a la red global de clientes, empresas nuevas, mentores, desarrolladores de plataformas y financiamiento. A continuación, se presenta una guía para dar inicio a este proceso de manera sencilla:

Paso 1. Generar conciencia entre las *startups*. Hay que generar conciencia entre los emprendedores promoviendo eventos en las redes sociales y en los distintos nodos de *startups* para financiar a estas últimas. Dichos eventos les dan mucha visibilidad a las *startups* seleccionadas y las conectan con una red de mentores, brindándoles al mismo tiempo acceso a inversores que pueden aportar financiamiento.

GRÁFICO 1
ÍNDICE 2017 DE GLOBALIZACIÓN DE LOS SERVICIOS DE THOLONS
PRIMERAS 50 NACIONES DIGITALES



Fuente: Tholons Research 2017.

Paso 2. Diagnóstico y diligencia debida. Después de registrar correctamente las solicitudes de varias *startups*, por medio de una diligencia debida se recorta la selección a entre 30 y 50 empresas nuevas, que serán examinadas por un panel de jurados y mentores. La selección se basa en elementos básicos que determinan las posibilidades de financiación: el potencial de la idea, el tamaño de la oportunidad y la escalabilidad; el estadio del desarrollo de la empresa; el perfil del equipo; y el atractivo para los inversores.

Paso 3. Prepararse para la sesión de presentaciones (*pitch session*). Las *startups* seleccionadas recibirán instrucciones acerca de las expectativas de las presentaciones y otros lineamientos. Se espera que estas empresas envíen videos y presentaciones promocionales. Las empresas nuevas recibirán orientación y asesoramiento acerca de cuáles son las mejores formas de presentarse y acercarse a los inversores.

Paso 4. Sesión de presentaciones (*pitch session*). Estas sesiones son eventos que duran todo un día, durante el cual se realizan presentaciones en vivo ante entre 5 y 10 miembros de un jurado de inversores. Cada sesión de presentaciones dura entre 10 minutos y media hora. Luego, el jurado y los inversores seleccionarán a las *startups* que incorporarán a sus programas de tutoría e inversiones. Finalmente, aquellas *startups* (entre tres y cinco) que pasen todo el proceso de selección serán enviadas a un centro de tecnología del Silicon Valley durante tres meses, para que puedan trabajar colaborativamente y coinnovar con otras *startups* y con clientes.

COLABORAR, COINNOVAR Y COINVERTIR

El futuro del trabajo es el trabajo colaborativo, el futuro de la innovación es la coinnovación y el futuro de la inversión es la coinversión. Estos tres elementos de cooperación son centrales en las nuevas modalidades en que las empresas trabajarán, innovarán e invertirán en la transformación y en la innovación digital de las industrias y de las experiencias de los consumidores. Las tres secciones siguientes definirán estos elementos, discutirán las tendencias actuales, sus beneficios y de qué modo desarrollarlos e implementarlos.

Trabajo colaborativo

El trabajo colaborativo es más que simplemente lograr lugares de trabajo accesibles. Se trata de trabajar en conjunto y de compartir experiencias, ayudándose mutuamente como miembros de una comunidad. Los trabajadores independientes, los emprendedores y las *startups* se sentirán así parte de una comunidad, crearán vínculos y querrán aportar para trabajar en un espacio comunal. Los beneficios económicos del trabajo colaborativo son significativos. Según los datos de investigaciones realizadas por Tholons, el trabajo colaborativo permite ahorros de hasta un 55% de los costos comparado con el trabajo que se realiza en un espacio totalmente propio.

El trabajo colaborativo es una necesidad y una oportunidad. Lo necesitan 1,6 millones de personas que se suscribieron a un espacio de trabajo colaborativo este año y representa una oportunidad para que los individuos dinámicos se conecten entre sí.

El trabajo colaborativo es más que simplemente compartir el ambiente de trabajo. Tiene que ver con formar una

comunidad. Cerca del 34% de la fuerza de trabajo de EE. UU. está compuesta por trabajadores independientes. Una cantidad creciente de emprendedores y *startups* muestran una duplicación de la demanda de espacios de trabajo colaborativo. Para 2020, unos 65 millones de empresas pequeñas se unirán al trabajo colaborativo. De estas, 2,5 millones formarán parte de dicha forma de trabajo ya en 2018. Actualmente, hay una brecha de 3 a 1 entre la oferta y la demanda de trabajo colaborativo.

Comunidad de trabajo colaborativo: la comunidad es el elemento vital del trabajo colaborativo y de la coinnovación. Los talleres, las charlas con mentores, las sesiones de presentaciones, las jornadas de demostración y los eventos para entablar contactos le otorgan un inmenso valor a la comunidad.

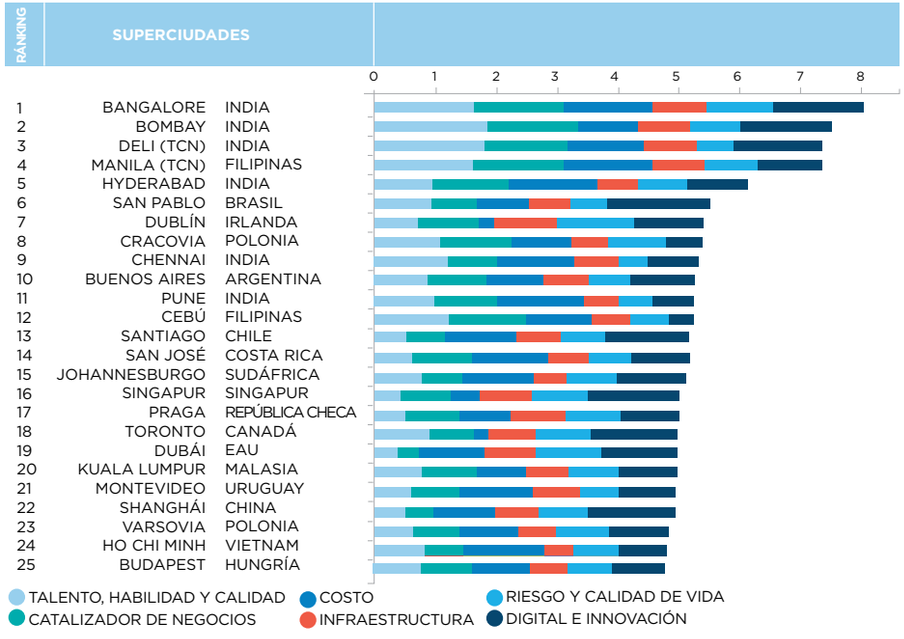
Coinnovar

Las empresas se están interconectando cada vez más. Los esfuerzos individuales no alcanzan para innovar. En el campo de la innovación, la colaboración se está tornando imprescindible. La coinnovación implica que dos (o más) socios generen, deliberadamente, un flujo de conocimientos mutuo que atraviese los límites de sus organizaciones por medio de actividades conjuntas de intervención y de comercialización. La propiedad compartida entre clientes, mentores, inversores e integradores estratégicos proporciona un sistema de apoyo robusto para las *startups*.

Coinvertir

El compromiso revolucionario de los socios en el modelo de coinnovación se basa en una estrategia igualmente pionera, pero simple, de cofinanciación. La coinnovación es impulsada por los clientes, los socios del sector tecnológico y los inversores de capital de riesgo que realizan inversiones mutuas en sus respectivos sectores.

GRÁFICO 2
ÍNDICE 2017 DE GLOBALIZACIÓN DE LOS SERVICIOS DE THOLONS
PRIMERAS 25 SUPERCIUDADES



Fuente: Tholons Research 2017.

CADENA DE VALOR DIGITAL

La industria de servicios globalizados provocó una transformación en muchos mercados emergentes, como los de la India, Filipinas, América Latina y Europa del Este. Los negocios en los sectores de TI, BPM, tercerización de procesos de conocimiento (KPO) y comercio electrónico ascienden actualmente a US$ 183.000 millones en todo el mundo. La globalización de los servicios se vio sacudida por las fuerzas digitales. La robótica, la inteligencia artificial, las redes sociales, los dispositivos móviles, los macrodatos, la cadena de valor digital, la confianza digital y el *software* como servicio seguirán desarmando los negocios ya establecidos y crearán oportunidades para todos los países. La industria de la tercerización se vio fuertemente sacudida; los principales líderes de esta industria se están cayendo de los primeros puestos.

Hay enormes posibilidades para que el gasto en tecnología crezca de US$ 2,4 billones a US$ 3,8 billones por la transición acelerada de los negocios tradicionales a los digitales, que no se puede dejar pasar. Esta es una buena oportunidad para que las empresas innovadoras, las superciudades y las naciones digitales marquen el territorio. Los países y las ciudades de América Latina han mostrado el crecimiento más fuerte. Dado el liderazgo de la India y el crecimiento de los países latinoamericanos, existen muy buenos argumentos comerciales y una gran oportunidad para que estas dos superpotencias colaboren y coinnoven. Si se asume el compromiso de centrar los esfuerzos en la innovación digital a nivel de las empresas, esta conducirá al surgimiento de nuevos líderes. Estos nuevos actores claramente tienen una oportunidad invalorable de lograr el éxito, ya que no cargan con ningún legado ni enfrentan costos o esfuerzos demasiado altos para realizar las transformaciones. Los países emergentes deberían sentirse ansiosos por despertar a los albores de la seguridad y las oportunidades y a este nuevo mundo de tecnología digital e innovación.

NOTAS
[1] NASSCOM (2016a).
[2] NASSCOM (2016b).
[3] NASSCOM (2016b).

BIBLIOGRAFÍA
Bauer, H., Patel, M. y Veira, J. 2014. *The Internet of Things: Sizing up the Opportunity.* Nueva York, Estados Unidos: McKinsey & Company.
Ericsson. 2016. *Ericsson Mobility Report: On the Pulse of the Networked Society*. Estocolmo, Suecia: Ericsson.
MarketsandMarkets. 2016a. *Cyber Security Market by Solution 2016*. Pune, India: MarketsandMarkets Inc.
—. 2016b. *Big Data Market by Component Report 2016*. Seattle, Estados Unidos: MarketsandMarkets Inc.
NASSCOM. 2016a. *NASSCOM Strategic Review 2016*. Nueva Deli, India: Nasscom.
—. 2016b. *Strategic Review 2016*: *The IT-BPM Sector in India*. Tholons Research 2016.
Transparency Market Research. 2016. *Human Machine Interface Market 2016*. Albany NY, Estados Unidos: Transparency Market Research.

FIGURA 1
INTELIGENCIA ARTIFICIAL

FIGURA 2
SANIDAD DIGITAL

FIGURA 3
CUIDADO DIGITAL

FIGURA 4
TECNOFINANZAS

FIGURA 5
COMERCIO MINORISTA

FIGURA 6
SECTOR MANUFACTURERO E IOT

FIGURA 7
ENERGÍA Y SERVICIOS PÚBLICOS

FIGURA 8
CIBERSEGURIDAD

Fuente: Tholons Research 2017.

CONECTANDO LOS PUNTOS

UNA HOJA DE RUTA PARA UNA MEJOR INTEGRACIÓN DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

INFORME ESPECIAL SOBRE INTEGRACIÓN Y COMERCIO

BID

Descargala en www.iadb.org

CASO DE ESTUDIO

Transferencia de capacidades

Sinergias entre la academia y el mundo empresarial

Ricardo Oscar Rodríguez
UBA-CONICET

La comunidad científica argentina cuenta con algo más de cien investigadores formados y otros tantos en formación en el área de inteligencia artificial. Este ecosistema ha dado lugar no solo a desarrollos teóricos cuya jerarquía es reconocida a nivel internacional, sino también a múltiples aplicaciones innovadoras.

En Bahía Blanca, en la UNS, se desarrolla el proyecto DECIDE 2.0 (junto con investigadores del ITESM de México y del UNU-IIST de China) de lo que se denomina "gobierno electrónico". Dicho proyecto tiene como objetivo el desarrollo de un *framework* para procesamiento inteligente de la opinión ciudadana en medios sociales (tales como Facebook, Twitter, Instagram, Snapchat, Waze, etcétera), basado en un sistema colaborativo que opere encima de estas redes sociales preexistentes. Con ello se busca implementar modelos de confianza y propagación de la reputación del ciudadano de manera tal que quien toma decisiones pueda ponderar y valorar adecuadamente la opinión del mismo. Además, dado que distintos usuarios pueden opinar sobre un tópico, se pretende desarrollar algoritmos para integrar información proveniente de diversas fuentes.

En UBA-Exactas hay varios proyectos y grupos que hacen transferencia. Mencionaré solo dos de ellos. El primero es un proyecto de desarrollo de drones llevado a cabo por el Laboratorio de Robótica y Sistemas Embebidos en colaboración con el Instituto de Automática de la Universidad de San Juan. La particularidad de estos drones es la utilización de un novedoso sistema de navegación autónoma que mejora la versatilidad y la velocidad de respuesta ante imprevistos. Estos drones han sido utilizados para el control virtual de bosques y para implementar técnicas de agricultura de precisión.

El otro desarrollo aplicado fue generado por el Laboratorio de Inteligencia Artificial Aplicada. Ellos han desarrollado una herramienta que busca registrar un discurso, analizarlo y detectar, según los patrones del habla (cantidad de verbos utilizados, desorganización o coherencia discursiva), la probabilidad de padecer una esquizofrenia. Esta aplicación fue realizada en colaboración con psiquiatras norteamericanos y está basada en la técnica desarrollada por este grupo de investigación para análisis de textos.

En la FAMAF de la Universidad Nacional de Córdoba, existe un grupo de investigación que se especializa en el procesamiento del lenguaje natural.

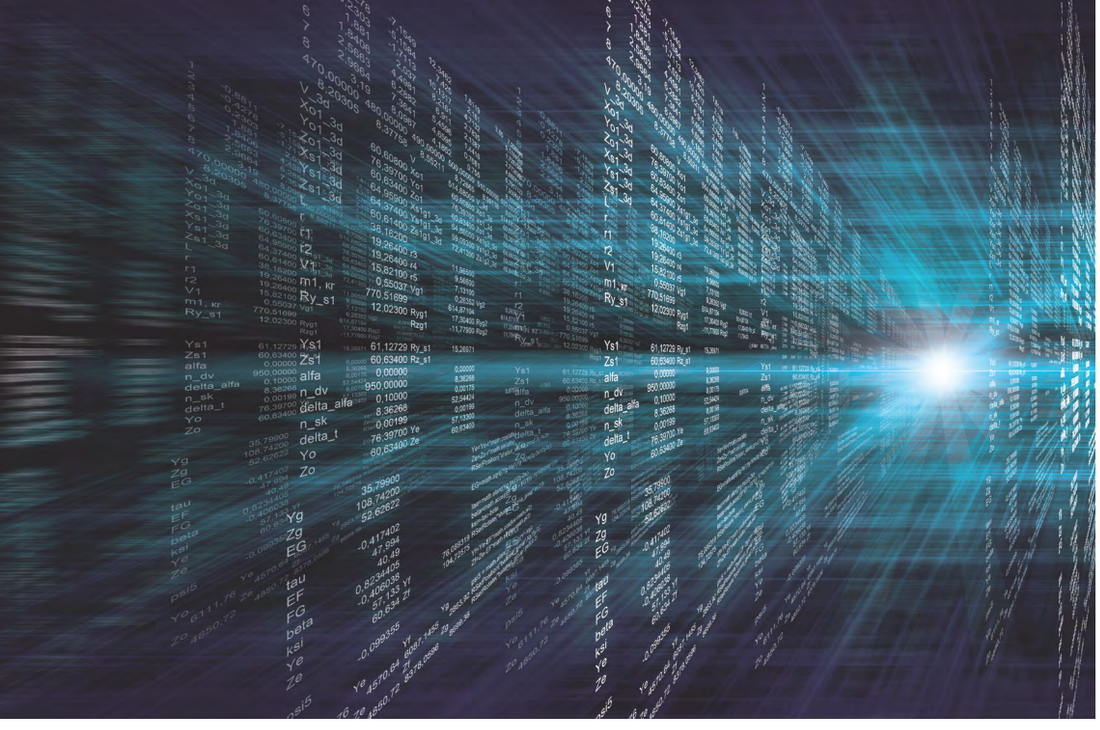
En ese contexto vienen desarrollando el proyecto MIREL, financiado parcialmente por el programa Horizonte 2020 de la Unión Europea, que consiste en el desarrollo de herramientas para el análisis y razonamiento sobre textos legales. En el sinc(i) de la Universidad Nacional del Litoral se han patentado métodos, procesos y dispositivos que utilizan técnicas de IA para determinar distintos aspectos del ganado vacuno. Por ejemplo, calcular cuándo se encuentra en celo el animal o detectar, clasificar y cuantificar en tiempo real la actividad alimenticia de aminales rumiantes. Este grupo en particular se caracteriza por tener un gran número de desarrollos tecnológicos basados en procesamiento de señales como el Holter HT103, o de control de ritmo respiratorio, etcétera. También han desarrollado varias aplicaciones de biotecnología utilizando técnica de minería de datos.

En Mendoza, el Laboratorio DHARMa desarrolla el proyecto ViSE, que es un sistema que automatiza la elicitación precisa de modelos 3D de plantas de vid y segmenta correctamente sus componentes. Este sistema busca ser una herramienta de bajo costo, para monitorear, en condiciones reales, el desarrollo del cultivo y poder realizar acciones correctivas para mejorar la evolución del fruto. Las técnicas desarrolladas han demostrado ser lo suficientemente estables para detectar, reconocer y caracterizar forma, tamaño y estado de todos los componentes de la planta.

En el CIFASIS de Rosario, se ha construido un robot desmalezador que identifica distintas especies de malezas en tiempo real, lo que permitiría aplicar diferentes tratamientos para cada una de ellas. La plataforma móvil se desplaza en el campo en forma autónoma utilizando técnicas de aprendizaje automático y de visión por computadora.

El Instituto de Sistemas de Tandil, de la UNICEN, se halla abocado al desarrollo de una plataforma de servicios para la producción de *software* de ciudades inteligentes que promete proveer servicios de alto nivel y permitir la construcción de aplicativos de *software* (para la ciudad) que consuman dichos servicios. La estrategia centrada en la plataforma apunta a integrar sistemas y fuentes de datos que no necesariamente fueron pensados para tal fin y a proveer servicios inteligentes a distintas aplicaciones. El primer prototipo será utilizado en el municipio de Tandil.

Como puede apreciarse, la academia no solo dedica su tiempo a cuestiones abstractas, sino que también se encuentra abocada a desarrollar capacidades tecnológicas necesarias para transferirle al sector productivo el conocimiento necesario para alcanzar la frontera tecnológica y así mejorar la calidad de sus productos aumentando su cadena de valor. Además, existen fuera de dichos espacios muchos emprendedores que utilizan técnicas de IA para lograr soluciones informáticas competitivas.



Geolocalización y *Big Data*

Un **modelo** de **comercio** con **econometría espacial**

Marcos Herrera
CONICET-IELDE, Universidad Nacional de Salta

LA CRECIENTE DISPONIBILIDAD DE DATOS GEORREFERENCIADOS REQUIERE HERRAMIENTAS PARTICULARES QUE PERMITAN CAPTURAR LA INFORMACIÓN DISPONIBLE. LAS PREDICCIONES ECONOMÉTRICAS SE POTENCIAN CON *MACHINE LEARNING* O RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES. LA ECONOMETRÍA ESPACIAL OFRECE LA POSIBILIDAD DE DETECTAR LOS EFECTOS DE INTERACCIÓN PROVENIENTES DE ESPACIOS GEOGRÁFICOS, COMO SE MUESTRA CON UN EJEMPLO DE MODELO DE COMERCIO GRAVITACIONAL.

La incipiente disponibilidad de datos georreferenciados a nivel individual y la ofrecida por diferentes agencias estadísticas a nivel mundial han generado un creciente uso de técnicas de análisis y econometría espacial. La econometría espacial es una rama econométrica dedicada al análisis de efectos espaciales en modelos de regresión. Los efectos espaciales (dependencia y heterogeneidad) provienen de la proximidad o vecindad entre las unidades de observación y se entienden de manera amplia: geográfica (proximidad según posición geográfica), social (proximidad según vínculos familiares/sociales), económica (proximidad según interacción comercial/relaciones sectoriales) o combinaciones entre estas alternativas. Ya sea cualquiera de las relaciones de proximidad mencionadas, la econometría espacial considera de principal relevancia el impacto de tales interacciones y genera modelos que permiten estimar el efecto de las mismas.

Puede pensarse que estos desarrollos espaciales son recientes, sin embargo los comienzos datan del año 1979 (Anselin, 2010), cuando se iniciaron diferentes desarrollos metodológicos plasmados una década más tarde en el libro *Spatial Econometrics: Methods and Models* (Anselin, 1988). En los primeros años, la difusión en economía fue limitada debido a la escasa disponibilidad de este tipo de datos y también por la falta de opciones de programas estadísticos para la estimación. En la actualidad, ambas barreras han sido derribadas, en particular por la disponibilidad de datos georreferenciados ofrecidos por usuarios individuales, por empresas que permiten su acceso mediante una interfaz de programación (API) o por técnicas de programación que logran extraer datos de sitios web (*web scraping*). Además, los métodos de estimación espacial se encuentran integrados a los programas estadísticos más populares, como Stata, R, Matlab y Python, entre otros.

Arribas-Bel (2014) destaca que la cantidad y diversidad de las nuevas fuentes de información tienen una característica accidental, disponible para investigación y en cualquier lugar del planeta. Es accidental en referencia a que los datos no fueron pensados desde una encuesta o censo específicamente creado para investigación o análisis de políticas sociales o económicas. Se une a esto la disponibilidad sin costo de acceso para el investigador. Las fuentes son tan diversas y a diferentes escalas que permiten reducir el error de localización de las observaciones, evitar la discretización de problemas continuos en el espacio y nutrir de información externa a datos recolectados de forma tradicional (encuestas y censos). Pero las técnicas estadísticas y econométricas convencionales no están prepara-

das para manejar el volumen de datos actual y por ello el surgimiento del *big data*. Asimismo, tampoco logran capturar de forma adecuada estructuras complejas, como son la interconectividad y la geolocalización de las observaciones, como sí lo puede realizar la econometría espacial.

La característica distintiva de un modelo econométrico espacial es la presencia de la matriz de contactos o red de conectividad. Esta red de conectividad puede verse como un punto en común con la literatura de redes sociales. La diferencia con esta literatura es que en redes sociales el foco de atención se centra en el análisis de la estructura de conectividad, lo que caracteriza a la red con diferentes medidas (centralidad, coeficiente de *clustering*, grado medio, densidad de la red, etcétera), en cambio, la econometría espacial focaliza su atención en el impacto de la red de conectividad en el modelo econométrico. Claramente, ambas literaturas tienen puntos en común y pueden complementarse.

Los desarrollos de *big data* también encuentran un punto en común bajo datos georreferenciados (*geo big data*) y ofrecen estrategias alternativas para capturar efectos espaciales. Por ejemplo, el proyecto de Livehoods busca definir áreas urbanas no solo por los tipos de lugares próximos geográficamente, sino también por las personas que hacen que el área forme parte de su rutina diaria. Usando más de 18 millones de registros del sitio Foursquare, agrupan los lugares cercanos en áreas según patrones en el grupo de personas que se registran en ellos. Al examinar los patrones en estos *check-ins* (clasificaciones y opiniones del lugar), se aprende sobre las diferentes áreas que componen la ciudad, lo que permite estudiar la dinámica social, la estructura y el carácter de las ciudades a gran escala. Este tipo de propuesta construye vecindarios digitales combinando preferencias de usuarios e información georreferenciada.

Como puede verse, las alternativas de análisis de datos espaciales son amplias y se encuentran en pleno auge y desarrollo. En lo que resta del artículo, intentaré destacar las principales herramientas de la econometría espacial para capturar información compleja. Como punto inicial, debe reconocerse que los datos espaciales presentan características muy particulares, indistintamente de si se cuenta con una base de datos de dimensiones tradicionales o de una gran base de datos como las que manejan *big data*.

NATURALEZA DE LOS DATOS ESPACIALES

El primer aspecto para destacar es que existen diferentes tipos de datos espaciales y esto conlleva desarrollos estadísticos particulares para los mismos. Cressie (2015) realiza una taxonomía de datos según los supuestos del proceso estocástico espacial (*spatial random field*). Sin entrar en formalizaciones, los datos espaciales pueden clasificarse como geoestadísticos (*geostatistical data*), regionales (*lattice data*) y de patrón de puntos (*point pattern data*). A su vez, la representación y visualización de estos datos puede realizarse en formato vectorial o raster, que son dos tipos de capas de información espacial habituales en los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

En el formato raster, el espacio se divide en celdas regulares y cada celda contiene un número que identifica al objeto. Este tipo de representación es la aconsejada para datos geoestadísticos como superficies de temperaturas, contaminación, precipitaciones, etcétera. Las imágenes satelitales por teledetección (satélites o drones) son almacenadas bajo este formato.

En el formato vectorial, existen diferentes objetos representados por puntos, líneas y polígonos. Este tipo de representación es típica de datos regionales, como un mapa de un país dividido en provincias o municipios, o las líneas de ferrocarril y los puntos de viviendas en venta. Este es el tipo más habitual de datos georreferenciados en ciencias sociales en general y en economía en particular.

Pero ambos formatos pueden combinarse y hoy en día no es extraño encontrar aplicaciones mixtas. Por ejemplo, Patino y Duque (2013) revisan las aplicaciones en ciencia regional que utilizan imágenes satelitales en asentamientos urbanos. Las aplicaciones más comunes utilizan imágenes de Landsat, SPOT, ASTER, entre otros, para detectar zonas urbanas deprimidas, evaluación de calidad de vida, crecimiento urbano y vulnerabilidad social. En un trabajo de gran repercusión, Jean *et al*. (2016) analizan imágenes satelitales, datos vectoriales y datos de encuestas oficiales mediante técnicas de aprendizaje automático (*machine learning*) para estimar el gasto de consumo y riqueza en cinco países africanos. Mediante esta combinación de información y técnica, los autores logran focalizar zonas pobres que pueden ser objeto de políticas específicas.

Un inconveniente común a todos los datos espaciales es el problema de unidad de área modificable (*modifiable areal unit problem*, MAUP), versión geográfica de la falacia ecológica, en donde las conclusiones basadas en una agregación particular de las áreas o regiones pueden cambiar si se agregan los mismos datos en un conjunto diferente de áreas o regiones. Esto tiene implicancia en los resultados inferenciales y no siempre es destacado adecuadamente. Además, la utilización de diversas fuentes de datos conlleva riesgos; por ejemplo, es común que la información no esté disponible al nivel de escala deseada. La transformación necesaria de los datos espaciales a la escala de interés genera el problema de cambio de soporte (COSP, *change of support problem*). El término "soporte" hace referencia al tamaño y volumen de cada base, pero también incluye la forma, el tamaño y la orientación espacial de los objetos o campos representados. El paso de un soporte involucra generar nuevas variables relacionadas a las originales, pero con diferencias espaciales y estadísticas.

Estas particularidades de los datos espaciales son poco consideradas al trabajar con este tipo de datos. Piénsese en el modelo gravitacional de comercio, en donde los países (polígonos) son transformados en puntos (generalmente la ciudad capital) para medir la distancia y así utilizar dicha medición como variable. Esta simple transformación puede contener todos los problemas antes comentados. Puede ser cierto que, en este caso, la exactitud de la medición no modifique significativamente los resultados. Sin embargo, el avance en la geolocalización de los productos generará en poco tiempo la necesidad de una mayor precisión del origen y el destino de cada bien y replanteará cuestiones tan simples como la medición de esta variable.

MODELOS ECONOMÉTRICOS

Ya sea que el espacio relevante sea el geográfico, el digital o el socioeconómico, las herramientas desarrolladas por la econometría espacial permiten obtener una medida de la interacción y significancia de los efectos espaciales o

de red. La principal virtud descansa en reconocer desde el inicio la naturaleza dependiente de los datos, contrario a lo que se asume en los métodos estadísticos habituales.

La econometría estándar establece independencia de las observaciones y permite así un tratamiento estadístico manejable. Una implicación de este supuesto es que los valores observados y_i, para un individuo i, son estadísticamente independientes de otros valores y_j, para un individuo j, tal que $E(y_i y_j) = 0$, donde $E(\cdot)$ es el operador de esperanza, suponiendo valores centrados, por simplicidad. Sin embargo, cuando los individuos interactúan de manera tal que sus decisiones dependen de sus pares o vecinos, este supuesto debe relajarse para permitir alguna forma de dependencia.

La forma tradicional de dependencia espacial en un corte transversal es por medio de la autocorrelación espacial entendida como la similitud de valores en localizaciones próximas. La autocorrelación puede ser positiva, en el sentido de que un valor alto (bajo) de una variable aleatoria en una posición espacial es acompañado por un vecindario de valores altos (bajos). También es posible una autocorrelación espacial negativa con un valor elevado (bajo) en una posición geográfica y valores bajos (elevados) en el vecindario. La existencia de autocorrelación espacial implica que una muestra de datos autocorrelacionados contiene menos información que una muestra no correlacionada. Esta pérdida de información debe ser explícitamente considerada en la estimación y este es el problema esencial en temas de econometría aplicada con datos espaciales.

IMÁGENES
SATELITALES
SE USAN
COMO INSUMOS
EN PREDICCIONES

LA MATRIZ DE PESOS ESPACIALES

La autocorrelación espacial puede verse como una versión reescalada de la covarianza: $Cov(y_i,y_j)=E(y_i y_j)-E(y_i)E(y_j)\neq 0, \forall\, i \neq j$, donde y_i, y_j son observaciones de una variable aleatoria en la localización i y j en el espacio, es decir, todo par (i, j) posee información geográfica específica medida por latitud y longitud. Sin embargo, para una muestra de n observaciones en un corte transversal, existen $(n^2-n)/2$ covarianzas por ser estimadas bajo simetría y no hay suficientes datos para estimar todos los pares. La forma de resolver este problema es imponiendo restricciones sobre la forma en que las observaciones interactúan entre sí.

El principal enfoque en econometría espacial para imponer restricciones a la interacción es mediante la matriz de pesos espaciales, comúnmente denominada "W" (o "G" en redes sociales) y describe la conectividad entre las n unidades que se encuentran localizadas en un espacio bidimensional. La construcción de W está basada en al menos dos supuestos clave sobre la estructura espacial: (1) un criterio de conectividad que define qué unidades pueden ser consideradas vecinas entre sí y (2) un supuesto de pesos espaciales que operacionaliza cómo los vecinos se afectan entre sí.

Para entender cómo la matriz W permite simplificar el problema de dependencia espacial, formalizaremos la discusión. Supóngase un proceso autorregresivo espacial SAR (*spatial autoregressive*) tal que la variable se distribuye espacialmente en tres regiones de la siguiente forma:

$$y_i=\alpha_{ij}\, y_j+\alpha_{ik}\, y_k+u_i,$$
$$y_j=\alpha_{ji}\, y_i+\alpha_{jk}\, y_k+u_j,$$
$$y_k=\alpha_{ki}\, y_i+\alpha_{kj}\, y_j+u_k,$$

siendo $u_i; u_j; u_k \sim i.i.d.(0;\sigma^2)$. Es decir, en la primera ecuación, el valor en la región i depende del valor de en la región j y k, más un término aleatorio que se distribuye de manera idéntica e independiente entre las localizaciones. Lo mismo puede decirse de las regiones j y k. En términos matriciales, el sistema puede reexpresarse como:

$$\begin{bmatrix} y_i \\ y_j \\ y_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \alpha_{ij} & \alpha_{ik} \\ \alpha_{ji} & 0 & \alpha_{jk} \\ \alpha_{ki} & \alpha_{kj} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_i \\ y_j \\ y_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_i \\ u_j \\ u_k \end{bmatrix}$$

$$y=Ay+u$$

donde

$$A= \begin{bmatrix} 0 & \alpha_{ij} & \alpha_{ik} \\ \alpha_{ji} & 0 & \alpha_{jk} \\ \alpha_{ki} & \alpha_{kj} & 0 \end{bmatrix}$$

El problema con este sistema es que, bajo un corte transversal, hay más parámetros que observaciones (3 observaciones y 7 parámetros, incluido el parámetro de dispersión). Puede imponerse simetría reduciendo el número de parámetros, pero, de todas formas, no podrá estimarse. Por lo tanto, es necesario buscar una solución alternativa para poder estimar la dependencia subyacente en los datos.

La solución radica en imponer un conjunto de restricciones sobre las relaciones de dependencia. De esta forma, la estructura de la matriz A es reparametrizada de la siguiente manera:

$$A=\rho W$$

donde ρ es un parámetro por estimar que captura el efecto promedio de interacción entre todas las regiones y W es la matriz de pesos espaciales. Los elementos de W son:

$$W= \begin{bmatrix} 0 & W_{ij} & W_{ik} \\ W_{ji} & 0 & W_{jk} \\ W_{ki} & W_{kj} & 0 \end{bmatrix}$$

tal que se ha intercambiado a los parámetros α (parámetros originales del modelo) por W (coeficientes exógenos al modelo) y el modelo queda expresado como $y=\rho Wy+u$, donde Wy es interpretado como el rezago espacial de y por analogía a series temporales.

Generalizando, la matriz W será de orden n x n, donde n es el tamaño muestral. Cada elemento de W es denominado peso espacial, W_{ij}. Los pesos espaciales capturan la vecindad, y son diferentes de cero cuando las regiones i y j son consideradas vecinas. Por convención, ninguna región puede ser vecina de sí misma, lo que da como resultado que la diagonal principal de W contenga todos sus elementos iguales a cero, $W_{ii}=0$.

La forma más tradicional para construir la matriz es bajo criterios geográficos, siguiendo la primera ley de la geografía (Tobler, 1970): "Todas las cosas están relacionadas entre sí, pero las cosas más próximas en el espacio tienen una relación mayor que las distantes". Entre los criterios geográficos, puede definirse vecindad por contigüidad, por alguna función de distancia, por *k* vecinos más cercanos o alguna combinación de estas opciones.

ESPECIFICACIONES HABITUALES

Una forma de aproximarse a la estimación de un modelo econométrico con datos espaciales es mediante un modelo no espacial, usualmente estima-

do por mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Usando los residuos del modelo no espacial, puede contrastarse la posible presencia de dependencia entre las observaciones con el test I de Moran, en el que la hipótesis nula del test es no autocorrelación espacial. El rechazo de la hipótesis nula abre la especificación a elementos espaciales.

Entre los modelos espaciales más habituales puede mencionarse el modelo de rezago espacial (SLM):

$$y=\rho Wy+\alpha\iota+X\beta+u \quad (1)$$

donde la variable dependiente es un vector $(n \times 1)$, Wy representa el efecto de interacción espacial endógeno y ρ es el coeficiente de rezago espacial, ι es un vector $(n \times 1)$ de unos asociados a la constante α, X es una matriz de variables explicativas de orden $(n \times K)$, β es un vector de parámetros desconocidos de orden $(K \times 1)$ y $u=(u_1, u_2, ..., u_n)'$ es un vector de términos aleatorios de dimensión $(n \times 1)$, donde u_i es independiente e idénticamente distribuido para todo i con media cero y varianza σ^2_i.

Otro modelo espacial habitual es el modelo de error espacial (SEM):

$$y=\alpha\iota+X\beta+u, u=\lambda Wu+\varepsilon \quad (2)$$

donde Wu es el efecto de interacción espacial en el término de error o efecto espacial residual y el parámetro λ es el coeficiente de autocorrelación espacial de los errores.

La combinación entre ambos modelos (SLM+SEM) da lugar al modelo SARAR (*spatial autoregressive with autoregressive error*). Otros modelos más complejos pueden ser estimados incorporando rezagos espaciales en las variables explicativas (WX), conocidos como modelos de Durbin, o dinamizando el modelo de corte transversal en modelos espacio-temporales. Un mayor detalle de estas opciones puede consultarse en Herrera (2017).

El modelo más ampliamente utilizado incorpora el rezago espacial endógeno y su preeminencia tiene al menos tres razones. Por una parte, bajo un esquema económico de teoría de juegos, con funciones de pago cuadráticas, el SLM puede justificarse como una aproximación a la función de reacción simultánea entre *n* individuos (Brueckner, 2003). Otra razón de peso es por cuestiones de econometría teórica, ya que la inclusión de un término espacial endógeno evita la inconsistencia del estimador, pero si se omite el rezago espacial en los errores, solo existe una pérdida de eficiencia. Por último, existe un motivo empírico para estimar coeficiente de interacción endógeno, el modelo estimado brinda una estimación del *spillover* espacial que es muy atractiva en términos aplicados.

No es necesario tener una gran base de datos para estimar estos efectos espaciales. A continuación, se ejemplificará la estimación de estos modelos bajo una base de datos de tamaño estándar.

COMERCIO Y EFECTOS ESPACIALES

El modelo gravitacional en comercio permite predecir los flujos bilaterales entre países y es un modelo que ha sido ampliamente utilizado en los trabajos empíricos dentro del área (Feenstra, 2004; Helpman, Melitz y Rubinstein, 2008; Krisztin y Fischer, 2015). Utilizaré una especificación simple de este modelo para destacar que la naturaleza interdependiente del flujo comercial necesita ser considerada de una forma alternativa al tratamiento tradicional.

Los datos utilizados provienen del trabajo realizado por Martin, Mayer y Thoenig (2008), en donde se utiliza el modelo gravitacional para medir el impacto sobre el flujo comercial de un conjunto de componentes separados entre variables no relacionadas a política (contigüidad, distancia bilateral, semejanza en lenguaje y vínculo colonial) y otras variables de tinte político (acuerdos comerciales y régimen comunista). Los autores utilizan una gran base de datos de comercio internacional entre 240 países desde el año 1950 al 2000. Para este ejercicio se seleccionaron 16 países del continente americano para los últimos 5 años observados (1996-2000).[1] Dentro de este subconjunto de datos, las variables políticas no muestran variabilidad, por lo que se trabajó con las variables no políticas. El modelo gravitacional no espacial por estimar es el siguiente:

$$\begin{aligned}\mathrm{InT}_{ijt}=&\beta_1 \mathrm{InGDP}_{it}+\beta_2 \mathrm{InGDP}_{it}+\beta_3 \mathrm{cont}_{ij}\\&+\beta_4 \mathrm{cont}_{ij}\times \mathrm{In\ dist}_{ij}+\beta_5 \mathrm{leng}_{ij}+u_{ijt}\end{aligned}$$

donde GDP_{it}, GDP_{jt} son los productos brutos internos del país de origen *i* y del país de destino j; cont_{ij} es una variable ficticia que toma valor 1 si los países son límitrofes y 0 en otro caso, dist_{ij} es la distancia bilateral entre capitales y leng_{ij} es un índice de semejanza en el lenguaje.

En la especificación original de los autores, estos utilizan el criterio de contigüidad limítrofe como una variable que permite capturar el efecto de proximidad geográfica y de esta forma controlar los efectos espaciales posiblemente presentes en la base de datos.

El foco de interés en este ejercicio es sobre las variables de control que buscan capturar el efecto de la vecindad geográfica, cont_{ij} y Indist_{ij}. En nuestra especificación se incluye el logaritmo de la distancia entre capitales de países límitrofes usando un término de interacción entre el criterio de contigüidad y la distancia medida en kilómetros. Es esperable que el coeficiente de contigüidad sea positivo y refleje el mayor flujo comercial entre países limítrofes, aunque la distancia entre capitales debería tener un impacto y afectar este flujo comercial de forma negativa.

GEO BIG DATA

LA TÉCNICA PREDICTIVA PONE ÉNFASIS EN LA INTERCONECTIVIDAD Y LA GEOLOCALIZACIÓN

Los modelos estimados se presentan en el cuadro 1. La cantidad de valores cero es de 103, con 80 de estos valores producto de la reestructuración necesaria para la estimación espacial, ya que debe considerarse el flujo tomando como origen y destino al mismo país. Dependiendo del objetivo de la investigación, estos 80 valores podrían ser diferentes de cero tal que se capture el flujo interno a cada país. Aquí se sigue la estrategia de considerar este flujo igual a 0, supuesto habitual para este tipo de modelos también conocidos como de origen-destino (LeSage y Pace, 2009, cap. 8). En definitiva, existen solo 23 valores sin flujos entre países (1,8% de la base) y esto permite una estimación simple para estos datos.

La matriz de contacto W fue construida siguiendo el criterio de contigüidad de los países de destino, estandarizada por fila. Esta construcción captura formalmente la noción de que los flujos asociados con un destino mejoran o empeoran según la atracción de los países de destino vecinos (para mayor detalle, ver LeSage y Pace, 2009).

CUADRO 1
ESTIMACIONES ALTERNATIVAS DEL MODELO DE GRAVEDAD

MODELOS	MCO	SLM	SEM	SARAR
ln (GDP origen)	1,208 ***	0,685 ***	1,064 ***	0,686 ***
ln (GDP destino)	0,633 ***	0,609 ***	0,638 ***	0,619 ***
Contig	10,733 ***	8,753 ***	7,925 ***	8,732 ***
Contigxln(dist)	-1,052 ***	-0,804 ***	-0,726 ***	-0,797 ***
Índice leng	0,146	-0,043	-0,286	-0,102
W x ln T	0,365 ***	0,350 ***		
W x u	0,476 ***	0,089		
Constante	-17,354 ***	-12,605 ***	-15,602 ***	-12,663 ***
Controles origen-destino	sí	sí	sí	sí
N	1.280	1.280	1.280	1.280
corr^2 (ln T, $\widehat{\ln T}$)	82,374	85,452	81,631	85,396
IdeMoran	13,452 ***			
L M error robusto	25,625 ***			
L M lag robusto	17,442 ***			

Nota: *** denota significancia al 1% . Estimación espacial bajo G2SLS con errores robustos.
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran la diferencia entre el método de estimación tradicional con respecto al espacial. En ambos casos se reconoce el impacto de los países limítrofes en la especificación del modelo al incorporar variables geográficas. En el modelo básico (primera columna), la especificación descansa en el supuesto de observaciones *i. i. d.* (independientes e idénticamente distribuidas) aproximando la característica espacial de los datos mediante una variable *proxy*. Bajo esta especificación, los diferentes test espaciales detectan que los errores no cumplen el supuesto de independencia y el modelo necesita ser reespecificado.

En los modelos espaciales (columnas 2, 3 y 4) hay un reconocimiento de la dependencia espacial entre los datos mediante la incorporación de la matriz de contigüidad, además de incluir variables geográficas. En todos los modelos, puede observarse que los elementos espaciales son significativos y su inclusión es relevante. El modelo SARAR brinda mayor información y muestra que el efecto por considerar es el rezago espacial endógeno. Es decir, el modelo MCO omite una variable que genera inconsistencia de las estimaciones.

En numerosas publicaciones se intenta controlar la interacción espacial de la forma presentada en la estimación MCO sin avanzar más allá. Las estimaciones del cuadro 1 evidencian que este tipo de estrategia no es siempre útil y que debe realizarse un mayor esfuerzo. Además, en dichas publicaciones, los test espaciales no suelen presentarse como evidencia de control efectivo.

SINTONÍA FINA

La mayor disponibilidad de información georreferenciada se presenta como una oportunidad nunca antes experimentada para realizar análisis empíricos. Sin embargo, las herramientas convencionales en econometría no logran aprovechar la riqueza de la información. En este artículo se presentan algunas herramientas de econometría espacial que pueden ser aprovechadas para capturar la complejidad de la información.

Los datos espaciales presentan características particulares al provenir de diferentes fuentes de observación. La agregación altera la variabilidad e impacta en la inferencia por realizar. También el soporte de la información geográfica es importante cuando se combinan diferentes tipos de datos espaciales. El avance en la información permitirá gradualmente identificar y trabajar a escalas cada vez más desagregadas con fuentes de información alternativas, de manera tal que trabajos empíricos como el presentado en este escrito serán cada vez más detallados y podrán identificarse actores locales que realizan exportaciones o importaciones de bienes.

Este mayor detalle desafiará las técnicas estándares de análisis estadístico, lo que requiere el reconocimiento de la particularidad de los datos; en este punto es donde la econometría espacial adquiere relevancia y posibilita el tratamiento de la información. El uso de este herramental es independiente de la dimensión de la base de datos que seguramente tenderá a ser del tipo *geo big data*. El ejemplo empírico evidencia que la estrategia clásica no captura la complejidad de la interacción espacial.

NOTAS

[1] Los países son Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, Honduras, México, Panamá, Perú, Paraguay, El Salvador, Uruguay y Venezuela.

BIBLIOGRAFÍA

Anselin, L. 1988. *Spatial Econometrics: Methods and Models*, Volume 4. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
—. 2010. "Thirty Years of Spatial Econometrics". *Papers in Regional Science*. 89 (1): 3-25.
Arribas-Bel, D. 2014. "Accidental, Open and Everywhere: Emerging Data Sources for the Understanding of Cities". *Applied Geography*. 49: 45-53.
Brueckner, J. 2003. "Strategic Interaction Among Governments: An Overview of Empirical Studies". *International Regional Science Review*. 26 (2): 175-188.
Cressie, N. 2015. *Statistics for Spatial Data*. Edición revisada. Nueva York: Wiley.
Elhorst, J. 2014. *Spatial Econometrics: From Cross-Sectional Data to Spatial Panels*. Heidelberg: Springer.
Feenstra, R. 2004. *Advanced International Trade: Theory and Evidence*. Princeton: Princeton University Press.
Helpman, E., Melitz, M., y Rubinstein, Y. 2008. "Estimating Trade Flows: Trading Partners and Trading Volumes". *The Quarterly Journal of Economics*. 123 (2): 441-487.
Herrera, M. 2017. "Fundamentos de econometría espacial aplicada". *MPRA Paper No. 80871. Munich: University Library of Munich, Universidad de Múnich*.
Jean, N., Burke, M., Xie, M. *et al*. 2016. "Combining Satellite Imagery and Machine Learning to Predict Poverty". *Science*. 353 (6301): 790-794.
Krisztin, T. y Fischer, M. 2015. "The Gravity Model for International Trade: Specification and Estimation Issues". *Spatial Economic Analysis*. 10 (4): 451-470.
LeSage, J. y Pace, R. K. 2009. *Introduction to spatial econometrics*. Boca Ratón: Chapman and Hall/CRC Press.
Martin, P., Mayer, T. y Thoenig, M. 2008. "Make Trade Not War?". *The Review of Economic Studies*. 75 (3): 865-900.
Patino, J. y Duque, J. 2013. "A Review of Regional Science Applications of Satellite Remote Sensing in Urban Settings". *Computers, Environment and Urban Systems*. 37:1-17.
Tobler, W. 1970. "A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region". *Economic Geography*. 46: 234-240.

Macroeconomía de ciencia ficción

Daniel Heymann* y Pablo Mira**
IIEP-BAIRES. UBA-CONICET

EL ANÁLISIS ECONÓMICO ENFRENTA NUEVOS DESAFÍOS. ENTIDADES PÚBLICAS Y PRIVADAS CON GRAN CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE DATOS E INFORMACIÓN DISPONIBLE EN TIEMPO REAL TIENEN EL POTENCIAL DE PREDECIR Y PROYECTAR LA DINÁMICA DE UNA ECONOMÍA. ¿CÓMO COMPLEMENTAR ESTA CAPACIDAD PREDICTIVA DE LOS SISTEMAS ARTIFICIALES CON EL TRABAJO DE LOS ECONOMISTAS?

Hace ya un buen tiempo Isaac Asimov, extraordinaria figura que combinó alto talento de escritor con rigurosa formación científica y, de paso, se ocupó tempranamente (Asimov, 1942) de los problemas éticos asociados con la robótica "humanoide", definió a la ciencia ficción como "la muy *relevante* rama de la literatura que se ocupa de las respuestas humanas a cambios en la ciencia y la tecnología" (Stone, 1980)[1]. Agregaba que un escritor de ciencia ficción: "No intenta ser un profeta. Su trabajo se realiza no necesariamente acertando en sus previsiones, sino martillando en una historia tras otra que la vida será diferente". Quien ensaya imaginar las características de un futuro marcado por el cambio tecnológico enfrenta una situación análoga: quiera que no, debe conformar un escenario virtual que, por hipótesis, difiere sustantivamente de aquellos sobre los cuales construyó sus esquemas de interpretación y análisis.

Con mayor o menor percepción de intensidad, la incertidumbre sobre el futuro es un rasgo genérico del contexto social, tanto a efectos de la toma de decisiones concretas como del estudio y generación de hipótesis y prospectivas. Ante la eventualidad de agudas modificaciones en condiciones y comportamientos, las actitudes suelen dividirse entre la consigna de que enfrentamos un nuevo falso positivo (cuanto más cambia, más es lo mismo) y la afirmativa de que esta vez sí es diferente. La historia ha sido testigo de grandes avances técnicos (sea en materia nuclear o espacial) que no alcanzaron a trastocar las actividades cotidianas de la mayoría de las personas[2] del modo en que lo hicieron los impactos desde direcciones menos previstas (como las tecnologías de información y comunicación).

En estos tiempos hay razones para pensar que están en marcha transformaciones en gran escala, que hacen avizorar cambios considerables en el mundo del trabajo y la producción, y hasta pueden redefinir la propia posición en el mundo del primate pensante. La atención se concentra en estos días en la inteligencia artificial (IA), sus perspectivas y potenciales implicancias. En un intervalo de pocos años, el tema se ha vuelto omnipresente en los medios y en el ámbito académico, como lo indica una medida de las referencias al término en medios internacionales de prensa (ver gráfico 1). En el campo de la investigación económica, una búsqueda sencilla de documentos que mencionan IA en un sitio de consulta usual (www.nber.org) arroja solamente en los últimos meses no menos de una veintena de registros relacionados con el tema.

El conjunto englobado en el término IA contiene un amplio espectro de elementos. Contamos en él desde instrumentos relativamente sencillos y especializados destinados a realizar ta-

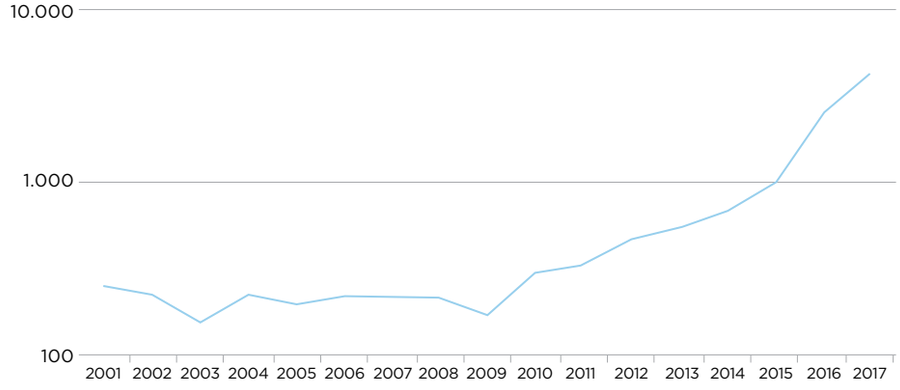
reas, como el reconocimiento de ciertos patrones específicos (firmas en documentos), hasta procedimientos complejos capaces de un desempeño más que humano en actividades que requieren elevadas habilidades de razonamiento. Imaginando futuros, se prometen entes dotados de capacidades de inteligencia general ampliamente superiores a las del *sapiens sapiens*[3]. Los últimos años han estado marcados por un progreso intenso[4] y, a decir de expertos (LeCun, 2018), está abierta la búsqueda de sistemas entrenados sin supervisión, capaces de inteligencia no especializada y dotados de algún tipo de sentido común[5]. Esto se acerca bastante a la aspiración de llegar en algún momento a construir émulos artificiales, y tal vez mejorados, de los agentes económicos de carne, hueso y neuronas para desarrollar tareas que demandan avanzadas destrezas cognitivas.

Cuándo, cómo y con qué consecuencias podría ocurrir eso no es claro, especialmente para meros economistas. Como sea, estas notas presentan a modo de ensayo algunas reflexiones sobre posibles efectos económicos de la IA, más unos breves comentarios autorreferenciales sobre potenciales impactos en la propia disciplina. Dada la naturaleza del ejercicio, nos permitimos incluir algunas consideraciones de tipo valorativo y también diversas excursiones conjeturales.

USUARIOS Y CONSUMIDORES

Tratándose de un caso de innovación de utilización difundida, la IA apunta a una transformación de amplia escala en las formas de producción y consumo, con fuertes consecuencias potenciales en el campo productivo y con implicancias laborales y distributivas, sectoriales y regionales, a las que se sumarían transformaciones en el consumo y en las vinculaciones sociales (*cf.* Brynjolfsson y McAfee, 2014). Con seguridad, emergerán bienes y servicios hasta ahora inexistentes y se abrirán oportunidades de empleo humano resultantes de las ganancias de productividad agregada. Pero las formas de vida de muchas personas serán puestas en cuestión.

GRÁFICO 1
REFERENCIAS A LA IA EN LA PRENSA INTERNACIONAL 2001-2017
UNIDADES, ESCALA LOGARÍTMICA



Nota: El gráfico representa la cantidad total por año de menciones de los términos *artificial intelligence* y *machine learning* en artículos publicados en los diarios *Financial Times*, *New York Times* y *Wall Street Journal*.
Fuente: Elaboración propia con base en *ProQuest*.

"Hacer predicciones es difícil, especialmente sobre el futuro", se le atribuye haber dicho a Niels Bohr.[6] Las capacidades de personas calificadas para vislumbrar tendencias prospectivas y las incertidumbres intrínsecas a esos ejercicios pueden ilustrarse echando un vistazo a episodios anteriores. Una instancia interesante fue una encuesta realizada en 1973, donde se pidió a expertos en IA pronosticar la fecha en la que ciertas tecnologías estarían disponibles en el mercado (Firschein *et al.*, 1973); y en 2016 se realizó una consulta similar (Grace *et al.*, 2017). La tabla 1 muestra los resultados.

Se aprecia que los pronósticos de 1973 tendieron a anticipar la difusión de los desarrollos consultados, con heterogeneidades. Más allá de las fechas esperadas, resultan pertinentes los cambios ocurridos en la agenda. Los encuestados en 1973 tornaban su atención para el día de hoy hacia sistemas ocupados en asuntos relativamente generales aplicables a la industria y a la guerra; los contemporáneos destacan utilizaciones venideras en campos como educación y arte. Interesantemente, entre los eventos previstos que no ocurrieron, destaca el desarrollo, tan temprano como el inicio de los 90, de modelos económicos de pronóstico basados en IA.

Un punto de atención usual en estos campos es el referido a los efectos del cambio tecnológico sobre el crecimiento económico y sobre la existencia e intensidad de los efectos de rendimientos decrecientes de la aplicación de ciertos insumos a la producción. En la actualidad, existe una discusión sobre los determinantes de la desaceleración del incremento de productividad (en particular en los EE. UU.), pese al continuo crecimiento en los recursos dedicados a investigación y desarrollo (ver por ejemplo Knott, 21 de marzo, 2017). Al mismo tiempo, se ha sostenido que la IA podría inducir un crecimiento económico rápido y sostenido (Yudkowsky, 2013). En cuanto a los impactos sobre el empleo, seguramente se abrirán complementariedades entre la IA y las habilidades personales, sea con individuos encargados de asistir al algoritmo (por ejemplo, vía entrenamiento o calibración), o bien utilizando sus servicios. Pero también es de esperar una considerable sustitución de mano de obra (Frey y Osborne, 2013; ver también Acemoglu y Restrepo, 2017a y 2017b; y Korinek y Stiglitz, 2017).

1990
FUE EL AÑO PREVISTO PARA MODELOS ECONÓMICOS BASADOS EN IA

En un escenario así, la evaluación de perspectivas puede dar lugar a actitudes que van desde el entusiasmo exaltado hasta los arrebatos apocalípticos.[7] La visión optimista predice que el cambio tecnológico conducirá a un estado de abundancia más o menos universal en el que IA y personas se potencian mutuamente y donde el tiempo dedicado a trabajos penosos se reemplaza por ocio creativo.[8] En contraste, las perspectivas más sombrías vaticinan amenazas reales de depreciación de una gran variedad de capacidades humanas, que conducen a una creciente fractura social entre unos pocos que potencian sus capacidades con la interacción con la IA y aprovechan las rentas que así se generan, y una mayoría que se ve apartada por la inadecuación de sus habilidades al nuevo entorno.

Las conjeturas sobre los potenciales efectos de desplazamiento de mano de obra han sido bien variadas y, para anticipar esos efectos como un todo, haría falta contemplar el balance agregado de recursos: en la práctica, los trabajadores artificiales requieren alimentación para operar (energía, en especial), y este sería un gasto real que se agregaría al de las personas, ocupadas o no. De manera que quedaría por evaluar la configuración resultante de precios relativos y los consecuentes incentivos a la demanda de diferentes factores productivos.

Dicho esto, en una estimación ampliamente difundida (Manyika *et al*., 2017), se calculó que, hacia 2030, entre 400 y 800 millones de ocupaciones podrían ser sustituidas por las nuevas tecnologías y que la reserva para el trabajo humano se circunscribiría principalmente a tareas de interacción física y empática con otras personas, como la asistencia social o el cuidado de enfermos (Frey y Osborne, 2013; Grace *et al*., 2017).

Tratándose de una tecnología que parece dirigirse a realizar tareas intensivas en habilidades cognitivas y análisis, las perspectivas de sustitución abarcarán campos de desempeño actual de grupos con altos niveles de calificación o educación. Por ese motivo, se plantean preguntas sobre contenidos concretos y modos de enseñanza que prepararían para la actividad productiva en un futuro con presencia difundida de IA. Al tiempo, los mayores beneficiarios de la IA probablemente se encuentren en grupos que ya están al tope en la pirámide de riqueza, capaces de participar activamente en la generación y aprovechamiento de innovaciones, en contextos proclives a la aparición de efectos del tipo "ganador se lleva todo", con el consecuente surgimiento de rentas extraordinarias.

En conjunto, el impacto neto de la IA tendería a acentuar la desigualdad económica (BID, 2017; Korinek y Stiglitz, 2017; Acemoglu y Restrepo, 2017a). Desde el punto de vista de las decisiones colectivas y del diseño de políticas, correspondería tomar en consideración los riesgos para los posibles perdedores y, dentro de ellos, para quienes ya se encuentran en situación vulnerable.[9] El asunto tiene ciertamente un muy relevante elemento pecuniario: les competería a las políticas públicas actuar si un conjunto de la población ve fuertemente restringida su capacidad de generación de ingresos. Ante la perspectiva de contracción significativa de las oportunidades laborales, una respuesta posible es a través de transferencias directas, como en las propuestas de esquemas de ingreso universal.

Una economía donde el grueso de la producción queda a cargo de aparatos y programas, mientras conjuntos significativos de la población están desempleados y sostienen su consumo gracias a la asistencia pública, plantea cuestiones no triviales que exceden lo estrictamente económico. Vale reflexionar sobre si es deseable una configuración social en la que conjuntos importantes de la población no son capaces de contribuir al producto colectivo y adquieren un estatus dependiente, con posibles efectos de propagación entre generaciones. Si esto se percibe como socialmente costoso, el mantenimiento de condiciones de empleabilidad para grupos vulnerables en cuanto a sus niveles de ingreso y en riesgo social de exclusión demandaría atención cercana de las políticas públicas.

Desde el lado de la oferta de trabajo, una mayor y mejor inversión en educación, enfocada especialmente hacia los sectores de menores ingresos, sería un elemento sustantivo para facilitar el acceso a oportunidades de empleo. Pero esto puede no ser suficiente, en tanto: "Virtualmente, cada aspecto del desarrollo humano temprano, de los circuitos cerebrales en evolución a la capacidad del niño para manifestar empatía, es afectado por el entorno y las experiencias que encuentra de un modo acumulativo, empezando en el período prenatal y siguiendo en los primeros años de la infancia" (Shonkoff y Phillips, 2000)[10]. Si las condiciones desfavorables en las etapas tempranas de la vida tienen efectos persistentes, se sigue de ello que habría restricciones para corregirlos si las intervenciones son relativamente tardías, lo que traslada situaciones de pobreza infantil a limitadas capacidades laborales futuras. Cabría entonces un esfuerzo para sostener una demanda apta destinada a absorber trabajadores de reducida calificación, teniendo en cuenta además las repercusiones intergeneracionales que ingresos corrientes insuficientes y la marginalidad social tendrían sobre el acceso a calificaciones hacia adelante.

Es probable que la presencia ubicua de la IA se vea acompañada por una considerable asimetría en las maneras en 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 su cumplimiento de estándares predeterminados. En términos más generales, es posible que se generen brechas sociales entre quienes posean capacidades para contribuir a la construcción de instrumentos, quienes empleen esos sistemas productivamente y los grupos que se limiten a utilizar servicios de IA con fines de consumo a modo de salidas de cajas negras.

La difusión de la IA también afectará por carriles diversos la división internacional del trabajo. En el diseño y construcción de sistemas de IA es probable que operen significativos efectos de escala. Los algoritmos de exploración de internet, por ejemplo, calibran las búsquedas de manera de asegurar que "más clientes generen más datos que generen más consumidores" (Goldfarb y Trefler, 2018). Dado que la rentabili-

TABLA 1:
PRONÓSTICOS DE DISPONIBILIDAD DE TECNOLOGÍAS

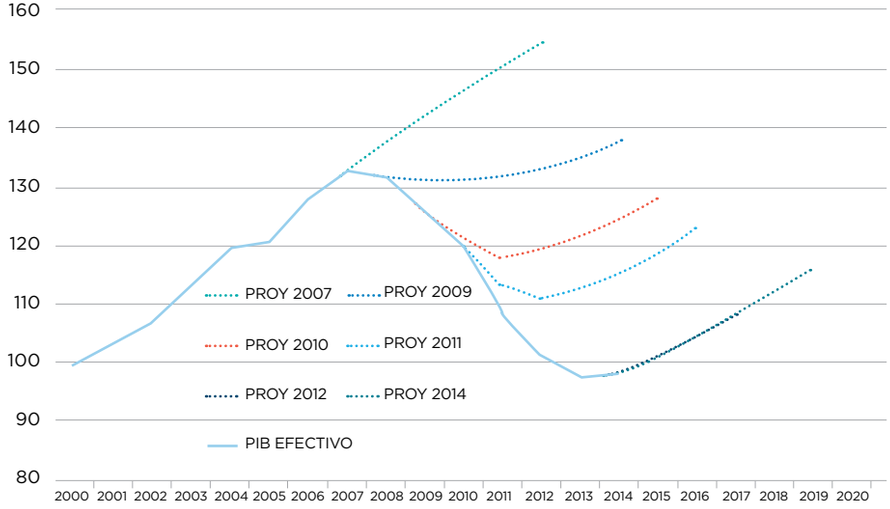
GRUPO	TECNOLOGÍA	ENCUESTA **1973**	ENCUESTA **2016**
I	Transcripción de la voz	1992	2022
	Traductor automático	1995	2023
II	Jugador universal // Explicar una movida en un juego	1985	2026
	Robot chofer // Camión automanejado	2000	2029
	Sistema evaluador de arte // Generador de canción top	2003	2029
	Robot industrial // Robot corredor mejor a humanos	1980	2030
	Robot para tareas domésticas // Vendedor al público	2010	2031
	Diagnóstico médico automático // Cirugía robótica	1982	2046
III	Redacción de un texto de nivel secundario		2025
	Escribir *best seller*		2050
	Investigación en matemática		2055
	Todas las tareas humanas		2060
IV	Robot soldado	1995	
	Juez computarizado	1995	
	Modelo económico de pronóstico	1990	

Nota: Los años representan la mediana de los pronósticos. El grupo I de temas compara predicciones sobre la misma tecnología. El grupo II coteja predicciones sobre innovaciones relacionadas, pero no idénticas. Los temas del grupo III solo se tratan en la encuesta de 2016, mientras que los del grupo IV fueron consultados solo en 1973.
Fuente: Elaboración propia a partir de Firschein et al. (1973) y Grace et al. (2017)

dad de contar con un equipo con IA en una empresa depende del espectro de aplicaciones sobre los cuales se trabaje, y que los propios datos que sirvan de insumos al aprendizaje de los programas pueden tener usos múltiples, las nuevas tecnologías también dispondrían de economías de alcance. Un tercer rasgo de la investigación y desarrollo en IA son las externalidades de conocimiento, asociadas al acceso directo e inmediato a una variedad de ideas y destrezas no codificadas, pero potencialmente útiles. En conjunto, estas condiciones podrían propiciar la concentración geográfica de la actividad de punta, una secuela de lo que hoy ya ocurre con polos de alta especialización en EE. UU., crecientemente en China y en algunos centros europeos.

Si las grandes ligas están más o menos reservadas a jugadores pesados, sigue abierta la cuestión sobre el cuadro de oportunidades que enfrentarían economías periféricas de ingreso medio, como las latinoamericanas, tanto en lo que hace a posibilidades como a alternativas de política. En cualquier caso, 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 versátiles e inestables. Inversiones en la adquisición, conservación en el país (punto no trivial dada la atracción de los centros) y difusión de competencias en la materia pueden facilitar la búsqueda de usos productivos de las tecnologías en contextos locales e identificar potenciales áreas donde aplicar esfuerzos propios de I+D con expectativas de éxito. Esto operaría en paralelo con procesos de difusión capilar del uso de las tecnologías en diversas aplicaciones productivas.

GRÁFICO 2
GRECIA: PROYECCIONES Y VALOR EFECTIVO DEL PIB



Nota: Cada línea punteada indica la tendencia estimada en cada año hacia adelante. La línea llena muestra la evolución real del PIB.
Fuente: FMI, *World Economic Outlook*.

DECISIONES ECONÓMICAS

Resulta natural que sistemas dedicados al procesamiento de información se apliquen a procesos de decisión económica. El papel que cumpla la IA en ese contexto puede variar en un rango amplio, desde la provisión de datos elaborados de manera más o menos elemental, pasando por la formulación de proyecciones, hasta la recomendación de estrategias. En el límite, la IA podría ser capaz de implementar directamente acciones elegidas por el sistema y constituirse en un agente de decisión con algún grado de autonomía.

Esto ha empezado a ocurrir y no por parte de actores secundarios. Existen fondos de inversión que se publicitan como manejados por IA (ver Kumar, 5 de diciembre, 2017). Cotidianamente se deciden otorgamientos o rechazos de crédito sobre la base de *scorings* automatizados. Los gigantes del negocio informático (y otros no tan grandes) explotan la vasta cantidad de datos de búsquedas en internet y de transacciones en línea para identificar patrones de comportamiento que les permitan aumentar beneficios calibrando las propiedades y los precios de sus servicios. El análisis académico ha comenzado la exploración del uso de la IA como instrumento para mejorar el diseño de mecanismos de transacción y contratación (Milgrom y Tadelis, 2018).

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 conocimiento superiores en los ámbitos relevantes para la interacción. La propiedad distintiva en la relación entre humanos es que el agente dispone de un aparato cognitivo similar al del principal y además goza de capacidad de introspección. Esto implica que, por un lado, el agente puede comportarse estratégicamente y, por el otro, que está en condiciones de dar cuenta de sus actos o de sus recomendaciones, lo que explica el razonamiento subyacente. En el estado actual de los sistemas de IA basados en redes neuronales, la relación podría en principio contar con una alineación de incentivos si el sistema ha sido entrenado con un propósito definido compatible con los deseos del principal humano.[11] Pero el asesoramiento o recomendación por parte de un sistema sin capacidad explicativa se parecería mucho al de un oráculo, lo que afectaría la evaluación sobre su confiabilidad. En cambio, si una IA con capacidades muy superiores a las humanas para la tarea en cuestión estuviera dotada de introspección, evaluar las salidas generadas por el sistema podría crear dilemas simétricos: la IA justifica su producto, pero el argumento excede la comprensión del demandante.

Estas dificultades podrían condicionar la difusión de contratos inteligentes de cierta complejidad diseñados por IA o con su ayuda. Las personas que reciben una oferta para participar en tales arreglos podrían exhibir una actitud precautoria frente a la asimetría de conocimiento en favor de la contraparte que realiza la propuesta, pero que no logra racionalizar por qué desea incluir una u otra cláusula. El problema de justificación podría derivar en ramificaciones legales si uno de los participantes en un contrato construido por IA presenta un reclamo invocando después del hecho una especificación arbitraria

o discriminatoria del arreglo (Bostrom y Yudkowsky, 2014).

Hasta aquí la discusión se refirió a sistemas aislados de IA que operan en un entorno dado. Sin embargo, la evolución de las economías vendrá dada por el resultado colectivo del comportamiento interactivo de las personas con los ecosistemas de IA de distinta naturaleza y área de aplicación que vayan emergiendo.

Como proposición general, el aprendizaje por parte de los agentes económicos induce comportamientos que a su vez varían el paisaje donde se desenvuelve cada uno de ellos.[12] Esto vale tanto para humanos como para artefactos. Todos ellos, a su modo, estarían además sujetos al problema de inducción y buscarían utilizar información pasada para proyectar futuros que no necesariamente reproducirán los patrones previos. La aparición de la IA como agente o elemento influyente en decisiones económicas tendría el potencial de generar tales modificaciones relevantes en el entorno. Esos cambios tendrían características particulares, si es que los nuevos actores agregan capacidad cognitiva respecto de la que se aplicaba anteriormente. En un escenario de ese tipo, tenderían a producirse o acentuarse asimetrías en la calidad de las decisiones entre quienes tengan acceso a los sistemas artificiales (y, según el caso, estén en condiciones de interactuar con ellos) y quienes 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.[13]

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 sistémicas.

Como fenómenos en los que uno de sus rasgos centrales es la ruptura de contratos y promesas, las crisis están asociadas intrínsecamente con una difundida frustración de expectativas, que se manifiesta en una evolución de los ingresos marcadamente distinta de la esperada. Esto se ilustra en el gráfico 2, que muestra el contraste entre proyecciones y realizaciones del producto agregado en una economía como la de Grecia, que experimentó una aguda crisis. Como en otros casos análogos, esta economía debió afrontar con su reducido ingreso efectivo las deudas que contrajo cuando estimaciones autorizadas le dejaban avizorar un futuro de prosperidad.

El desarrollo de sistemas de IA puede dar lugar a que los procesos de decisión individuales sean crecientemente sofisticados e informados pero, al mismo tiempo, tiene el potencial de aumentar la complejidad del entorno donde esos sistemas se desenvuelven. No habría garantía de que no emerjan en el camino errores colectivos con implicancias macroeconómicas, como ha ocurrido en variadas 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.

La irrupción de la IA indudablemente repercutirá sobre las tareas de investigación y análisis, y esto no excluye al campo de la economía. Aquí también habrá relaciones de complementación y sustitución entre los trabajos humanos y de los sistemas artificiales, y probablemente cambios apreciables en las modalidades de análisis.

Si alguna vez la IA está en condiciones de percibir ironías, tal vez sonría a su modo ante la hipótesis típica en el análisis económico actual de que el agente económico de carne y hueso es un estricto optimizador dado un conocimiento maximal de su entorno. 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 de óptimo, y se moverán hacia modelos de múltiples agentes (*cf.* Janssen y Ostrom, 2006; Heymann, Perazzo y Zimmermann, 2013) que interactúan en entornos fluidos donde resulta difícil formular procedimientos de identificación de conductas estrictamente maximizadoras, y donde las reglas de decisión se derivan de la observación de muchas instancias de comportamiento reales a través de las huellas que dejan los agentes en sus acciones *online.* En este caso, puede ocurrir que la ventaja comparativa en la construcción y operación de los modelos pase del restringido ámbito académico a entidades privadas (además de las públicas) con gran capacidad de obtención de datos y masas de información procesable, y que pueden tener un interés especial para la elaboración de instrumentos destinados a describir y proyectar la evolución macroeconómica.

NOTAS

*Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Económicas. Buenos Aires, Argentina. CONICET-UBA. Instituto Interdisciplinario de Economía Política de Buenos Aires (IIEP-BAIRES). Buenos Aires, Argentina.

**Agradecemos los comentarios y aportes de Santiago Chelala, Daniel Aromí, Santiago Cesteros, Gustavo Montero y Javier Legris. Aplica el descargo usual.

[1] Énfasis en el original.

[2] Reservando juicio sobre el futuro, tal vez no tan lejano (ver National Geographic, 2018; Tollefson, 2018). En el propio campo de desarrollo de la inteligencia artificial ha habido fluctuaciones en la velocidad y dirección de los avances. Por ejemplo, el interés por los esquemas de redes neuronales atravesó períodos de baja actividad antes de tomar fuerte impulso con las modernas técnicas de aprendizaje profundo (*deep learning*).

[3] Para estos propósitos, una definición útil (aunque necesariamente borrosa) de *inteligencia* puede ser la siguiente: "Esa suerte de cosa que emerge de los cerebros, que puede jugar ajedrez, ponerle precio a activos financieros, inventar proyectiles y descubrir la gravedad observando luces movibles en el cielo y que, si una máquina la poseyera en suficiente cantidad, podría permitirle inventar la nanotecnología molecular; y así de seguido" (Yudkowsky, 2013). Para una evaluación crítica de la noción de la inteligencia como una variable escalar y del argumento según el cual las máquinas están prontas a superar la inteligencia humana, ver Kelly (2016).

[4] Algunos de estos avances tuvieron alta repercusión pública, como cuando un robot superó el puntaje requerido en China en el examen que habilita para el ejercicio de la medicina (Si y Yu, 2017) o se concretó el éxito del programa AlphaGo Zero en el juego de Go, que superó a jugadores humanos y a otros programas habiéndose entrenado sin utilizar datos humanos (*cf.* https://deepmind.com/research/alphago/). Al mismo tiempo, se han formulado advertencias sobre las limitaciones de los algoritmos en su estado actual (por ejemplo, LeCun, 2018; Hofstadter, 30 de enero, 2018).

[5] LeCun (2018) define *sentido común* a la habilidad para emplear experiencias anteriores y hacer uso de información no formalmente estructurada, a efectos de llenar huecos en la descripción de entornos complejos y del conocimiento sobre ellos, para su uso en la toma de decisiones.

[6] Tal vez valga aludir también a otra de sus líneas memorables: "Nunca te expreses más claramente de lo que seas capaz de pensar".

[7] No por primera vez; ver por ejemplo la discusión de Umberto Eco (1965) acerca de las posturas sobre los efectos de los medios de comunicación masiva.

[8] Puede valer aquí un recordatorio de la visión prospectiva de Keynes (1930) sobre el acortamiento del tiempo de trabajo para las generaciones venideras.

[9] Esta discusión deja de lado las implicancias para las políticas impositivas derivadas de la posible concentración de la propiedad de máquinas inteligentes. Al respecto, ver por ejemplo Korinek y Stiglitz (2017) y Guerreiro, Rebelo y Teles (2017).

[10] Citado en Heckman (2006), quien completa: "Las competencias cognitivas, lingüísticas, sociales y emocionales son interdependientes; todas están influidas fuertemente por la experiencia del niño en desarrollo..., las habilidades humanas se forman en una secuencia previsible de períodos sensibles, durante los cuales el desarrollo de circuitos neuronales específicos y de los comportamientos que ellos median es más plástico".

[11] Excede a esta discusión considerar los dilemas que surgirían ante sistemas de IA dotados de voluntad propia en cuanto a la selección de objetivos. Los temores acerca de esta posibilidad fueron expresados por figuras prominentes, como Hawking (Cellan-Jones, 2 de diciembre, 2014), pero descartados por otras (Yudkowsky, 2008).

[12] En última instancia, la conocida crítica de Lucas (1976) representa una instancia particular de esta

proposición con el aditamento, innecesario, de una hipótesis no bien definida sobre racionalidad de expectativas (*cf.* Heymann y Pascuini, 2017).

[13] Por supuesto, la IA podría y debería aprender acerca de la falibilidad de extrapolaciones simples en condiciones fluidas y acerca del efecto agregado de esos aprendizajes. Resulta difícil adivinar las propiedades de un sistema impulsado por una evolución así.

BIBLIOGRAFÍA

Acemoglu, D. y Restrepo, P. 2017a. "Low-Skill and High-Skill Automation". NBER Working Paper No. 24119. Cambridge: National Bureau of Economic Research.

—. 2017b. "Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets". NBER Working Paper No. 23285. Cambridge: National Bureau of Economic Research.

Asimov, I. 1942. "Runaround". En: *I Robot*. Nueva York: Gnome Press. (1950).

BID. 2017. *Robotlución. El futuro del trabajo en la integración 4.0 de América Latina*. CABA: BID-INTAL.

Bostrom, N. y Yudkowsky, E. 2014. "The Ethics of Artificial Intelligence". En: K. Frankish y W. M. Ramsey, editores. *The Cambridge Handbook of Artificial Intelligence*. Cambridge: Cambridge University Press.

Brynjolfsson, E. y McAfee, A. 2014. *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. Nueva York: W. W. Norton & Company.

Cellan-Jones, R. "Stephen Hawking Warns Artificial Intelligence Could End Mankind". BBC News. **2 de diciembre, 2014**.

Eco, U. 1965. *Apocalípticos e integrados*. Barcelona: Lumen.

Firschein, O., Fischler, M. A., Coles, S. L. *et al*. 1973. "Forecasting and Assessing the Impact of Artificial Intelligence on Society". *Proceedings of the Third International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-73)*. California: Stanford University.

Frey, C. B. y Osborne, M. 2013. "The Future of Employment. How Susceptible are Jobs to Computerisation". Working Paper. Oxford: Oxford Martin School y University of Oxford.

Goldfarb, A. y Trefler, D. 2018. "AI and International Trade". NBER Working Paper No. 24254. Cambridge: National Bureau of Economic Research.

Grace, K., Salvatier, J., Dafoe, A. *et al*. 2017. "When Will AI Exceed Human Performance? Evidence from AI Experts". *arXiv:1705.08807*.

Guerreiro, J., Rebelo, S. y Teles, P. 2017. "Should Robots be Taxed?". NBER Working Paper No. 23806. Cambridge: National Bureau of Economic Research.

Heckman, J. J. 2006. "Skill Formation and the Economics of Investing in Disadvantaged Children". *Science*. 312 (5782): 1900-1902.

Heymann, C. D. y Pascuini, P. 2017. "On the (In)consistency of RE Modeling". *Anales. Asociación Argentina de Economía Política. LII Reunión Anual*. Buenos Aires: Asociación Argentina de Economía Política

Heymann. D., Perazzo, R. y Zimmermann, M. 2013. *Economía de fronteras abiertas. Exploraciones en sistemas sociales complejos*. Buenos Aires: Teseo-UdeSA.

Hofstadter, D. "The Shallowness of Google Translate". The Atlantic. **30 de enero, 2018**.

Janssen, M. A. y Ostrom, E. 2006. "Empirically Based, Agent-Based Models". *Ecology and Society*. 11 (2): 37.

Kelly, K. 2016. *The Inevitable: Understanding the 12 Technological Forces That Will Shape Our Future*. Nueva York: Penguin Books.

Keynes J.M [1930 (2010)]. "Economic Possibilities for Our Grandchildren". En: *Essays in Persuasion*. Londres: Palgrave Macmillan.

Knott, A. M. "Is R&D Getting Harder, or Are Companies Just Getting Worse At It?". Harvard Business Review. **21 de marzo, 2017**.

Korinek, A. y Stiglitz, J. E. 2017. "Artificial Intelligence and Its Implications for Income Distribution and Unemployment". NBER Working Paper No. 24174. Cambridge: National Bureau of Economic Research.

Kumar, N. "How AI Will Invade Every Corner of Wall Street". Bloomberg. **5 de diciembre, 2017**.

LeCun, Y. 2018. "Deep Learning and the Future of Artificial Intelligence". Conferencia Green Family Lecture Series del Institute for Pure and Applied Mathematics, UCLA. Los Angeles, California.

Lucas, R. E. 1976. "Econometric Policy Evaluation: A Critique". *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*. 1: 19-46.

Manyika, J., Lund, S., Chui, M. *et al*. 2017. *Jobs Lost, Jobs Gained: Workforce Transitions in a Time of Automation*. McKinsey Global Institute.

Milgrom, P. R. y Tadelis, S. 2018. "How Artificial Intelligence and Machine Learning Can Impact Market Design". NBER Working Paper No. 24282. Cambridge: National Bureau of Economic Research.

National Geographic. 2018. "Stephen Hawking on Space Exploration". *Live from Space*.

Shonkoff, J. y Phillips, D., editores. 2000. *From Neurons to Neighborhoods: The Science of Early Child Development*. Washington DC: National Academies Press.

Si, M. y Yu, C. "Chinese Robot Becomes World's First Machine to Pass Medical Exam". China Daily. **10 de noviembre, 2017**.

Stone, P. "Science, Technology and Space: The Isaac Asimov Interview". Mother Earth News. **Septiembre/octubre, 1980**.

Tollefson, J. 2018. "MIT Launches Multimillion-Dollar Collaboration to Develop Fusion Energy". *Nature*. 555 (7696): 294-295.

Wilson, H. J., Alter, A. y Shukla, P. "Companies Are Reimagining Business Processes with Algorithms". Harvard Business Review. **8 de febrero, 2016**.

Yudkowsky, E. 2008. "Artificial Intelligence as a Positive and Negative Factor in Global Risk". En: N. Bostrom y M. M. irkovi, editores. *Global Catastrophic Risks*. Nueva York: Oxford University Press.

—. 2013. "Intelligence Explosion Microeconomics". Technical Report No. 2013-1. Berkeley: Machine Intelligence Research Institute.

LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL CONTRIBUYE A RESOLVER PROBLEMAS ENDÉMICOS EN NUESTRAS SOCIEDADES COMO LA FALTA DE TRANSPARENCIA EN EL FINANCIAMIENTO DE LAS CAMPAÑAS POLÍTICAS.

Comercio Exponencial

En el comercio minorista, la industria automotriz, el sector primario, las finanzas y la logística, la inteligencia artificial está revolucionando la manera de conectar clientes y proveedores. Cómo dar un salto de productividad en la nueva era digital.

El comercio electrónico en la era de los *bots*

Carlos Chesñevar y Elsa Estevez
Universidad Nacional del Sur y CONICET

EL COMERCIO ELECTRÓNICO ESTÁ INGRESANDO EN UNA NUEVA ERA CON LA GENERALIZACIÓN DE BOTS. CÓMO ESTOS INSTRUMENTOS SE UTILIZAN PARA FACILITAR FUNCIONES RELEVANTES QUE SOPORTAN OPERACIONES COMERCIALES A TRAVÉS DE INTERNET, EL *MARKETING* DIRECCIONADO PARA VENTA EN LÍNEA Y EL SOPORTE EMPRESARIAL HACIA CLIENTES Y POTENCIALES COMPRADORES EN EL PROCESO DE VENTA Y POSVENTA.

La inteligencia artificial (IA) es una disciplina transversal a muchas áreas y tiene impacto en sistemas complejos tan variados como vehículos autónomos, sistemas de recomendación, toma inteligente de decisiones y búsqueda en internet, entre otros. Existen, actualmente, muchas aplicaciones de IA en varios dominios; desde aquellas que facilitan nuestras actividades en la vida cotidiana, como los asistentes personales del tipo de Alexa[1] y Siri[2], pasando por aplicaciones médicas inteligentes que permiten diagnosticar y detectar prematuramente el cáncer[3] y sistemas inteligentes para resolver expedientes jurídicos simples –como Compas[4] y Prometea[5]–; hasta vehículos autónomos que, con base en IA, son capaces de recibir e interpretar información del contexto e imitar las capacidades humanas de conducción y control de vehículos.

El comercio electrónico es un área de especial interés para la aplicación de IA. Considerando los beneficios y riesgos asociados, puede beneficiarse al aplicar IA para entender mejor las necesidades de los clientes y hacer ventas dirigidas con base en las preferencias de los consumidores. Simultáneamente, los riesgos asociados son acotados y controlados –no están relacionados con riesgos para la vida humana, sino con la posibilidad de una recomendación inapropiada para el cliente, la venta de un producto inadecuado o efectos similares–.

En particular, el incremento de variadas opciones para pagos por internet y la posibilidad de realizar ofertas de productos en plataformas en línea facilitan que el comercio electrónico pueda aplicar técnicas de IA para identificar el perfil de los consumidores y, sobre la base del mismo, mejorar y potenciar las posibilidades de distintos modelos de negocios. La IA ha beneficiado a distintos modelos de negocio en línea a través de algoritmos específicos que apuntan a extraer conclusiones inteligentes para adelantarse a la demanda del público realizando anticipadamente ofertas o soluciones destinadas a resolver sus necesidades específicas.

Una encuesta[6] realizada en 2016 en Estados Unidos a profesionales con la responsabilidad de conducir gerencias de *marketing* o puestos similares, en empresas de más de 250 empleados, determinó que la mayoría cree en el gran potencial de la IA para transformar las ventas y el *marketing*, pero, al mismo tiempo, tiene desconfianza en cómo introducir estas técnicas en sus operaciones. El 80% de ellos creía que la IA iba a revolucionar la industria del *marketing* en los siguientes cinco años, pero solo el 26% se consideraba confiado en comprender cómo se usa la IA y solo el 10% utilizaba IA en ese momento. En la misma encuesta se identificaron los principales desafíos y beneficios de la aplicación de IA (gráfico 1).

A continuación, explicamos las técnicas más relevantes utilizadas en IA para el aprendizaje automatizado y luego abordamos dos aspectos particulares en los cuales el comercio electrónico puede potenciarse a partir de la aplicación de IA: el *marketing* direccionado por internet para venta en línea y el soporte empresarial hacia clientes y potenciales compradores en el proceso de venta y posventa. Por último, discutimos una prospectiva de IA para el comercio electrónico y resumimos las conclusiones.

Un estudio reciente de Ovanessoff y Plastino (2017) determinó que la inteligencia artificial tiene el potencial de aumentar el crecimiento económico anual en Sudamérica en un punto porcentual del valor agregado bruto. El estudio analizó el impacto del uso de inteligencia artificial en cinco economías, Argentina, Brasil, Chile, Colombia y Perú, que en conjunto representan el 85% de la producción económica sudamericana. Se analizaron dos escenarios, uno en base al crecimiento económico anual esperado según los supuestos actuales, y el otro considerando el crecimiento económico esperado luego que el impacto de la inteligencia artificial haya sido absorbido por la economía. Los escenarios se midieron al 2035 y se observa que en el segundo escenario, en total, los cinco países incrementarían sus economías en US$ 674.000 millones, aproximadamente el 13%; siendo las economías de Chile y Perú las que más se beneficiarían (15%), seguidas por las de Brasil y Colombia (13) y Argentina (9%).

APRENDIZAJE AUTOMATIZADO

Una de las grandes áreas de IA que ha evolucionado fuertemente en la última década es el denominado *aprendizaje de máquina* o *aprendizaje automatizado* (en inglés *machine learning*), que hace referencia a un conjunto de técnicas computacionales que permiten construir modelos predictivos complejos a partir de grandes conjuntos de datos. El aprendizaje de máquina constituye la base computacional que se utiliza para realizar la minería de datos (procesos que intentan descubrir patrones en grandes volúmenes de datos) y la inteligencia de negocios, y se basa en diferentes técnicas. En todas ellas se toman bases de datos con información ya conocida, a partir de la cual se construye automáticamente un modelo predictivo que permite realizar clasificaciones y asociaciones con nueva información. Algunas técnicas de aprendizaje de máquina comúnmente usadas son las siguientes:

Redes neuronales: imitan la arquitectura de redes de neuronas humanas y sus interconexiones para arribar a conclusiones, sujetas a un nivel de probabilidad. Estas redes permiten resolver problemas muy complejos, como el reconocimiento de una cara humana en una fotografía, pero requieren altos niveles de entrenamiento a partir de información ya conocida. Este entrenamiento permite calibrar los valores de cada neurona para que todas ellas, en conjunto, permitan realizar predicciones con muy alta fiabilidad.

Árboles de decisión: pueden construirse automáticamente a través de algoritmos específicos y sirven para representar y categorizar una serie de condiciones que ocurren de forma sucesiva, para la resolución de un problema.

Reglas de clasificación: permiten determinar la categoría o la clase correspondiente a un nuevo individuo a partir de distintas características conocidas, por ejemplo, una regla que permita determinar si un cliente es potencial candidato a recibir un crédito conociendo su salario mensual, sus créditos anteriores, su situación laboral, etcétera.

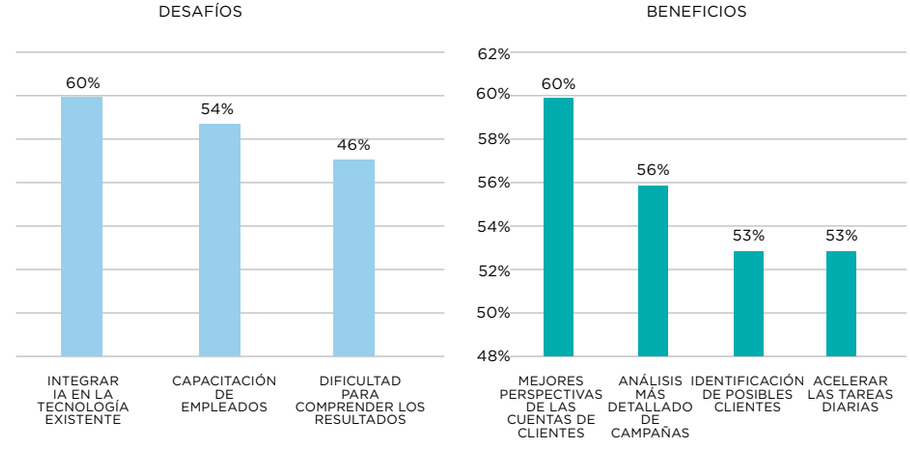
Reglas de asociación: permiten descubrir patrones o regularidades en una base de datos relacionando la aparición de un grupo de determinadas características con otro grupo de estas. El ejemplo típico es el denominado *análisis de la cesta de compra* (en inglés, *market basket analysis*), donde se infiere automáticamente el patrón de compra del consumidor promedio a partir del análisis de miles de canastos de compra, por ejemplo, una persona que compra pan y leche típicamente también compra mermelada y manteca.

La gran disponibilidad de información digital disponible a través de internet ha dado como resultado que haya miles de millones de ítems de información, lo que llevó a acuñar el término *Big Data* para hacer referencia a un conjunto de datos de tal magnitud que las aplicaciones informáticas tradicionales necesitan emplear algoritmos especiales de IA (basados en las técnicas antes descriptas) para encontrar patrones recurrentes dentro de esos datos (Marr, 2016). En base a estos datos y según el dominio de aplicación y el tipo de problema a resolver, suelen utilizarse distintas técnicas de las antes mencionadas o combinaciones de ellas.

MARKETING DIRECCIONADO

Una de las aplicaciones más ubicuas de la IA en el ámbito del comercio electrónico lo constituyen los sistemas de recomendación. Estos son sistemas de filtrado de información que trabajan con base en distintos tipos de ítems de información (películas, música, libros, noticias, imágenes, descripciones de productos, etcétera) que son del interés de un usuario en particular. Generalmente, un sistema de recomendación compara el perfil del usuario con algunas características de referencia de los ítems mencionados y busca predecir el *ranking* o ponderación que el usuario le daría a un ítem y que aún el sistema no ha considerado (Scholz *et al*., 2017). Estas características pueden basarse en información

GRÁFICO 1
DESAFÍOS Y BENEFICIOS DE APLICAR IA EN LA COMERCIALIZACIÓN



Fuente: Elaboración propia con base en datos tomados de la encuesta realizada por DemandBase (13 de diciembre, 2016).

sobre la relación o acercamiento del usuario con el tema o sobre el ambiente social del usuario.

Los sistemas de recomendación permiten una personalización automatizada de los sitios en línea orientados a comercio electrónico, lo que aumenta las ventas y el número de potenciales clientes a partir de transformar a los visitantes en nuevos consumidores. También permiten agrupar productos similares que sean de interés para el consumidor y aumentar su fidelización. La fidelización del cliente se logra mostrando que la empresa tiene en cuenta las distintas necesidades y preferencias del consumidor y ayudándolo a orientar su búsqueda hacia los productos que más le interesan. En consecuencia, el consumidor tenderá a volver al mismo sitio de venta en línea en lugar de utilizar otro sitio de la competencia en razón de que el sistema ha "aprendido" sus gustos y necesidades sin que él tenga que explicitarlas, lo que naturalmente aumenta la satisfacción del cliente.

¿Qué tipo de elementos se utilizan para realizar recomendaciones basadas en IA? En los sistemas de recomendación juegan un rol relevante los datos demográficos de los usuarios, que son aquellos atributos que pueden afectar las recomendaciones que se realizan. Dentro de este grupo de atributos, se pueden mencionar el grupo etario al que pertenece el cliente, su género, sus *hobbies*, las personas con las que se relaciona, etcétera. Las preferencias de un usuario como potencial consumidor se miden de diferentes formas, por ejemplo, contabilizando los "me gusta" o las estrellas con que puntúa a un producto. La cantidad de tiempo que un visitante pasa en una determinada página web leyendo sobre un producto determinado también es un indicador implícito del interés como potencial comprador sobre dicho producto. Si bien estos identificadores implícitos pueden ser difíciles de obtener, muchas veces ofrecen información que el usuario no está voluntariamente dispuesto a brindar, pero que pueden ser capturados sin intervención o aprobación directa del usuario.

Ejemplos exitosos del poder de los sistemas de recomendación los vemos en sitios en línea como Amazon y Netflix. El caso de Amazon (Smith y Linden, 2017) es quizás el más representativo, desarrollado hace ya dos décadas a fin de ofrecer una librería diferente para cada consumidor, según sus necesidades. Cada persona que accede a la plataforma de compra en línea de Amazon percibe el sitio de manera diferenciada y personalizada según sus intereses. A partir de un catálogo que posee cientos de millones de ítems, el sistema de recomendación de Amazon.com escoge un pequeño número de ítems que se seleccionan como de interés para el usuario, en función del contexto actual y el comportamiento pasado de dicho usuario y otros usuarios que realizaron compras con perfiles similares. Los algoritmos de IA que subyacen al sistema de recomendación permiten así construir un modelo en el que los clientes se ayudan entre sí a escoger la mejor selección de productos posibles, de forma implícita y anónima. Como se señala en Smith y Linden (2017), Amazon.com lanzó su sistema de recomendación de filtrado colaborativo en 1998 y posibilitó una verdadera revolución en la automatización de recomendaciones a una escala jamás vista, para millones de clientes y con un catálogo de millones de artículos. El algoritmo usado por Amazon se extendió en varios sistemas en la web, incluidos YouTube, Netflix y muchos otros. El éxito resultante se debió, en parte, a la escalabilidad, simplicidad y la posibilidad de que el usuario entendiera de manera sencilla por qué se le estaba recomendando un producto en particular.

El caso de Netflix es más reciente, pero igualmente interesante. Más del 80% de los programas de TV que la gente mira en Netflix surgen del sistema de recomendación que posee la plataforma. Esto significa, implícitamente, que la mayoría de lo que un usuario promedio de Netflix elige mirar es el resultado de un algoritmo basado en IA, que funciona como una caja negra. Al igual que en el caso de Amazon, Netflix utiliza algoritmos de aprendizaje automatizado para descubrir los gustos de los consumidores y efectuar recomendaciones. Según indica Todd Yellin, el vicepresidente de innovación de Netflix, en una entrevista a la revista *Wired* (Plummer, 2017) el modelo de negocio subyacente puede pensarse como un banco de tres patas: "Las tres patas de este banco serían los miembros de Netflix por un lado; los anotadores (*taggers*) que entienden todo sobre el contenido; y nuestros algoritmos de aprendizaje automatizado que toman todos los datos y hacen funcionar el conjunto como un todo". Según explica Yellin, Netflix maneja alrededor de 250 millones de perfiles activos. Para cada perfil, se identifican los programas vistos por el usuario, los programas vistos con anterioridad y posterioridad a cada uno de ellos, la hora del día que lo hicieron, etcétera. Eso conforma la primera pata del banco. Esta información se combina con la provista por la segunda, que surge de decenas de colaboradores *freelance* que miran cada programa de Netflix y lo califican con una anotación (*tag*), que involucra cosas tan disímiles como si una serie trata sobre algo romántico, si hay algún actor en el elenco, etcétera. "Tomamos todas estas anotaciones y los datos de comportamiento del usuario y usamos algoritmos de aprendizaje automatizado que infieren qué es lo más importante y cómo deberíamos sopesarlo", puntualiza Yellin. "Lo que logramos crear así son 'comunidades de gustos' (*taste communities*) en todo el mundo. Se trata de descubrir quiénes son las personas que miran el mismo tipo de cosas que usted mira".

CUADRO 1
ESCENARIOS DE CRECIMIENTO PARA PAÍSES SELECCIONADOS DE AMÉRICA LATINA

	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2					
	PIB BASE	APORTE DE AUTOMATIZACIÓN INTELIGENTE	AUMENTO	PRODUCTIVIDAD TOTAL DE LOS FACTORES	TOTAL	DIFERENCIA	DIFERENCIA EN %
BRASIL	3452	166	192	74	3884	432	13%
COLOMBIA	587	24	42	12	665	78	13%
CHILE	420	21	30	12	483	63	15%
ARGENTINA	643	13	30	16	702	59	9%
PERÚ	283	7	28	7	325	42	15%
TOTAL	5385				6059	674	13%

Fuente: elaboración propia.

SOPORTE AL CLIENTE

Como se explicó previamente, la IA está contribuyendo a la evolución del comercio electrónico a partir de los sistemas de recomendaciones. Otro objetivo perseguido es lograr que la experiencia de los usuarios al momento de realizar una compra en línea sea lo más simple y directa posible. Esto lleva a que las acciones y reacciones en tiempo real, resueltas de forma inteligente, marquen una diferencia sustantiva. Se habla incluso del surgimiento del *i-Commerce* o *in-*

stant commerce (comercio instantáneo) (Zenith, 18 de mayo de 2017) como nueva tendencia emergente del comercio electrónico tradicional. Esta modalidad de comercio electrónico nace, en parte, de la necesidad de vender productos en forma directa a través de las redes sociales o plataformas digitales de las empresas. Se busca que el consumidor que quiera resolver una necesidad aquí y ahora tenga las mejores opciones y la mejor experiencia de compra.

Actualmente, se encuentran en estado embrionario nuevas tecnologías basadas en IA orientadas a asistentes de voz (como Amazon Echo[7] y Google Home[8]), que posibilitan una interacción con los sitios de venta en línea para poder consultar catálogos y resolver compras de forma personalizada. Dentro de estas nuevas tecnologías, los *chatbots* (bots[9] de charla o bot conversacional) han probado ser altamente efectivos para brindar soporte al cliente. Estos bots son programas que simulan mantener una conversación con una persona, utilizan para esto técnicas de IA y proveen respuestas automáticas a consultas realizadas por el usuario. Para establecer esta conversación, las técnicas estándares de programación de computadoras permiten utilizar solamente un puñado de frases, lo que impide un diálogo real y flexible entre un potencial cliente y el vendedor (o un cliente que contacte al soporte de venta). La IA permite simular reacciones y frases de un interlocutor humano de manera más realista, manteniendo una conversación con cierta lógica, en la que eventualmente el cliente puede no distinguir si quien le responde es una máquina o una persona. A modo de ejemplo, el gráfico 2 ilustra el inicio del diálogo del tutorial del chatbot de *marketing* de Messenger.

Claramente, aumentar las ventas y al mismo tiempo reducir los costos involucrados es una situación ideal para cualquier comercio. Los chatbots hacen que esto sea posible. Según se indica en Raffath (15 de diciembre, 2016), tan solo en los EE. UU. se pagan US$ 79.000 millones a empleados y servicios orientados a atención al cliente. Se estima que los chatbots tienen el potencial de reemplazar a un 29% de estos representantes, con lo cual se ahorrarían unos US$ 23.000 millones anuales.

Entre las muchas ventajas que ofrecen los chatbots, podemos además destacar que ofrecen un servicio y guía para atención al cliente en una base 24/7 y sin costos de recursos humanos extra. Adicionalmente, los tiempos de respuesta son prácticamente inmediatos, lo que favorece el *i-Commerce*, y personalizan la experiencia de compra a partir de la exactitud que puede lograrse por adquisición de datos del cliente y el conocimiento de sus gustos y preferencias.

A partir de las tecnologías actuales, los chatbots basados en IA permiten definir asistentes de compra digital que pueden explotar la información histórica del cliente en tiempo real, posibilitando algunas de las acciones siguientes: realizar un seguimiento del grado de satisfacción de los consumidores para confirmar su opinión sobre los productos adquiridos; enviar mensajes para fortalecer la comunicación entre el cliente y la empresa, adaptados a los hábitos de consumo, sus preferencias, etcétera; preguntar a un cliente si quiere cambiar la dirección donde recibirá un producto, cuáles son sus horarios de atención preferidos, restricciones de entrega, etcétera; notificar al cliente cuando hay un ítem faltante en *stock*, cuando se ha renovado el *stock* disponible o cuándo se prevé poder resolver su compra en el futuro; y sugerir productos alternativos u ofertas combinadas para la adquisición de ciertos productos preferentes.

La incorporación de un chatbot requiere la definición de la estrategia empresarial subyacente a su utilización. Pueden pensarse distintos tipos de chatbots básicos: el informativo, el que recoge experiencias, el comercial y el de servicios, en función de lo que el consumidor está buscando y la empresa está dispuesta a ofrecer. Para definir el chatbot es necesario establecer con claridad cuáles son las necesidades que la empresa pretende cubrir, lo que deberá ir alineado con un plan de acción que contemple el seguimiento y la supervisión del uso del chatbot.

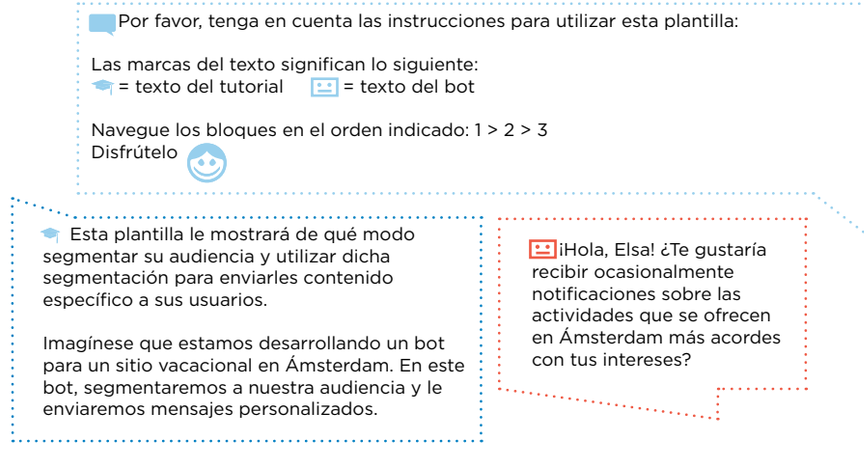
Como se señala en *ChatBots Magazine* (Itsquiz, 13 de marzo de 2017), los bots también permiten representar marcas y actuar en nombre de las mismas en la interacción con los consumidores. En 2016, Microsoft generó el denominado *Bot Framework*[10], que da soporte para que los programadores puedan desarrollar bots para sus propias aplicaciones. De modo similar, Facebook ha alentado a los desarrolladores a trabajar con herramientas de *software* que generen mensajes más estructurados (descripciones, imágenes, URL, etcétera) para fortalecer la relación entre comercio electrónico y chatbots y expandir también la audiencia de Facebook (Kabiljo e Ilic, 2 de junio de 2015).

A partir de la existencia de las plataformas digitales, los consumidores comenzaron a recibir información sobre las marcas a medida que interactuaban con un sitio web. La aparición de los chatbots mejoró estas posibilidades de comunicación. El chatbot aparece como una manera que permite vincular intuitivamente al cliente con la empresa, de manera similar a la que se logra a través de la atención personalizada.

UNA VISIÓN PROSPECTIVA

Tal como se consigna en *ChatBots Magazine* (Itsquiz, 13 de marzo de 2017), el futuro hace pensar que no se utilizará una única técnica de IA para abordar soluciones tecnológicas eficientes. Según la revista *Forbes* (Columbus, 16 de octubre de 2017), el 80% de las empresas están invirtiendo en IA. Los investigadores creen que aún estamos lejos de asistir a la

GRÁFICO 2
CHATBOT DE *MARKETING* DE MESSENGER



Fuente: Messenger Chat Bot Marketing, Facebook.

presencia de una única IA unificada que pueda aplicarse en todos los ámbitos. Deberán darse pasos progresivos que consoliden los distintos acercamientos (sistemas de recomendación, chatbots, asistentes inteligentes, etcétera), que seguramente mejorarán considerablemente en los próximos años y ampliarán su poder de penetración, dado por una mayor adopción de medios digitales por parte de la población en general.

Otra gran modificación previsible en los próximos años es la evolución y adopción de la lengua hablada como mecanismo de comunicación con las máquinas. Las tecnologías disponibles en Siri (Apple) y Google Now son relativamente recientes y el uso común que les damos en la vida cotidiana se restringe a preguntas puntuales acerca del estado del tiempo, la indicación de destinos para un GPS o cuál es el tránsito en un determinado momento del día en nuestra ciudad. Es de esperar que en los próximos años los chatbots incorporen capacidades para reconocer emociones (área de la IA que está en desarrollo incipiente aún), de forma tal que un chatbot pueda atender un requerimiento de un cliente e identificar, por su tono de voz, si el pedido corresponde a alguien que está irritado, aburrido o feliz al interactuar con él (y la relación de este estado de ánimo con la marca que el chatbot representa).

La irrupción de los chatbots en el mundo del comercio electrónico determinará que haya cada vez más interacciones con las máquinas y que mejoren las interfaces utilizadas para esa comunicación. Muchas marcas, tales como 7-Eleven[11] y Lego[12], han desarrollado chatbots para contactar a los consumidores a través de los canales de comunicación que usan diariamente (por ejemplo, cuentas personales de Facebook). Claramente, estas tecnologías están llamadas a tener un carácter disruptivo en la concepción tradicional del comercio en línea.

Según la consultora especializada Gartner (13 de diciembre, 2017), en el año 2020 la IA creará más puestos de trabajo que aquellos que resulten eliminados por su surgimiento, lo que representa un verdadero giro en la dinámica del empleo. Según esta consultora, el número de empleos afectados por IA se verá modificado progresivamente en 2018 y 2019, e incrementará la oferta laboral en las áreas de la salud, el sector público y educación, y disminuirá en la manufacturación. Según indica Svetlana Sicular, vicepresidenta de Investigación de Gartner, la IA mejorará la productividad en muchos puestos de trabajo, eliminará millones de puestos de niveles medio y bajo, pero creará al mismo tiempo millones de nuevos puestos en el área de administración y automatización. Se destaca, en este sentido, el mayor beneficio que puede redundar del uso de la IA, conocido como *acrecentamiento con IA* (*AI augmentation*), una combinación de las capacidades humanas y de la IA, con la que ambas se complementan entre sí de la mejor manera posible. En este sentido, es de esperar que el comercio electrónico sea una de las disciplinas que también resulte muy beneficiada con la adopción de estas tecnologías y que, asimismo, se expanda el modelo tradicional de comercialización en línea a un modelo tecnológicamente superior y con mayores potencialidades para empresas y clientes a partir del uso de tecnologías de IA para prestar servicios de comercialización altamente personalizados y de calidad.

Durante los últimos años, la IA ha ganado especial protagonismo en distintas áreas, amplió las potencialidades de tecnologías ya existentes y creó nuevos nichos para el desarrollo de aplicaciones. Como hemos descripto en este artículo, el comercio electrónico no escapa a este escenario. Las distintas aplicaciones de IA, como los sistemas de recomendación, los chatbots y el procesamiento automatizado de reclamos, contribuyen a mejorar y potenciar las perspectivas para las empresas orientadas al comercio en línea, lo que aumenta la penetración de sus productos en nuevos segmentos del mercado y construye nuevas metáforas para la fidelización de consumidores. Fundamentalmente, la IA en comercio electrónico se basa en la creación de modelos automatizados de interacción entre el consumidor y el proveedor del servicio cada vez más cercanos a los que resultan de la interacción humana, pero transportados al mundo digital. Asimismo, todos estos desarrollos implican también desafíos éticos vinculados a la seguridad de los datos personales y su uso comercial restringido a un marco claramente establecido. En este sentido, las prácticas avanzan más rápidamente que el desarrollo de los marcos regulatorios. Más allá de esto, las técnicas de IA han llegado para quedarse y extender las capacidades tecnológicas actuales en distintas direcciones; el comercio electrónico es, sin duda, un gran beneficiado de esta diseminación, de la cual seguramente surgirán nuevos modelos de negocios y posibilidades en el futuro.

NOTAS

[1] Alexa es un servicio de reconocimiento de voz basado en la nube desarrollado por Amazon e incluido en diferentes clases de dispositivos.

[2] Siri es un servicio de reconocimiento de voz para dispositivos móviles desarrollado por Apple.

[3] El Laboratorio de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), junto con el Hospital General de Massachusetts, y la Escuela Médica de Harvard están investigando la aplicación de IA para mejorar la detección y el diagnóstico del cáncer de mama. Los equipos colaboraron para desarrollar un sistema de inteligencia artificial basado en el aprendizaje automatizado para predecir si una lesión de alto riesgo identificada en la biopsia con aguja después de una mamografía se convertirá en cáncer (Conner-Simons, 16 de octubre de 2017).

[4] Compas es un sistema diseñando en base a técnicas de IA para evaluación de riesgos, usado por la Corte Suprema de Wisconsin en Estados Unidos (Tarantola, 25 de agosto de 2017).

[5] Prometea es un sistema basado en IA especialmente diseñado para predecir la solución de expedientes jurídicos simples. El sistema se utiliza en la Fiscalía General de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) en Argentina y en la Corte Interamericana de Derechos Humanos. Para más información véase el artículo sobre el tema en este mismo volumen.

[6] Encuesta realizada por DemandBase (13 de diciembre, 2016) en colaboración con Wakefield Research.

[7] Amazon Echo es un dispositivo de comando de voz de Amazon.com con funciones que incluyen respuesta a preguntas y reproductor de música.

[8] Google Echo es un dispositivo que permite a los usuarios dar comandos de voz para interactuar con servicios a través del asistente personal de Google.

[9] *Bot* es un término reducido de *robot*, se refiere a un programa de *software* que realiza tareas repetitivas a través de internet.

[10] Microsoft Bot Framework es un marco de referencia y herramientas para el desarrollo de bots.

[11] El chatbot de 7-Eleven permite a los clientes conocer sobre las promociones o los locales comerciales más cercanos.

[12] El chatbot de Lego permite a los usuarios seleccionar el producto Lego más adecuado para regalar.

BIBLIOGRAFÍA

Columbus, L. "80% Of Enterprises Are Investing In AI Today". Forbes. **16 de octubre, 2017**.

Conner-Simons, A. "Using Artificial Intelligence to Improve Early Breast Cancer Detection". MIT News. **16 de octubre, 2017**.

DemandBase. "80 Percent of all Marketing Executives Predict Artificial Intelligence Will Revolutionize Marketing by 2020". DemandBase. **13 de diciembre, 2016**.

Gartner. "Gartner Says By 2020, Artificial Intelligence Will Create More Jobs Than It Eliminates". Press Release. **13 de diciembre, 2017**.

Itsquiz. "Chatbots for Retail and E-Commerce — Part Three". ChatBots Magazine. **13 de marzo, 2017**.

Kabiljo, M. e Ilic, A. "Recommending Items to More than a Billion People". Code. **2 de junio, 2015**.

Marr, B. 2016. *Big Data in Practice: How 45 Successful Companies Used Big Data Analytics to Deliver Extraordinary Results*. Chichester: John Wiley and Sons Ltd.

Ovanessoff, A. y E. Plastino. 2017. "Como la Inteligencia Artificial puede generar crecimiento en Sudamérica", Accenture.

Plummer, L. "This Is How Netflix's Top-Secret Recommendation System Works". Wired. **22 de agosto, 2017**.

Raffath, H. "Chatbot Is the Future: 80% Companies Want to Integrate It by 2020". DazeInfo. **15 de diciembre, 2016**.

Scholz, M., Dorner, V., Schryen, G. *et al.* 2017. "A Configuration-Based Recommender System for Supporting E-Commerce Decisions". *European Journal of Operational Research*. 259 (1): 205-215.

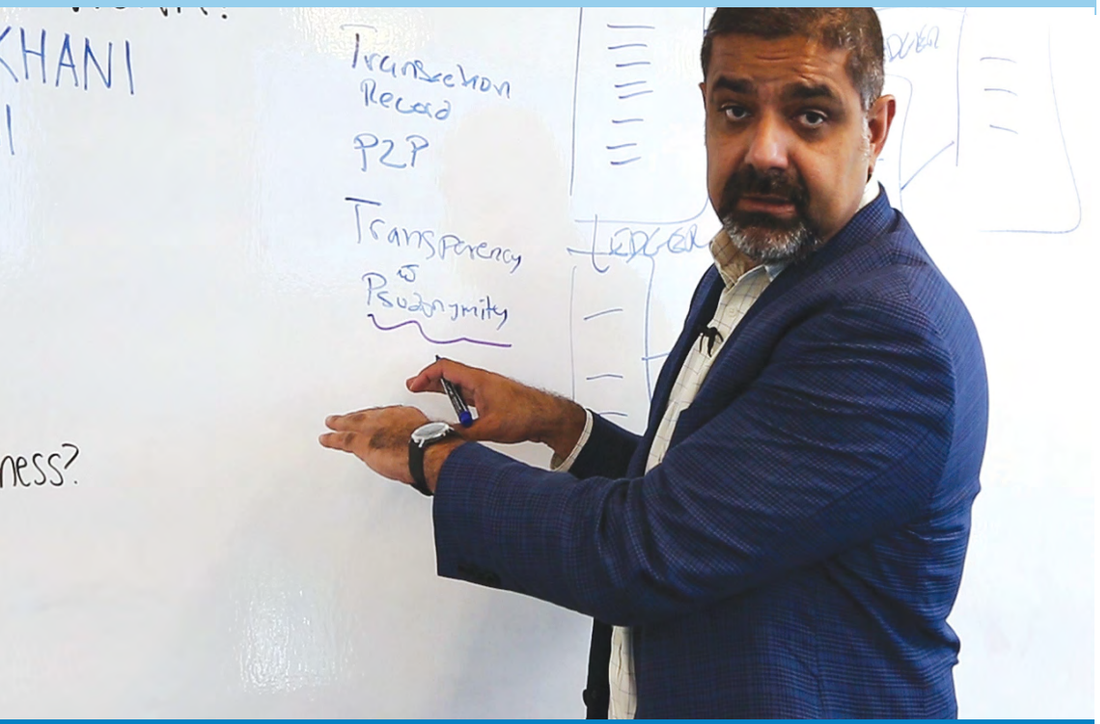
Smith, B. y Linden, G. 2017. "Two Decades of Recommender Systems at Amazon.com". *IEEE Internet Computing*. 21 (3): 12-18.

Tarantola, A. "Watson Is Helping Heal America's Broken Criminal-Sentencing System". Engadget. **25 de agosto, 2017**.

Zenith. "La inteligencia artificial en el *e-commerce*: el *iCommerce* cobra protagonismo". Zenith Bloggin. **18 de mayo, 2017**.

ENTREVISTA

Karim Lakhani
Universidad de Harvard



“La tolerancia al fracaso es la *clave* del desarrollo”

DESDE EL LABORATORY FOR INNOVATION SCIENCE AT HARVARD (LISH) DE LA UNIVERSIDAD DE HARVARD, KARIM LAKHANI COLABORA CON LA NASA Y OTRAS AGENCIAS FEDERALES DE LOS ESTADOS UNIDOS EN LA VANGUARDIA DE LA INNOVACIÓN. EL CONCURSO QUE ORGANIZA ENTRE PROGRAMADORES ES UNO DE LOS MÁS PRESTIGIOSOS DEL MUNDO. EN ESTA CONVERSACIÓN DESTACA EL ROL DE LA IMAGINACIÓN LATINOAMERICANA PARA RESOLVER PROBLEMAS Y ASEGURA QUE LA ESCASEZ DE CAPITAL Y LA DIFICULTAD DE ACCESO A NUEVAS TECNOLOGÍAS DEJARON DE SER RESTRICCIONES PARA EL CRECIMIENTO DE LOS PAÍSES EMERGENTES.

¿De qué forma la inteligencia artificial (IA) transformará nuestra economía?

En la mayoría de los servicios que utilizamos, como Google, Facebook o Netflix, gran parte de las operaciones ya están basadas en IA. Pensemos, por ejemplo, en las recomendaciones que nos hace Google cuando estamos buscando algo, en las traducciones que nos ofrece o en las sugerencias de qué películas mirar. En la última década, vimos cómo se transformaba la información que se iba generando y cómo empezaban a utilizarse los datos para realizar predicciones acerca de lo que iba a ocurrir. Por lo tanto, si bien el sector de la tecnología ha estado utilizando esto activamente durante los últimos 3 a 5 años, lo que está ocurriendo ahora es que estas capacidades están ampliamente difundidas, al alcance de todos. Siempre tuvimos datos, pero antes los utilizábamos para realizar análisis retrospectivos, para ver qué había sucedido en el pasado. Hoy los estamos utilizando para predecir lo que ocurrirá en el futuro.

¿En qué rubros considera que el impacto será mayor?

En los vehículos autónomos, donde la mayor parte de los problemas tecnológicos ya se resolvieron. La cuestión que surge ahora es el modelo de negocios para estas empresas y cómo reaccionarán las ciudades y los gobiernos al hecho de que haya autos robóticos en circulación. Este será el mayor desafío.

¿Algún otro sector económico en donde veremos transformaciones?

Para responder esto deberíamos preguntarnos cuáles son las áreas en las que la gente necesita realizar más predicciones. La respuesta es simple: en muchas. Por ejemplo, la imagenología constituye un área sumamente importante, ya que hay una gran proporción de falsos positivos y falsos negativos que surgen de las interpretaciones de las imágenes médicas realizadas por personas. La IA podría ayudar a identificar los problemas y aportar una segunda opinión. En términos más generales, podemos decir que la IA tiene un papel importante que desempeñar para apoyar la toma de cualquier decisión que esté basada en datos. Un ejemplo son las campañas de *marketing*, donde se puede saber a qué clientes apuntar o qué clientes van a permanecer o van a alejarse. También en el manejo de los recursos humanos, hay todo un campo que tiene que ver con

KARIM LAKHANI ES PROFESOR EN LA ESCUELA DE NEGOCIOS DE LA UNIVERSIDAD DE HARVARD. ESPECIALIZADO EN *MANAGEMENT* Y TECNOLOGÍA, ES FUNDADOR Y CODIRECTOR DEL LABORATORIO DE INNOVACIÓN CIENTÍFICA. ES UN REFERENTE MUNDIAL EN INNOVACIÓN A PARTIR DE *CROWDSOURCING*. A CONTINUACIÓN, ALGUNAS DE SUS PUBLICACIONES:

· "DIGITAL UBIQUITY: HOW CONNECTIONS, SENSORS, AND DATA ARE REVOLUTIONIZING BUSINESS". *HARVARD BUSINESS REVIEW*. 92 (11): 90-99. CON M. IANSITI. 2014.

· "USING OPEN INNOVATION TO IDENTIFY THE BEST IDEAS". *MIT SLOAN MANAGEMENT REVIEW*. 55 (1): 41-48. CON A. KING. 2013.

· "USING THE CROWD AS AN INNOVATION PARTNER". *HARVARD BUSINESS REVIEW*. 91 (4): 61-69. CON K. BOUDREAU. 2013.

· "OPEN INNOVATION AND ORGANIZATION DESIGN". *JOURNAL OF ORGANIZATION DESIGN*. 1 (1): 24-27. 2012.

cómo aplicamos los análisis de datos y el aprendizaje automático para gestionar una organización, dirigir equipos, saber a quién contratar o a quién otorgarle un ascenso. En estos sectores, la IA y las capacidades analíticas ya son de gran ayuda.

¿Habrá alguna diferencia en las economías emergentes?

La tecnología, en muchos sentidos, ahora es abierta, gratuita y está disponible para todo el mundo. Las restricciones van a residir en los datos y en la capacidad de implementarlos y de adaptar las organizaciones a estos. A nivel micro, los desafíos para las empresas se centrarán en la implementación. Algo similar ocurrirá a nivel municipal. Por ejemplo, un desafío es saber cuál es la respuesta inteligente por parte de las ciudades cuando desembarca en el mercado una plataforma como Airbnb o Uber y de qué modo responder. Lo mismo sucederá con la IA en relación con los trabajadores municipales, los abogados o los médicos. Estos cambios se van a producir; por lo tanto, si los responsables de formular las políticas son inteligentes, tendrían que estar pensando qué experimentos deberíamos realizar para entender de qué modo tenemos que responder por nosotros mismos. El problema ya no pasa por el capital para acceder a la tecnología. En mi laboratorio de investigaciones lanzamos competencias de desarrollo de algoritmos y de desarrollo computacional, y uno de nuestros mejores contrincantes fue la Policía Forense de Río de Janeiro. El acceso al capital ya no es un problema, el desafío va a ser el acceso a los datos, pero como los datos son originarios de cada país, las oportunidades están allí. El desafío estará dado por la imaginación y la creatividad que las personas desarrollen para utilizar los datos y cómo las políticas y los marcos regulatorios se adapten a estos cambios. Por eso creo que hay una verdadera oportunidad si facilitamos que se realicen experimentos en ciudades de países en desarrollo.

> EL ACTIVO MÁS PRECIADO SERÁN LOS DATOS. Y CADA PAÍS TIENE LOS SUYOS PARA USARLOS CON IMAGINACIÓN

¿Y en el caso específico de América Latina?

Parte de la discusión para América Latina tendría que ser la siguiente: ¿vamos a generar nuestras propias plataformas o vamos a tener políticas inteligentes de innovación y competencia que aseguren que nuestras empresas y organizaciones puedan tener éxito dentro de las plataformas centrales? ¿Cómo hacemos para alentar a nuestras empresas para que estén en múltiples plataformas? ¿Cómo nos aseguramos de que los datos no estén cautivos en una sola organización, sino que se encuentren ampliamente disponibles? Las respuestas requieren tanto la acción colectiva por parte de las empresas como un marco regulatorio inteligente. La región tiene que pasar de ser usuaria de las tecnologías a convertirse en productora. Ya no estamos en un mundo en el que necesitamos grandes fábricas, plantas industriales o equipos de capital. En muchos sentidos, hoy tenemos a disposición la tecnología de más bajo costo: los datos están en todas partes, casi todos los ciudadanos son portadores de algún tipo de dispositivo inteligente y los sensores son muy baratos. Si la restricción no se encuentra en el capital y tenemos muy buena mano de obra, entonces la pregunta es: ¿cuáles son las restricciones? Para mí, pasa por la imaginación, por una cultura que fomente la toma de riesgos y tenga tolerancia al fracaso o lo celebre de diversas maneras. Un sentido de comunidad que pueda actuar cooperativamente para cambiar el mundo. A veces las personas de las economías emergentes tienen ambiciones muy modestas. No debería ser así.

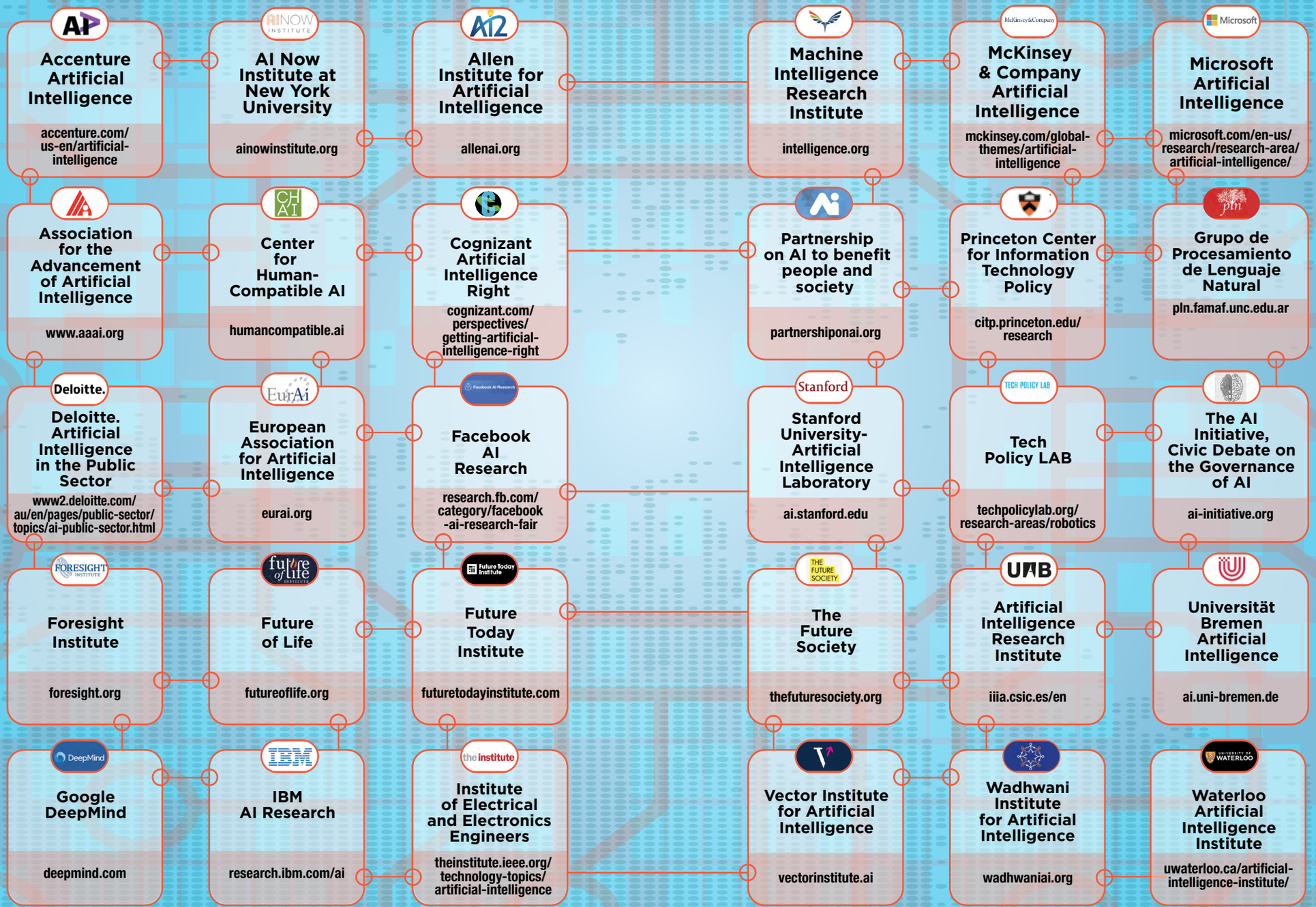
¿Cómo pueden las pymes y las empresas de la región adaptarse al cambio?

Para las empresas, los desafíos y las oportunidades en torno de la IA y la analítica de datos tienen que ver con cambiar el modelo de negocios, con cómo creamos y captamos valor. Parte de las innovaciones que están surgiendo en el Silicon Valley son innovaciones en los modelos de negocios. Los responsables de políticas y los gobiernos deben generar zonas de experimentación para estas empresas, darles flexibilidad para que puedan transitar rápidamente la curva de aprendizaje y aplicar análisis de datos. Desde los servicios municipales hasta la atención de la salud, va a haber una amplia gama de sectores en los que podrán aplicarse estas tecnologías. El desafío yace en cómo uno se convierte en un banco de pruebas para la innovación de modo que uno mismo y sus empresas salgan beneficiados.

¿Qué dificultades pueden surgir al haber máquinas y humanos conviviendo en el ámbito laboral?

A corto plazo, hay complementariedad. A largo plazo, tenemos algunos interrogantes cruciales que tienen que ver con el reemplazo y con qué harán los seres humanos cuando sean reemplazados. La mejor analogía que he encontrado en relación con esto es la de la fotografía y qué efectos tuvo en el mundo del arte cuando fue lanzada por primera vez. Sucedía que, en el arte europeo occidental, la naturaleza muerta era la regla de oro. Pero, de pronto, apareció la fotografía, y entonces cualquiera podía crear naturaleza muerta sacando fotos. Por lo tanto, el mundo del arte se vio convulsionado, ya que una máquina podía lograr una imagen mejor que la que podía dibujar un ser humano. No obstante, en respuesta a la fotografía, surgieron el modernismo y artistas como Picasso. Hay un umbral de creatividad en torno de esta nueva tecnología que se abre paso. Pero incluso existen muy buenos ejemplos relacionados con el arte y la IA, por ejemplo, con la música. No sabemos qué impacto tendrá la IA en el mundo del arte, pero imaginamos que algo similar ocurrirá con la IA y los puestos de trabajo. Hay una parte aterradora de todo esto y otra parte que es apasionante.

ECOSISTEMA DE INVESTIGACIÓN



Tecno-transporte urbano

Phil Tinn y Michael Lin
MIT Media LAB

VEHÍCULOS SIN CONDUCTOR, BICICLETAS ELÉCTRICAS Y VIAJES COMPARTIDOS SERÁN EL COMÚN DENOMINADOR. MEDIANTE EL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL SE PODRÁN LEER LAS SEÑALES DE TRÁNSITO Y LOS MARCADORES URBANOS PARA OPTIMIZAR LA MOVILIDAD EN UNA RED DE TRANSPORTE INTERCONECTADA. CÓMO ADAPTAR LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE A LAS NUEVAS MODALIDADES.

A lo largo del siglo xx, las ciudades surgieron como auténticos centros de actividades sociales, económicas, políticas y culturales y, para 2050, se espera que el 66% de la población mundial viva en centros urbanos –unas 2.500 millones de personas más que la población urbana actual de aproximadamente 4.000 millones– (ONU, 10 de julio, 2014). Internamente, las ciudades compiten para atraer y apoyar al capital humano a fin de impulsar sus economías. En las ciudades, el tiempo es un recurso crítico, tanto para la productividad como para el ocio. Debido a que el crecimiento poblacional se produjo a un ritmo mucho más acelerado que la evolución de la infraestructura de transporte, la planificación y el diseño de las políticas, los servicios y las tecnologías de transporte actualmente tienen un impacto concreto sobre el bienestar socioeconómico de las ciudades y de sus habitantes.

Las millas recorridas por automóvil (VMT, por sus siglas en inglés), una medida que muchas veces se relacionó con el crecimiento del PIB, ya no es considerada un indicador –ni mucho menos, un potenciador– del progreso económico (Ecola y Wachs, 2012). En Estados Unidos, los estados con mayores niveles de PIB per cápita muestran menores niveles de VMT diarias per cápita (gráfico 1); algo similar ocurre en Alemania, donde el PIB no es más alto en aquellos lugares en los que las personas viajan más para ir a trabajar.

Podría decirse que, por el contrario, según un estudio de movilidad social realizado por Raj Chetty y Nathaniel Hendren (2015), un vecindario que se caracteriza por requerir traslados breves para ir a trabajar contribuye a la movilidad de los ingresos más que muchos otros factores, como pertenecer a familias con ingresos monoparentales, provenir de la clase media o contar con cierto capital social (Bouchard, 7 de mayo, 2015) (ver gráfico 2). Si las medidas de la distancia recorrida ya no implican una contribución garantizada a la mejora de la vida cultural y económica de los habitantes de las ciudades, ¿qué valor puede tener reinventar el automóvil, después de todo? El auto –el medio de transporte personal que reemplazó al caballo– ha sido la tecnología por excelencia que promovió y, a su vez, fue promovido por la suburbanización y la dispersión urbana. ¿Cuál será su utilidad intrínseca en la era de la urbanización, cuando las carreteras ya no tienen espacio suficiente para que fluyan, y tanto las autoridades locales como los habitantes están perdiendo la paciencia a la hora de estacionarlos y de respirar el aire contaminado que producen?

VIAJES COMPARTIDOS

En los últimos años, en distintas partes del mundo, asistimos a la rápi-

da adopción de los servicios de taxis basados en aplicaciones (para viajes compartidos), así como de las bicicletas compartidas y, cada vez más, de los vehículos autónomos. Solamente en 2017, las empresas de viajes compartidos, como Lyft, Uber, Didi y Grab, recaudaron más de US$ 9.600 millones, y las empresas de bicicletas compartidas, como Ofo y Mobike, percibieron, por lo menos, US$ 1.300 millones (gráfico 3). En la primera mitad de 2018, Ford lanzó oficialmente su servicio de bicicletas compartidas GoBike en San Francisco y Uber adquirió el propio por US$ 300 millones. Según el Brookings Institute, los emprendimientos y la I+D relacionados con los vehículos autónomos sumaron inversiones por US$ 80.000 millones entre 2014 y 2017 (Kerry y Karsten, 16 de octubre, 2017). ¿De qué manera estas nuevas tecnologías impulsadas por un flujo tan fuerte de capital e I+D y por la expansión de los nuevos servicios de transporte en todo el mundo mejoran la vida de los ciudadanos y se convierten en servicios sostenibles?

Los servicios de viajes compartidos, sin lugar a duda, promovieron un cambio en las preferencias de las personas respecto de los viajes, desalentándolos a tener su propio automóvil, algo que alguna vez fue un símbolo de bienestar económico personal. Estos viajes compartidos también corroboraron el mercado y la demanda existente para los servicios de movilidad a demanda y puerta a puerta, y sirvieron así, esencialmente, como prototipo de los automóviles sin conductor que transportan a sus pasajeros de un lugar a otro sin que se involucren ellos mismos en la operación del vehículo. Pero los servicios de viajes compartidos adolecen de dos deficiencias: en primer lugar, a diferencia de aquella visión mesiánica de que estos servicios aliviarían las congestiones de tránsito en las ciudades, generan más viajes y reducen el uso de modos de transporte activos (por ejemplo, caminar o ir en bicicleta) y del transporte público (como el colectivo) (Clewlow, 11 de octubre, 2017); en segundo lugar, están limitados por el legado del automóvil de cuatro ruedas como vehículo distintivo. Uno puede ver fácilmente por qué, aunque parezca conveniente desde la perspectiva del consumidor, el servicio de viajes compartidos no contribuye a hacer más fluido el tránsito en las carreteras. Sin lugar a duda, si la industria sigue en la senda actual de meramente reemplazar al conductor por la computadora sin desafiar el paradigma del automóvil en sí mismo, estas dos limitaciones también pueden restringir el impacto socioeconómico de los vehículos sin conductor.

Las bicicletas públicas brindan un beneficio triple: la reducción de las emisiones de dióxido carbono provocadas por el sector del transporte, que se ha convertido en la principal fuente de estas emisiones, con 1.800 millones de toneladas por año en los EE. UU. (E360, 4 de diciembre, 2017); la reducción de la huella de los vehículos (comparada con la de los coches); y un incremento de las oportunidades para que quienes no poseen bicicletas puedan utilizarlas para ir a sus trabajos y para hacer ejercicio. Las bicicletas públicas se difundieron ampliamente en todo el mundo durante la década pasada, con diversas modificaciones, como el sistema sin estaciones de anclaje del que algunas *startups* chinas fueron pioneras y que pretende revolucionar el sistema de bicicletas compartidas, ofreciendo un medio de transporte más flexible de última milla, que no está atado a ninguna ubicación física o estación de anclaje. Con la ayuda de fondos de capital de riesgo, los sistemas sin estaciones se convirtieron enseguida en la muestra de la participación de las ciudades en las corrientes en favor de la movilidad activa. Las bicicletas públicas sin puntos fijos, en general, enfrentan todavía tres retos: el controvertido uso que hacen del espacio público, el desafío que implica reequilibrar la flota y la sostenibilidad financiera a largo plazo.

Las bicicletas compartidas sin puntos de anclaje fijos generalmente implican que los usuarios las dejan estacionadas en cualquier lugar público. La población en general siente cada vez más fastidio ante estos comportamientos, lo cual genera un nuevo fenómeno que algunos llaman “contaminación de las bicicletas”. Si hoy en día dejamos las bicicletas estacionadas libremente en la calle en nombre de la economía compartida, ¿qué más dejaremos libremente en las calles en el futuro? Además de alterar el orden tradicional de las aceras y de los espacios públicos, los sistemas sin estaciones siguen sin resolver el problema del costo de rebalancear la flota, que ya aquejaba a los sistemas basados en estaciones de anclaje. Incluso con la adopción de la analítica predictiva que utiliza IA para anticipar la demanda en los distintos puntos de la ciudad, la reasignación de la flota sigue siendo una actividad manual, que requiere mano de obra para conducir un camión, una camioneta o un remolque que recolecte físicamente las bicicletas de las zonas y las estaciones en las que se encuentran en exceso y las descargue luego en los sitios que estén vacíos.

Más allá del entusiasmo que generan las nuevas opciones de traslado que ofrecen los sistemas de bicicletas públicas y viajes compartidos, las ciudades están enfrentando transiciones complicadas a la hora de velar por los intereses colectivos a largo plazo –particularmente, en relación con la protección de los espacios públicos y los sistemas públicos de transporte–. En medio de esta era aparentemente innovadora en el dominio del transporte

GRÁFICO 1
VMT Y PIB PER CÁPITA, ESTADOS DE LOS EE. UU., 2008

Fuente: Duduta (8 de junio, 2010).

urbano –impulsada por el Silicon Valley y el mundo del capital de riesgo–, que espera la llegada del auto completamente autónomo, nivel 5, como salvador, ¿qué pueden hacer los sectores público y privado en el ínterin para garantizar avances concretos en la mejora del sistema de transporte urbano? Sobre la base de ejemplos principalmente del MIT, delineamos tres abordajes que ilustran el modo en el que los sectores público y privado pueden trabajar en conjunto con los centros de investigación para alcanzar este objetivo: 1) superar los límites de la movilidad activa y compartida; 2) incorporar la cocreación en los sistemas de IA utilizados para las calles y rutas; y 3) aprovechar los datos abiertos para que la infraestructura esté mejor preparada.

DESPLAZARSE MÁS CON MENOS

Lo primero y principal que hay que hacer para aliviar la congestión de las ciudades en el contexto de un crecimiento demográfico vertiginoso es reducir las unidades de desplazamiento per cápita –específicamente, incrementando el atractivo y la eficiencia de los servicios de movilidad compartida, como las bicicletas, los escúteres y los viajes compartidos en automóvil–. Las bicicletas tienen una función crucial en la nueva constelación de opciones para desplazarse en las ciudades, no solo por su bajo costo modal (incluidos los costos de funcionamiento, de estacionamiento y de accidentes) (Litman, 2018), sino también debido a los cuestionamientos respecto de las mejoras que los vehículos autónomos supuestamente entrañan para el tránsito urbano. Como explica el cofundador de la empresa de viajes compartidos ZipCar, Robin Chase (14 de febrero, 2018), una vez que el automóvil "se libere del conductor, el costo marginal de moverlo será insignificante... en lugar de pagar por un estacionamiento, será más barato mantener el vehículo circulando o bien enviarlo de nuevo a casa para estacionarlo gratis". Un resultado posible de esto es que haya más coches en las calles, más congestión y más contaminación. Chase también sugiere que los vehículos autónomos compartidos, no obstante, pueden ayudar a mitigar este riesgo. En el MIT, también mejoramos aún más la eficiencia de los vehículos autónomos compartidos en cuanto al uso del espacio y redujimos su huella a la de una bicicleta.

El proyecto del vehículo eléctrico persuasivo (PEV, por sus siglas en inglés) del Laboratorio de Medios (Media Lab) del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) ejemplifica este abordaje de reducir la huella aprovechando la caída de los costos de electrificación y de los cómputos de la IA y los nuevos comportamientos en relación con los vehículos compartidos para potenciar la viabilidad de las bicicletas. La autonomía como método para reducir el costo laboral ya se está implementando en los principales servicios de viajes compartidos (por ejemplo, en la alianza entre Lyft y nuTonomy). Resta aún aplicarla a las bicicletas públicas, que requieren alguna técnica para automatizar el rebalanceo de los *stocks* de vehículos entre los puntos de la ciudad que necesitan más bicicletas y los que necesitan menos. Una vez que los sistemas de bicicletas públicas puedan redistribuir los vehículos automáticamente, podrán ofrecer un servicio puerta a puerta similar al de los viajes compartidos en automóvil. Esto aumentará la conveniencia de alquilar una bicicleta y, por lo tanto, difundirá más la adopción de este medio de transporte. Asimismo, en el futuro, los operadores podrán satisfacer la misma cantidad de necesidades de viajes utilizando un número significativamente menor de bicicletas. Nuestro estudio preliminar del rendimiento de una flota de bicicletas compartidas, en el que se sustituyen las bicicletas no eléctricas de dos ruedas tradicionales del programa de bicicletas públicas Hubway de Boston por bicicletas eléctricas autónomas de tres ruedas, arrojó como resultado una reducción del 47% del tamaño de la flota y también una disminución del tiempo de espera del pasajero, que se redujo a menos de cinco minutos para el 75% de los viajes. Esta mejora del rendimiento es anterior a la introducción de cualquier técnica predictiva de rebalanceo de la flota basada en aprendizaje automático.

Otro beneficio asociado a la integración de las tecnologías de conducción autónoma en los sistemas de bicicletas públicas es la ampliación de los servicios al brindar estas soluciones micrologísticas puerta a puerta, una nueva función que puede generar ingresos adicionales para, potencialmente, subsidiar los costos de traslado de los pasajeros. Si bien hay un debate abierto respecto de si las bicicletas compartidas tendrían que ser consideradas transporte público y recibir subsidios gubernamentales, lo que sí es irrefutable es la baja tasa de utilización de este sistema en la mayoría de las ciudades y las posibilidades existentes para incrementar su uso, así como los escenarios en los que se podría aprovechar este servicio. Según informes de la Asociación Nacional de Funcionarios de Transporte de Ciudad (NACTO, por sus siglas en inglés) y del Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP, por sus siglas en inglés), se estima que el sistema de bicicletas públicas de París, Vélib', tiene un promedio de entre 5,3 y 6,7 viajes por día, mientras que el de Nueva York tiene entre 3,8 y 8,3 (Fillin-Yeh, 18 de junio, 2017; ITDP, 2013). En cambio, las ciudades americanas pequeñas o medianas tienen un promedio de entre 0,5 y 2 viajes por día. En un lapso de 24 horas, en el que el viaje promedio dura 12 minutos en el caso de los miembros y 25 minutos en el de los usuarios ocasionales, la mayoría de las bicicletas de estos sistemas se utilizan para transportar pasajeros menos del 10% del tiempo. ¿Qué podría pasar con el 90% restante si las bicicletas públicas se tornaran más atractivas, puerta a puerta y multifunción? Si los centros urbanos algún día se libraran por completo de los automóviles, como pretenden lograr muchos intendentes progresistas –desde Oslo hasta Chengdú–, ¿cómo harían las empresas para transportar sus inventarios y entregarles los bienes a sus clientes? Fuera de las horas pico de tránsito, ¿pueden utilizarse las bicicletas para llevar la repostería a los cafés temprano por la mañana, para entregar correo y almuerzos al mediodía, compras de supermercado por la tarde o cenas a altas horas de la noche? ¿Necesitamos realmente un sedán de cuatro ruedas de Uber para entregar un pedido de McDonald's cuando un vehículo más pequeño puede hacer lo mismo a menor costo, de manera más sostenible y sin quedar atrapado en un embotellamiento? ¿Qué pasaría si, en el futuro cercano, ya no necesitáramos traer la compra del supermercado en automóvil porque un robot liviano pudiera traerla mientras nosotros vamos trotando al lado y combinamos compras con ejercicio?

CONFIANZA Y COCREACIÓN

Los accidentes fatales del Tesla en sus pruebas con piloto automático y de Uber en su prueba autónoma de rutina en marzo de 2018 infundieron una cuota de realismo muy necesaria al discurso

de adoptar los sistemas de IA en nuestros sistemas de transporte cotidianos. En otras palabras, estos incidentes introdujeron una distancia crítica necesaria entre el público, los medios y una exaltación hasta ahora muy irreflexiva de la utopía tecnológica basada en la IA. Si bien los accidentes fatales no son nuevos ni evitables para ninguna tecnología de transporte, los de Uber y Tesla pueden ser fácilmente vistos por el público como directamente contrarios a la promesa de contar con "rutas más seguras", tan pregonada por la industria y por los medios. Pensemos en el viejo y poderoso mundo de los seguros, donde las pólizas han estado tradicionalmente estructuradas para atribuirles la responsabilidad a los operadores humanos, ya que son responsables del 90% de los accidentes de tránsito. Si el vehículo autónomo de Uber no tuviese ningún operador humano en el asiento del conductor, ¿cómo se deslindarían las responsabilidades ante una falla de acuerdo con la estructura de las pólizas de seguro automotor tradicionales? ¿Fue el lídar (Laser Imaging Detection and Ranging) el que no detectó a tiempo el cruce de la ciclista para informárselo al sistema operativo o hubo una pequeña demora en algún punto del centro de transferencia de datos? ¿Se trató de alguna falla técnica del *software* o, incluso, de un sobrecalentamiento en alguna parte del sistema? ¿O fue una combinación de varios factores? Sin el operador humano, ¿cómo se estructurarían las pólizas de seguro? ¿Estarán las compañías de seguros preparadas para asegurar sus propios vehículos de manera similar a la que se aplica a los productos electrónicos de consumo?

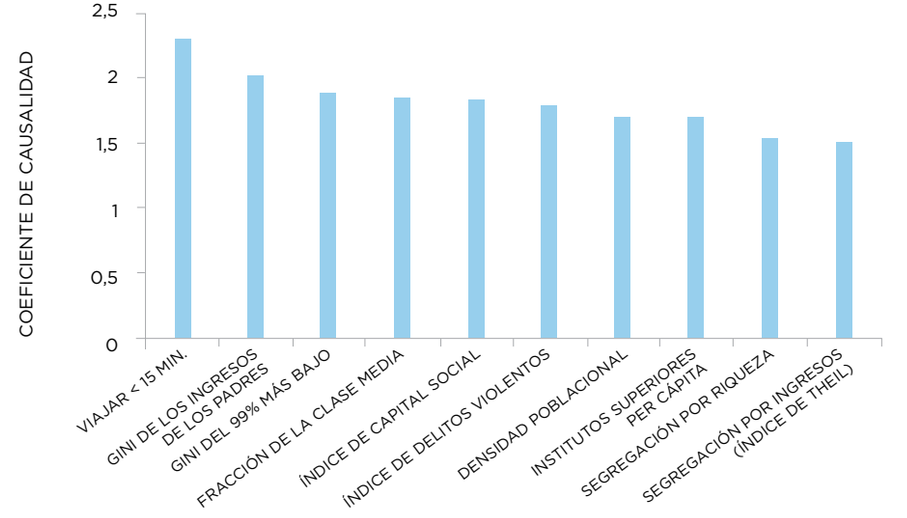
El accidente de Uber en Arizona no será la última vez que nos formulemos estas preguntas. Desde el punto de vista del público en general, el accidente también dejó al descubierto la falta global de transparencia y de compromiso en el desarrollo de una tecnología que está pensada para un uso cotidiano por parte de las familias y en las calles del vecindario donde vivimos –es decir, en las inmediaciones de las casas de todos nosotros–. ¿Cómo llegará la gente a confiar en un vehículo autónomo? ¿Qué están haciendo los principales involucrados en el desarrollo de vehículos autónomos para ganarse la confianza de sus usuarios y de la comunidad en general?

El proyecto PEV del Media Lab del MIT aboga por el enfoque de la cocreación como un proceso que permite que haya más actores de la vida real –incluidos los peatones, los ciclistas y los motociclistas– expuestos al vehículo autónomo, que interactúen con él y que lo retroalimenten mientras se lo está desarrollando como prototipo. Ya desde finales de 2015, empezamos a desplegar el prototipo del PEV en ciclovías y veredas no controladas en los alrededores del MIT como prueba de la acogida inicial por parte de la comunidad de estudiantes. Para agosto de 2017, empezamos a desplegar el prototipo en ciclovías y veredas ocupadas activamente por ciclistas y peatones, a fin de reproducir los posibles escenarios en los cuales personas desinformadas al respecto podrían encontrarse con un PEV en movimiento. Esto nos dio la oportunidad de conversar *in situ* con la gente acerca de la tecnología y de sus expectativas, temores y esperanzas.

Para asegurarnos de que otras comunidades del mundo –en otros contextos culturales y urbanos fuera del ecosistema del MIT, en Cambridge, Massachusetts– puedan empezar a confiar en el vehículo autónomo, empezamos a llevar a cabo pruebas piloto internacionalmente a través de nuestra red de ciudades y estados colaboradores, que incluye a Andorra, Hamburgo, Helsinki, Shanghái y Taipéi. La prueba de implementación más reciente tuvo lugar en marzo de 2018, en el Daan Forest Park de Taipéi, donde pusimos a prueba escenarios de recogida de pasajeros en el último tramo en las ciclovías durante las horas pico, a plena luz del día y por la noche. Allí observamos las reacciones y las acciones de una amplia muestra de ciclistas, peatones y corredores que entraban en contacto con el vehículo. Estas pruebas en situaciones de la vida real fuera del MIT nos permitieron testear varias alternativas de diseño del PEV, específicamente en cuanto a su escala, velocidad, agilidad, factor de forma y su parecido con una bicicleta familiar o con un carrito para bebé.

Además de la cuestión de cómo el público percibe las características físicas básicas del vehículo y sus capacidades, para poder ganarse la confianza de la gente, la IA tendrá que desarrollar al menos algún nivel básico de conciencia social. De este modo, según la opinión del director del grupo City Science Group, Kent Larson, el PEV podrá "comprender, predecir y responder a las acciones de los peatones y de otros usuarios de las calles, así como comunicar sus intenciones a los seres humanos de un modo natural y que no resulte amenazante". A nivel general, el diseño y la implementación de la interacción humano-computadora (HMI, por sus siglas en inglés) de un vehículo autónomo liviano como el PEV difiere de aquellos de los automóviles autónomos principalmente en la necesidad de interactuar con las personas –sobre todo con los peatones y con los ciclistas–, que muchas veces están en estrecho contacto y acercándose desde distintas direcciones fuera del vehículo. La prueba de implementación en el parque de Taipéi puso de relieve varios escenarios críticos en los que alguna forma de comunicación socialmente aceptable podría facilitar en gran medida el intercambio entre el PEV y las personas: cuando el PEV y

GRÁFICO 2
CARACTERÍSTICAS DEL BARRIO ASOCIADAS CON LA MOVILIDAD DE LOS INGRESOS



Fuente: Chetty y Hendren (2015).

un peatón o un ciclista van camino de colisionar entre sí, ¿cómo puede el PEV demostrarle a la otra parte que se aproxima que percibe la situación y cuáles son sus intenciones? Si se aproximan múltiples partes, ¿cómo puede el PEV comportarse de manera diferente que si se aproximara una sola? Además de tener en cuenta a los peatones y a los ciclistas, las interacciones del PEV con los automóviles –en los que los conductores tradicionalmente comunican sus intenciones a través de gestos con la mano, juegos de luces o bocinazos– también requerirán ensayos de implementación y puesta a prueba, no solo en un contexto social, sino en múltiples contextos en todo el mundo.

El modo en que se comporta un sistema de IA en distintos contextos sociales, culturales y geográficos señala la necesidad de profundizar las investigaciones tendientes a encontrar formas efectivas de incorporar la inteligencia social y la ética en las máquinas. Hacer que la IA sea sociable y agradable a los ojos del público requiere que los investigadores vayan más allá de los límites de sus laboratorios. El involucramiento del público y la cocreación, en línea o no, se convertirán en una posibilidad cada vez más útil para los desarrolladores de IA.

Además del testeo del PEV en el mundo real, en estrecho contacto con las personas, un ejemplo que puede contribuir a la configuración comportamental de los vehículos autónomos es el proceso de intervención conducido por nuestro colega Edmond Awad. Su plataforma Máquina Moral, una versión contemporánea ludificada del clásico Dilema del tranvía (Foot, 1967), les permite a los usuarios de internet de todo el mundo encarnar un vehículo autónomo en varios escenarios de Trampa-22 en los que se les ofrecen alternativas que llevan todas a que se produzcan víctimas, con el escenario típico de elegir entre salvarse uno mismo o salvar las vidas de otros por medio del sacrificio propio. Con más de cuatro millones de jugadores/contribuyentes en todo el mundo, la participación de estos les permite a los investigadores indagar en las normas morales, los valores y las preferencias de las personas de distintas geografías, géneros, edades e, incluso, ideas políticas. A diferencia del enfoque más tradicional, que consiste en entrenar a los sistemas de IA por medio de conjuntos de datos limitados –o hasta sesgados–, este es un ejemplo de lo que Iyad Rahwan (24 de julio, 2017) llama enfoque de la "sociedad informada" para crear sistemas de IA.

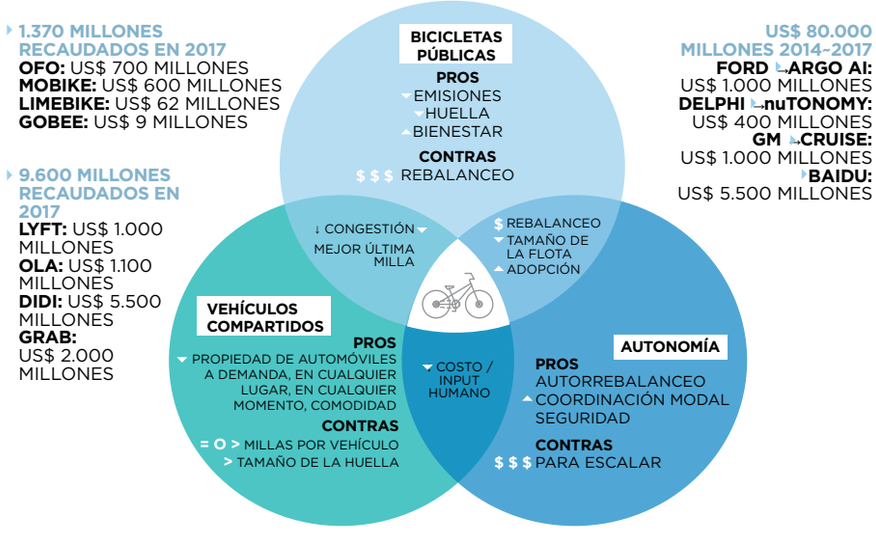
Una de las primeras implementaciones de un robot autónomo que trata de respetar las normas sociales puede encontrarse en otro proyecto de investigación del MIT, que incorporó sensores y predicción de la conducta de los peatones y del comportamiento de las multitudes en la planificación de la ruta del robot, lo cual dio lugar a lo que podríamos llamar una "navegación con conciencia social". En otras palabras, el robot ajusta dinámicamente su velocidad y su ruta en función de las condiciones circundantes –lo cual puede incluir a una sola persona o a un grupo de personas que se reúnen o que están caminando– con el objetivo de "desplazarse naturalmente entre ellos y no ser invasivo... respetando las mismas reglas que el resto" (Chu, 29 de agosto, 2017). Esta incorporación de la conciencia social en la planificación de la ruta del robot pone de relieve dos recordatorios importantes para quienes buscan desarrollar aplicaciones de IA para el mundo del transporte: por un lado, que el mundo real y las calles son entornos inherentemente complejos y que los comportamientos de los usuarios (peatones, ciclistas y motociclistas) pueden ser impredecibles y estar influenciados por las distintas normas sociales del lugar; y por otro, que para que la gente acepte al robot y confíe en que puede tener con este una coexistencia pacífica, o lograr una cooperación productiva, el robot primero tiene que aprender conductas sociales y comportarse conforme a las normas.

PREPARAR LA INFRAESTRUCTURA

Dado que las bicicletas públicas –como venimos comprobando con el proyecto PEV– pronto funcionarán a demanda y serán autónomas y capaces de desarrollar tareas logísticas y de servicios urbanos, su impacto será mayor si mejora la infraestructura vial. En todo el mundo, los gobiernos municipales están dando una rápida respuesta a las iniciativas ciudadanas que pretenden reducir la cantidad de automóviles al mínimo –o, incluso, eliminarlos por completo–, como forma de lidiar con la contaminación y con la congestión. A medida que las ciudades construyen ciclovías, nos interesa la cuestión de la relevancia: ¿está la ciudad construyendo estas ciclovías allí donde son necesarias? ¿mejoran las ciclovías la seguridad de los ciclistas y de otros usuarios de las calles? ¿cómo puede la nueva infraestructura apoyar a los vehículos autónomos, o conectados, para mejorar el funcionamiento de las nuevas soluciones para el transporte?

Utilizando los datos públicos disponibles, mapas de código abierto de la web y un navegador estándar, con el grupo City Science del Media Lab del MIT creamos una plataforma para visualizar la oferta y la demanda de ciclovías en las ciudades. La plataforma consiste principalmente en dos capas de datos representados sobre el mapa de la ciudad: la capa de base, que muestra

GRÁFICO 3
AUTONOMÍA Y EMPRESAS DE VIAJES COMPARTIDOS



Fuente: Elaboración propia propia en base a Brookings Institute.

la oferta, traza la presencia de ciclovías según los datos provistos por el gobierno de la ciudad, generalmente en formato KML (Keyhole Markup Language), que pueden ser fácilmente convertidos a GeoJSON para visualizarlos utilizando complementos basados en la web. Con respecto a la demanda, una capa adicional delinea las rutas más cortas derivadas de datos de origen-destino compartidos por los operadores locales de bicicletas compartidas, utilizando el motor Open Source Routing Machine (OSRM)[1], desarrollado por la comunidad de código abierto para generar rutas de navegación en OpenStreetMap[2]. Al tener un mapa que compara la utilización de las calles por parte de las bicicletas compartidas con la presencia o no de ciclovías, el usuario de la plataforma rápidamente puede identificar las brechas existentes entre ambos escenarios. Utilizando datos de Boston, en la versión prototípica, uno puede observar que las bicicletas públicas utilizan ciertos segmentos de las calles del barrio Seaport District más intensivamente que otros durante cierto período de tiempo escogido por el usuario de la plataforma. Sin embargo, no hay ciclovías en estas calles. En el caso de Taipéi, cuyo gobierno local recientemente publicó que había construido más de 500 km de ciclovías, utilizamos la plataforma para aislar y visualizar los datos de las ciclovías designadas oficialmente (los segmentos de las calles que tienen tráfico mixto, pero que están típicamente señalados con una bicicleta) respecto de aquellos de las ciclovías exclusivas. Es posible comparar la presencia o ausencia de ciclovías con los lugares donde se produjeron los accidentes ciclísticos sobre la base de datos abiertos publicados por el gobierno comunal.

El contraste que se halló en Boston entre el uso de las calles y las ubicaciones de las ciclovías, o en Taipéi, entre los accidentes ciclísticos y las ciclovías protegidas, puede dar lugar a diversas acciones, ya sea decididas por el gobierno o más participativas.

Acciones gubernamentales: las obras públicas del gobierno local o de las agencias de transporte pueden utilizar la plataforma para comparar las brechas existentes entre los diversos distritos y, en consecuencia, priorizar la asignación de fondos para destinarlos a los lugares donde las brechas sean mayores y las ciclovías, más necesarias. Los organismos públicos también pueden utilizar un análisis visual de oferta-demanda de este tipo como punto de partida para seguir investigando o negociando a la hora de decidir la veda al tránsito automotor en ciertas calles durante los festivales o las ferias callejeras de los fines de semana, o la resignación concreta de la utilización de las calles.

Acciones participativas: la sociedad civil local o los funcionarios elegidos pueden obtener rápidamente justificaciones basadas en la evidencia para presionar en las negociaciones por el presupuesto para infraestructura. Dado que esta plataforma se construye para los navegadores web modernos estándar (como Firefox y Chrome), que utilizan formatos de datos estandarizados, mapas de código abierto y módulos funcionales de visualización y navegación, es fácil adaptar la escala para las distintas ciudades. Los organismos públicos y los integrantes de la comunidad pueden desplegar sus datos abiertos para informar las políticas de infraestructura que apoyan la movilidad activa.

Además de utilizar los datos abiertos para mejorar la infraestructura ciclística, tanto para las bicicletas existentes como para las futuras, también creemos que el diseño de las calles y de la señalización desempeñará un papel crítico para el lanzamiento y la democratización de los vehículos autónomos. Los últimos avances en la tecnología autónoma llevaron a que los mercados de automóviles y las empresas tecnológicas se centren en reinventar el automóvil –aumentando su capacidad de cómputo y mejorando sus sistemas de sensores–. Pero debido a estrictas normas de seguridad vial, es posible que tengan que pasar años para que se materialice este enfoque desde el centro a la periferia, centrado en los vehículos, y que, cuando lo haga, se restrinja la autonomía a vehículos seleccionados para limitar su impacto sobre la accesibilidad y la seguridad vial. Para hacer frente a esta brecha potencial entre la tecnología y el interés público, con nuestro proyecto Urban Tattoo también estamos investigando formas de librarse de requisitos computacionales del vehículo muchas veces pesados, creando señales de tránsito accesibles y marcadores urbanos que podrán leer tanto los humanos como las máquinas (utilizando visión artificial). Apoyado en un nuevo estilo de infraestructura urbana inteligente, creemos que este enfoque de autonomía liviana pronto dará lugar al lanzamiento de vehículos autónomos ligeros, como el PEV, que podrán navegar sin complicaciones por los espacios urbanos.

En este artículo, sugerimos tres abordajes que el grupo City Science del Media Lab del MIT está poniendo a prueba activamente, en colaboración con nuestros socios de todo el mundo, para tratar de cubrir la brecha entre los intereses de la industria y los del público en el desarrollo de las soluciones para el transporte del futuro. Si los coches del siglo XX terminan convirtiéndose en los caballos del siglo XIX, nuestra esperanza es ver un despliegue de recursos institucionales y del sector privado hacia nuevos métodos –como repensar las bicicletas públicas incorporándoles IA, cocreación y datos abiertos–, que mejoren el bienestar y la prosperidad de las personas en los entornos urbanos cada vez más densos del siglo XXI.

NOTAS

[1] http://project-osrm.org/.
[2] https://www.openstreetmap.org/.

BIBLIOGRAFÍA

Bouchard, M. “Transportation Emerges as Crucial to Escaping Poverty”. The New York Times. **7 de mayo, 2015**.
Chase, R. “As Cities Grapple With Mobility Revolution, 10 Principles Emerge to Guide Them”. The City Fix. **14 de febrero, 2018**.
Chetty, R. y Hendren, N. 2015. “The Impacts of Neighborhoods on Intergenerational Mobility: Childhood Exposure Effects and County-Level Estimates”. Harvard University y NBER.
Chu, E. “New Robot Rolls with the Rules of Pedestrian Conduct: Approach May Enable Robots to Move around Hospitals, Malls, and Other Areas with Heavy Foot Traffic”. MIT News. **29 de agosto, 2017**.
Clewlow, R. R. “New Research on How Ride-Hailing Impact Travel Behavior”. Planetizen. **11 de octubre, 2017**.
Duduta, N. “Are VMT and GDP Really Correlated?”. The City Fix. **8 de junio, 2010**.
E360. “Transportation Replaces Power in U.S. as Top Source of CO2 Emissions”. Yale Environment 360. **4 de diciembre, 2017**.
Ecola, L. y Wachs, M. 2012. “Exploring the Relationship between Travel Demand and Economic Growth”. Documento preparado para la Federal Highway Administration. Washington DC.
Fillin-Yeh, K. “Cities Can’t Afford to Let ‘Rogue’ Bike Shares Run Wild”. CityLab. **18 de junio, 2017**.
Foot, P. 1967. “The Problem of Abortion and the Doctrine of the Double Effect”. *Oxford Review*. 5: 5-15.
ITDP. 2013. *The Bike Share Planning Guide*. Nueva York: Institute for Transportation and Development Policy.
Kerry, C. F. y Karsten, J. “Gauging Investment in Self-Driving Cars”. Brookings. **16 de octubre, 2017**.
Litman, T. 2018. *Evaluating Active Transport Benefits and Costs: Guide to Valuing Walking and Cycling Improvements and Encouragement Programs*. Victoria Transport Policy Institute.
ONU. “World’s Population Increasingly Urban with More Than Half Living in Urban Areas”. United Nations. Nueva York, **10 de julio, 2014**.
Rahwan, I. “Society-in-the-Loop: Programming the Algorithmic Social Contract”. MIT Media Lab. **24 de julio, 2017**.

CASO DE ESTUDIO

Vehículos autónomos

La seguridad cómo máximo objetivo

La industria automotriz es uno de los sectores que destina mayor volumen de inversiones para capitalizar el uso de las nuevas tecnologías en sus productos y procesos. La transformación hacia los vehículos autónomos, la incorporación de servicios en los automóviles, la necesidad de reducir accidentes de tránsito y la movilidad compartida son los principales factores que dinamizan esta tendencia. PwC estimó que el 37% de los viajes serán realizados por vehículos autónomos en 2030.

La japonesa Toyota ocupa el puesto 10 en el *ranking* de empresas que más invierten en I+D en el mundo, con un presupuesto de US$ 8.800 millones anuales. En alianza con el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) y la Universidad de Michigan, la automotriz fundó el Toyota Research Institute (TRI), que lleva adelante investigación en los campos de inteligencia artificial (IA), robótica, conducción automatizada, nuevos materiales y experiencia de usuario para obtener mejoras en la seguridad y desarrollar vehículos inteligentes. Rick Bourgoise, gerente de Comunicaciones de TRI, explica aquí cuáles son los principales proyectos que están llevando a cabo, de qué manera la IA está impactando en la industria y el futuro de la movilidad como servicio.

¿Qué desafíos enfrenta hoy la industria automotriz?

Hay tres elementos básicos para la conducción automatizada: percepción, predicción y planificación. La percepción es lo que el vehículo automatizado ve a través de su conjunto tecnológico de cámaras y sensores, mientras que la predicción es la capacidad de anticipar lo que otros vehículos van a hacer. La planificación, finalmente, es el proceso de toma de decisiones para determinar qué hará el vehículo automatizado en respuesta a la situación actual. Creemos que tenemos un buen manejo de la percepción y de la planificación, aunque todavía hay muchas deficiencias, como por ejemplo el hecho de tener una buena percepción mientras se produce una tormenta de nieve cegadora. Comprendemos esos desafíos técnicos y estamos trabajando para superarlos. El área de predicción, usando IA, sigue siendo la gran incógnita. Los humanos son muy buenos para predecir el comportamiento en el camino; y las máquinas necesitarán ser capaces de predecir y anticipar el comportamiento humano mucho mejor. La conducción automatizada en el vacío es bastante fácil de lograr, pero se trata de administrar los casos situacionales que presentan el mayor desafío.

¿Cuáles son los principales proyectos en innovación de la empresa?

TRI está investigando sobre tecnología de conducción automatizada para Toyota. Recientemente presentamos nuestro vehículo de investigación de conducción automatizada de próxima generación, Platform 3.0. Esta plataforma representa una maduración de nuestro trabajo de investigación, con un paquete de sensores muy rico que lo convierte en uno de los coches de prueba de manejo automatizado más perceptivo. Actualmente estamos explorando enfoques duales para la automatización de vehículos, llamados Guardian y Chauffeur. Este último es la versión de prueba de Toyota del nivel de autonomía SAE 4/5, en el cual el sistema automatizado es responsable de todas las tareas de conducción. Guardian, en tanto, utiliza el sistema de conducción automatizado como una red de seguridad para el conductor humano con el objetivo de prevenir un accidente.

¿Cuál es el panorama del sector para los próximos diez años?

Durante la próxima década crecerá la cantidad de vehículos con altos niveles de propagación de asistencia al conductor, principalmente en áreas urbanas con parámetros de operación establecidos (como espacios geocercados o en condiciones climáticas ideales). Creemos que el despliegue de vehículos autónomos será inicialmente en aplicaciones de movilidad como servicio (MaaS, por sus siglas en inglés). Los vehículos de servicio pueden generar ingresos casi de manera constante y amortizar los altos costos de la tecnología más rápidamente que los vehículos de propiedad personal. En el futuro previsible, y tal vez en las próximas generaciones, no vemos la desaparición de los vehículos conducidos por humanos.

¿Qué beneficios puede aportar un auto autónomo?

Seguridad. La tecnología avanzada en vehículos ya ha demostrado que puede salvar vidas, y nos esforzamos por hacer lo mejor. Nuestro objetivo es construir un automóvil incapaz de causar un accidente. La tecnología de sensado también es una pieza clave y estamos viendo mejoras dramáticas en la tecnología LIDAR, que detecta objetos y la posición relativa en el entorno del vehículo. Además, estamos explorando la tecnología que puede monitorear al conductor para detectar somnolencia o distracción.

¿Cree que habrá aceptación social de estos vehículos?

Hace falta educación. La clave es crear confianza pública. Estudios recientes realizados en los Estados Unidos muestran que un gran porcentaje del público es escéptico con respecto a esta tecnología avanzada y teme viajar en un vehículo automatizado. Es necesario que haya mayor énfasis en educar al público acerca de los beneficios de seguridad que esta tecnología puede tener en la sociedad y mostrarle cómo funciona.

Infraestructura portuaria en 2035

Luis M. Ascencio
Sistema Económico Latinoamericano y del Caribe (SELA)

Rosa G. González-Ramírez
Universidad de los Andes

LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL TOMA IMPULSO COMO HERRAMIENTA PARA ACELERAR LA PRODUCTIVIDAD EN LOS PUERTOS, TANTO EN SU INTERFAZ TERRESTRE COMO MARÍTIMA. SENSORES PERMITEN MONITOREAR A LO LARGO DE LA CADENA DE SUMINISTRO GLOBAL EL ESTADO DE LAS CARGAS, Y EQUIPOS AGV (*AUTOMATED GUIDED VEHICLE*) MOVILIZAN CONTENEDORES DE MANERA AUTÓNOMA. CÓMO SERÁ LA CONVERGENCIA ENTRE LA INFRAESTRUCTURA (MÁQUINAS) Y LA INFOESTRUCTURA (DATOS Y CONECTIVIDAD), GRACIAS A LA MADUREZ DE LAS PLATAFORMAS DIGITALES.

La digitalización ha fomentado que la industria marítimo-portuaria cambie su enfoque de gestión tradicional, con foco en las operaciones de las terminales portuarias, hacia un enfoque orientado a toda la cadena logística. La economía digital provee de nuevas oportunidades a la industria para incrementar su productividad, eficiencia y sustentabilidad (Heilig, Schwarze y Voß, 2017). Como resultado, los sistemas de información y tecnologías se han vuelto indispensables para asegurar su competitividad, ya que facilitan la comunicación entre todos sus actores a través del intercambio electrónico de datos, la automatización y simplificación de los procesos (Heilig y Voß, 2016).

En este artículo se discute una visión de las etapas evolutivas de la industria marítimo-portuaria y cuáles son las acciones necesarias para facilitar la adopción de nuevas estrategias de gestión y tecnologías disruptivas; a su vez, se dan recomendaciones para facilitar dicha adopción desde los actores privados y los gobiernos en la región. El documento se estructura de la siguiente manera. La segunda sección provee un resumen del estado del arte de las nuevas capacidades tecnológicas y de gestión en la era de la economía digital, describiendo las principales líneas de desarrollo en el ámbito de las TIC emergentes. La tercera sección describe la visión de la evolución que ha tenido la industria marítimo-portuaria en el contexto de convergencias tecnológicas y de gestión, entre los ámbitos de las infraestructuras, infoestructuras y modelos de gestión. La cuarta sección propone un modelo de gestión emergente que tiene en cuenta la incorporación de tecnologías y negocios disruptivos denominado "cadena logística portuaria verde y ágil". La quinta sección discute la relevancia de las políticas públicas para el desarrollo de la industria marítimo-portuaria en la economía digital y sus elementos clave, y cita algunos casos de acciones concretas en la región. Finalmente, la última sección presenta conclusiones generales y recomendaciones para favorecer una agenda regional.

NUEVAS CAPACIDADES TECNOLÓGICAS Y DE GESTIÓN

Vivimos una etapa de transición, dentro de la era de la economía digital, en la que la tecnología, como resultado de un proceso evolutivo y disruptivo, impacta en diversos sectores de la economía, así como en actividades sociales y personales (Tapscott, 1997). Hasta el año 2020, expertos plantean que se terminará de consolidar la economía digital basada en la interconexión de las personas y su interacción de comunicaciones con otras personas (telefonía móvil) y las empresas, por lo general basadas en

CLOUD
LA NUBE ES CLAVE PARA PODER ESCALAR RECURSOS INFORMÁTICOS

el uso de funcionalidades que ofrecen las páginas web para intercambiar documentos y órdenes de servicio.

El camino seguido por la economía digital hasta este punto no ha estado falto de complejidades. Superada la burbuja puntocom de finales de los años 90 y sus efectos negativos en credibilidad y confianza de los mercados, surgieron mejores soluciones basadas en internet con una orientación comercial de mayor pragmatismo. Mediante la banda estrecha, internet tuvo impactos significativos con la masificación de los correos electrónicos y sitios web funcionales. Fue a partir de los años 2005 y 2010 cuando la banda ancha comenzó a facilitar una mayor velocidad para la transmisión de datos y se consolidó como la carretera de la información al ofrecer plataformas globales para que las personas, empresas, gobiernos y, últimamente, máquinas y cosas interactúen, se comuniquen, colaboren y busquen información.

Se dice que la economía está en una etapa de transición debido a que, a la fecha (2017), se está incubando el fenómeno de interconexión de dispositivos a internet, lo que plantea enormes desafíos en el uso de más productos inteligentes y conectados que ofrecen nuevas funcionalidades, mayor confiabilidad y un mejor uso de recursos en diversas áreas.

La consultora y analista Gartner en un estudio reciente da respuesta a una de las preguntas clave sobre dicho fenómeno: ¿cuántos dispositivos tendremos conectados a la red en el futuro? Con este objetivo, ha publicado un informe en el que pronostica que a finales de ese año existirán más de 8.400 millones de cosas conectadas en todo el mundo, a 2018 serán 11.000 millones y para finales del 2020 se espera un total de 20.500 millones de conexiones, donde el principal rubro será consumo, seguido por empresa general y empresa vertical (Ferrer Caballero, 20 de febrero, 2017). Los futuristas hablan de 50.000 millones de dispositivos conectados para 2030.

En este orden de ideas, existen cinco líneas relevantes de desarrollo en el ámbito de las TIC que impactan en la velocidad de adaptación de la economía digital por parte de las personas, empresas y dispositivos (SELA, 2017). La primera de ellas es el cómputo en la nube (*cloud computing*). Esta tecnología suministra recursos informáticos escalables (*on-demand*) para el cómputo y almacenamiento de datos en internet, lo que facilita el pago de dicho servicio en función al consumo. La segunda línea relevante es la analítica de macrodatos (*big data*) o también denominada "la ciencia de datos". Esta se refiere a las técnicas para manejar grandes bases de datos como el *framework* Hadoop, que es una fuente abierta del proyecto Apache que soporta el procesamiento y almacenamiento de grandes volúmenes de datos en un ambiente de cómputo distribuido. El poder disponer de información en tiempo real y de mecanismos para que puedan procesarla y determinar patrones, así como información de apoyo a la toma de decisiones, significa un alto valor para las industrias. En particular, para la industria marítimo-portuaria es un aporte significativo por ser un sector altamente complejo, donde se deben coordinar múltiples actores, documentos e información entre los mismos, lo que genera una gran cantidad de transacciones.

La siguiente línea corresponde a la internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés), que es una red de dispositivos físicos conectados con internet, los cuales tienen sensores embebidos (MHI, 2017). Esta tecnología, en combinación con otras como la analítica de datos, contribuye a la disponibilidad de información en tiempo real para los tomadores de decisiones. En el caso de la industria marítimo-portuaria, esto es de gran relevancia, ya que al ser una industria altamente compleja es de gran valor para los diferentes actores poder contar, además de con la visibilidad y trazabilidad de su carga, con predicciones de variables de interés. Por ejemplo, predecir el patrón de arribos de camiones a un terminal marítimo permitiría al planificador de operaciones de la terminal determinar la cantidad de recursos por asignar a cada tarea (atención de buques o despacho de contenedores a transportistas).

Otra línea de desarrollo son las criptodivisas y cadenas de bloques (*blockchain*), que han revolucionado la manera de hacer negocios**.** Las criptomonedas son medios digitales de intercambio, donde el bitcoin fue la primera que comenzó a operar. *Blockchain* o cadena de bloques es una base de datos distribuida, formada por cadenas de bloques diseñadas para evitar su modificación una vez que un dato ha sido publicado con un sellado de tiempo confiable y enlazado a un bloque anterior. Esto permite evitar la necesidad de intermediarios en las transacciones y facilita la disponibilidad de información en tiempo real. Es por esta razón que la línea naviera de mayor relevancia Maersk ha suscrito acuerdos con IBM para desarrollar métodos más eficientes para el comercio exterior con *blockchain* (White, 16 de enero, 2018).

La última línea de desarrollo que abordaremos es la referida a inteligencia artificial (IA). De acuerdo con López Takeyas, es una rama de las ciencias computacionales que se enfoca en el estudio de modelos de cómputo con la finalidad de realizar actividades propias del ser humano. Es un concepto que surgió en los años 50 y que considera diversas metodologías, como *machine learning*, visualización y algoritmos

VISIÓN DEL PUERTO DE RÓTERDAM

La visión al 2030 del Puerto de Róterdam es una fuerte combinación de dos pilares: Hub Global y Clúster Industrial de Europa. El puerto se visualiza con una fuerte colaboración y creación de alianzas entre empresas, agencias de gobierno e instituciones de innovación y conocimiento, ya que esto permite un mercado de fuerza laboral de alta calidad, un entorno de calidad y excelentes conexiones, cuyo concepto clave es la adaptabilidad. Al combinar las características de Hub Global y Clúster Industrial, el puerto visualiza como factores de éxito los siguientes elementos:

-adecuado ambiente para inversiones;
-uso adecuado de los territorios;
-accesibilidad;
-envíos;
-leyes y regulaciones;
-la ciudad y la región;
-fuerza laboral;
-innovación;
-medioambiente, seguridad y calidad de vida;
-Europa (visión regional).

Fuente: Puerto de Róterdam (2018).

avanzados. Estas metodologías son comunes también del área de la ciencia de los datos o analítica de datos. La gran diferencia radica en que estos métodos están orientados a realizar actividades propias del ser humano, como son el razonamiento y la conducta.

En el ámbito marítimo portuario, existen ya casos documentados de su implementación. Kuznetsova, Spellman y Jumma (2018) presentan el artículo "How Artificial Intelligence Can Power Growth and Opportunities in Global Container Shipping". Los autores son ejecutivos de INTTRA, que es una plataforma digital de tipo B2B que brinda servicios de información y soporte para la industria de transporte marítimo. Fue fundada en el año 2001, como un *joint venture* de un grupo de compañías navieras, con el objetivo de ofrecer una plataforma neutral para el intercambio de información y agendamiento de espacios entre los *shippers* y las navieras. En Kuznetsova *et al*. (2018), los autores hacen referencia a las tecnologías disruptivas previamente señaladas y a que, con el paso de los años, dichas tecnologías van a mejorar de manera masiva los envíos de productos y servicios. De esta manera, se podrá hacer una conexión entre los flujos físicos de la carga con los flujos de información.

A pesar de que la IA se visualiza como herramientas que permiten realizar actividades propias del ser humano, Kuznetsova *et al*. (2018) señalan que en la actualidad esta tecnología, más que reemplazar personal humano, está siendo utilizada como un método de apoyo que facilita y ayuda en el trabajo. Esto también se debe a que aún existen errores en las predicciones y visualización, por lo que no es posible reemplazar del todo al ser humano y aún resulta un elemento crítico para manejar excepciones y llevar a cabo tareas altamente complejas. En el caso de la industria marítimo-portuaria, a pesar de que los procedimientos pueden ser estandarizados y automatizados, existe una gran cantidad de excepciones. Por lo tanto, más que reemplazar puestos de trabajo, la IA permitirá que los trabajadores se enfoquen en abordar dichas excepciones y decisiones complejas, mientras que se automatizan las tareas más repetitivas. Y a través de los métodos de *machine learning* desde la analítica de datos y la posibilidad de almacenar grandes volúmenes de datos según la demanda, se puede disponer de información en tiempo real para tomar mejores decisiones.

Entre las aplicaciones de IA en combinación con otras tecnologías ya previamente referidas hacia los ámbitos de la industria marítimo-portuaria, INTTRA ha implementado una herramienta para los pronósticos de demanda de transporte de contenedores y asignación de espacios. Esta herramienta, por otra parte, guarda también información de registros históricos de los clientes, que al hacer un *booking* se autocompleta con la información de transacciones previas. Un área que INTTRA visualiza que tendrá aplicaciones para la IA es con respecto al código del Sistema Armonizado (Harmonized System). Este sistema se basa en estándares internacionales para codificar las mercancías que se comercializan. Errores al digitar dichos códigos generan imprecisiones y demoras que aplicaciones de la IA podrían prevenir. Finalmente, otra área que refieren los ejecutivos de INTTRA son los "contenedores inteligentes". En este caso, un sistema que use IA para el monitoreo y control remoto de estos contenedores. Por ejemplo, en el caso de los contenedores refrigerados para monitorear temperatura. De esta manera, se pretende que el sistema involucre la participación de personal solo para los casos en que se presenten excepciones.

EVOLUCIÓN MARÍTIMO-PORTUARIA

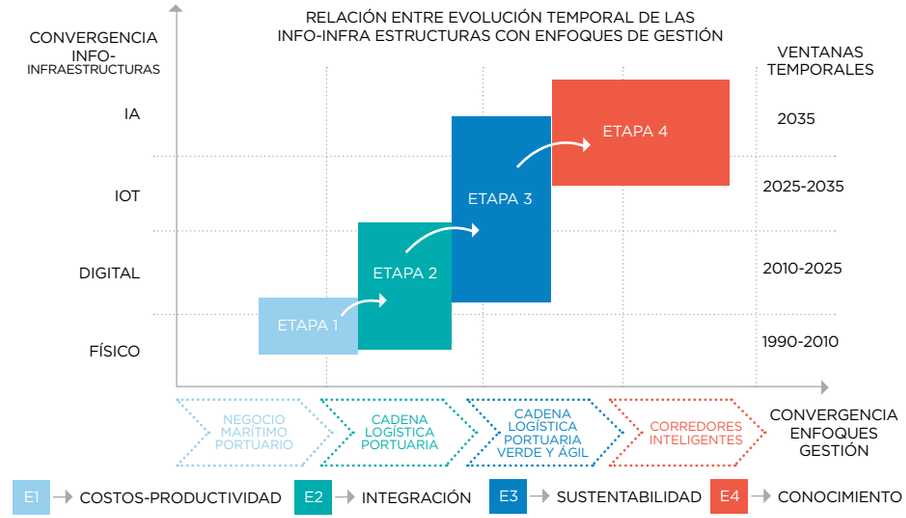
Los puertos, así como la industria marítima, son elementos fundamentales del sistema de transporte global. La aceleración de los flujos mundiales está abriendo un abanico de oportunidades y desafíos a los países, agencias de gobierno, sector privado y, particularmente, al sector portuario, el cual vive una verdadera convergencia entre sus ámbitos de infraestructuras, infoestructuras y modelos de gestión.

Este proceso de mayor fluidez de las mercancías y su creciente importancia en la competitividad de las cadenas de suministro globales ha llevado a muchos puertos del primer mundo a generar estrategias renovadas con visión de futuro. Tal es el caso del Puerto de Róterdam, que en el año 2011 generó el documento "Port Vision 2030" (ver recuadro "Visión del puerto de Róterdam").

De acuerdo con la situación actual y lo que se visualiza para la industria marítimo-portuaria, el gráfico 1 presenta una visión de sus etapas evolutivas, que se analiza a la luz de la convergencia entre info- e infraestructuras (eje Y), los enfoques de gestión (eje X) y la dinámica temporal (eje secundario). En el eje Y se considera la infraestructura física como elemento base, y posteriormente las infoestructuras a partir del intercambio de datos electrónicos (digital), internet de las cosas (IoT) e inteligencia artificial (IA).

La etapa 1 tuvo como principal característica la reducción de costos y el aumento de la productividad (etapa costo-productividad), tanto para el negocio marítimo como el portuario. En esta época de 20 años de duración (1990-2010), se produce el fenómeno de quiebres, fusiones y adquisiciones en la industria naviera; el incremento de la capacidad de los buques portacontenedores; la consolidación de los

GRÁFICO 1
ETAPAS EVOLUTIVAS DE LA INDUSTRIA MARÍTIMO-PORTUARIA



Fuente: Elaboración propia.

operadores de terminales portuarias globales (GTO), esto gracias al impulso de las reformas al modelo portuario estatal; las grandes inversiones en nuevos puertos y la adopción de nuevo y mejor equipo portuario especializado de alta productividad. En resumen, es una etapa donde lo físico es el factor determinante para ambos negocios, cuyas dinámicas aún siguen funcionando de manera separada y con baja integración.

La etapa 2 de evolución (etapa de integración), en la cual nos encontramos (2010-2025), se enfoca en la integración, fenómeno facilitado por una adopción a mayor escala de la digitalización de los negocios marítimo y portuario, y un cambio importante en el modelo de gestión, donde el concepto de *supply chain management*, ligado históricamente a industrias textiles, automoción, electrónica y *retail*, se posiciona como una nueva herramienta que acelera la productividad del puerto, tanto en su interfaz terrestre como marítima. Es una etapa caracterizada por las alianzas de negocios entre las navieras para compartir espacios y racionalizar costos, y la irrupción a nivel mundial de los *Port Community Systems* (PCS) que conlleva la consolidación de empresas tecnológicas proveedoras de servicios de PCS. Por otra parte, en esta etapa también se logran consolidar acuerdos de facilitación del comercio y el transporte entre las naciones con una ardua labor del Centro de Facilitación del Comercio de las Naciones Unidas. Finalmente, otra característica de esta etapa considera el uso extendido de internet en la inmensa mayoría de los procesos de negocios. También se consolida un nuevo habilitante denominado *orgware*, que explora nuevas formas de gobernanza público-privada ligadas al negocio portuario.

La etapa 3 (etapa de sustentabilidad) se manifestará en toda su dimensión entre los años 2025 y 2035, y su principal característica será la convergencia entre la infraestructura (máquinas, principalmente) y la infoestructura (datos y conectividad), gracias a la madurez de las plataformas de IoT, que en la actualidad se encuentran en plena etapa de pruebas de concepto para distintos ámbitos del negocio marítimo-portuario. Por ejemplo, comienzan a emerger pruebas piloto con contenedores y sensores que permiten monitorear a lo largo de la cadena de suministro global el estado de las cargas; se han incorporado equipos AGV (*automated guided vehicle*) que movilizan contenedores en los puertos de manera autónoma; y pruebas de integración de información de la movilidad del transporte terrestre en el *hinterland* con el negocio portuario (sincromodalidad). El enfoque de gestión se denomina "cadena logística portuaria verde y ágil", término que sintetiza los esfuerzos por ofrecer servicios ambientalmente responsables que utilicen los activos de una manera mucho más racional. Las plataformas de IoT, a su vez, operarán bajo un protocolo de comunicación basado en *blockchain* sobre la red de internet, lo que permitirá operaciones más seguras, sin intermediación y de bajo costo. Adicionalmente, se producirá el fenómeno de incremento exponencial del volumen de información e irrumpirán en el mercado los operadores de tecnologías *big data*, que serán los nuevos actores entrantes al ecosistema de la red de servicios de transporte global. La etapa 3 será claramente de transición.

La etapa 4 (etapa de conocimiento) visualiza un escenario en donde se habrán dejado atrás los protocolos preestablecidos de comunicación entre las máquinas que gobernaban la IoT para pasar a la implementación a gran escala de inteligencia artificial que, bajo sus principios, permitirá a máquinas y sistemas cibernéticos complejos tomar el control sobre una serie de ámbitos de servicios que hoy son coordinados por seres humanos o híbridos humanos, asistidos por máquinas. En el escenario de vehículos autónomos de transporte, estos podrán ser implementados más allá de las paredes de un puerto y llegar a barcos, camiones, contenedores, drones y otros componentes del sistema de transporte, y con un lenguaje propio para la toma de decisiones; asegurará una movilidad libre de errores, ineficiencias, desperdicios y sobrecostos, y en muchos casos... de personas. El enfoque de gestión del puerto pasará a uno basado en corredores inteligentes, verdaderas redes de servicios de transporte autónomas, eficientes, resilientes y orientadas a la movilidad de las mercancías y las personas, bajo un enfoque híbrido (ver recuadro "Puertos ágiles").

BLOCKCHAIN
LA TECNOLOGÍA PERMITIRÁ OPERACIONES MÁS SEGURAS Y A MENOR COSTO

PUERTOS ÁGILES (*SMART PORTS*)

Los conceptos de puertos ágiles o *Smart ports* promueven la adopción de tecnologías disruptivas que permitan una mejor planeación y gestión en la cadena logística portuaria, pasando de los límites de las terminales portuarias, hacia los ámbitos comunitarios. El Puerto de Hamburgo fue uno de los primeros que acuñó el término, con su programa smartPORT, que fue implementado por la Autoridad Portuaria de Hamburgo. El uso de tecnología de sensores, en combinación con el análisis de datos y pronósticos, junto con sistemas de información, ha permitido generar una mejora sustancial en la eficiencia de sus operaciones, lo cual no solo es bueno para el negocio sino para el entorno. Gracias a la filosofía smartPORT, el Puerto de Hamburgo ha logrado un desarrollo económico y sustentable y maximizar los beneficios para los actores de su comunidad portuaria y el entorno.

Fuente: HPA (2018).

UN MODELO EMERGENTE

Tal como se indicó previamente, el proceso de integración entre los negocios marítimos y portuarios se encuentra inmerso en una constante evolución e impulsado por una mayor fluidez de las mercancías, y sus objetivos y ambiciones estratégicas podrán ser alcanzados solo mediante la adaptación permanente de los modelos de gestión con las tecnologías físicas y digitales disponibles. La característica principal del modelo de gestión emergente denominado "cadena logística portuaria verde y ágil" es la adaptación de las tecnologías disruptivas, las cuales han dejado atrás su etapa de prototipado y laboratorio, para incorporarse a los nuevos requerimientos de servicio de los negocios.

Un número importante de sistemas portuarios de primer orden mundial

US$ 50.000 millones
ES LA INVERSIÓN NECESARIA EN LOS PUERTOS DE LA REGIÓN

ya opera con este modelo de gestión emergente, el cual, como muestra el gráfico 2, combina aquellos elementos necesarios para alcanzar el objetivo o ambición estratégica de sustentabilidad, que permite equilibrar las variables económicas, sociales y ambientales derivadas del negocio marítimo-portuario. Cada elemento del modelo de gestión emergente se explica gracias a una serie de aportes que han ido madurando, tanto a nivel externo como interno. A nivel externo, las tecnologías disruptivas como IoT, *blockchain*, *big data* y cómputo en la nube, facilitadas por una mayor estabilidad y disponibilidad de servicios de internet a nivel de redes móviles, están permitiendo no solo mejorar las capacidades de procesamiento de información y nuevos servicios desde las infraestructuras tecnológicas comunitarias, sino que, además, la información procesada está impactando enormemente en la eficiencia del modelo logístico portuario extendido, conocido en Europa como de sincromodalidad.

Es importante comprender el fenómeno de la disposición de grandes bases de datos. Con datos que fluyen por tecnologías como *blockchain*, es posible aumentar la seguridad de la información de pagos, documentos y órdenes en la cadena logística portuaria, a la vez que se mejora la interoperabilidad entre los sistemas de información de los actores de negocios, las comunidades portuarias y las plataformas nacionales e internacionales de comercio exterior y logística. A su vez, el intercambio de datos entre los actores en tiempo real está permitiendo perfeccionar la toma de decisiones que define los niveles de uso de activos críticos, como la capacidad de bodegas en naves, grúas y espacios en puerto, camiones y ferrocarriles en tierra, lo que facilita la sincronización e integración real y eficiente de los sistemas de transporte intermodales.

A nivel interno, los puertos en esta categoría de gestión han logrado profundizar su modelo de gobernanza, el cual ha pasado del simple ejercicio de gestión desde la perspectiva estatal o de autoridad portuaria, hacia una cogestión efectiva con el sector privado y las redes de negocio e innovación de la ciudad puerto. En este estadio de desarrollo, las comunidades logísticas portuarias legales o formalizadas son la piedra angular de gobernanza, lo que les ha permitido emprender acciones coordinadas para incrementar la competitividad del puerto en materias de calidad y seguridad garantizadas a sus usuarios, implementar nuevos estándares ambientales de producción limpia, integración con el medio y las ciudades puertos y, finalmente, ser un motor para la facilitación del comercio mediante la adopción de sus miembros a formar parte de los programas de Aduanas denominados “Operador Económico Autorizado” (OEA).

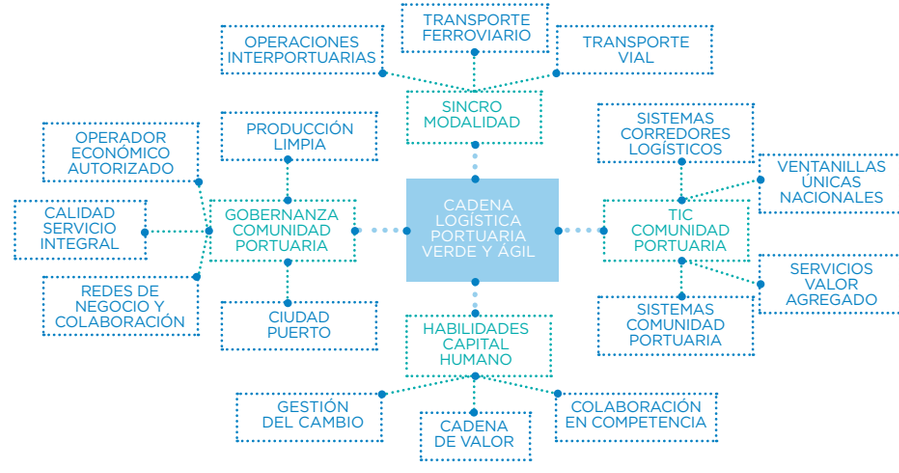
Finalmente, se debe mencionar que para adoptar tanto las nuevas tecnologías como los modelos de negocios disruptivos en la industria marítimo-portuaria el capital humano pasa a ser fundamental; los aspectos educacionales, formación y capacitación utilizan cada vez más conceptos en habilidades blandas, como la orientación al cliente y cadena de valor, la capacidad de adaptarse al cambio permanente y, finalmente, trabajar en un ambiente de competencia en colaboración. Estas nuevas habilidades son impartidas conjuntamente entre las comunidades portuarias y los centros educativos en países desarrollados como Singapur, Alemania, Holanda, Bélgica y Francia, que marcan el camino al resto de países que aún presentan brechas para la aplicación plena de este modelo de gestión emergente.

POLÍTICAS PÚBLICAS

Tal como se plantea en SELA (2017), el uso de tecnologías como el cómputo en la nube, la analítica de datos, la internet de las cosas, la IA y el *blockchain* requiere de un esfuerzo importante por parte de los gobiernos para la definición de políticas públicas que fortalezcan sus ecosistemas digitales y promuevan la adopción tecnológica en los diversos sectores y, en particular, en el marítimo-portuario y de comercio exterior. Con el objetivo de promover el fortalecimiento de la economía digital en la región, se diseñó la Agenda digital para América Latina y el Caribe (eLAC2018), en la cual se plantea una estrategia con miras al 2018 con el compromiso de los gobiernos para diseñar programas que fomenten el acceso y uso de las tecnologías digitales. Inició en el año 2000 y hasta la fecha ha desarrollado diversas instancias de trabajo entre las que está la Conferencia Ministerial sobre la Sociedad de la Información de América Latina y el Caribe. La sexta conferencia está prevista para el año 2020 (eLAC2020). Es importante destacar que esta estrategia es una iniciativa liderada por la CEPAL.

Los puertos que han avanzado en la implementación de modelos de gestión emergentes han podido combinar y aprovechar tanto el estado de evolución de sus ambientes de economía

GRÁFICO 2
HACIA UNA CADENA LOGÍSTICA PORTUARIA VERDE Y ÁGIL
TECNOLOGÍAS, NEGOCIOS Y OPERACIONES DISRUPTIVOS



Fuente: Red de Puertos Digitales y Colaborativos SELA-CAF.

digital que les provee el entorno social e institucional donde están situados (contexto externo), así como un inteligente manejo de las variables de competitividad propias del negocio marítimo-portuario (contexto interno). En particular, los puertos de la región aún presentan importantes rezagos en el uso de tecnología y en la implementación de nuevos modelos de gestión. Como parte de una iniciativa de cooperación técnica internacional, el Sistema Económico Latinoamericano y del Caribe (SELA) en conjunto con el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) lanzaron en 2014 el programa Red de Puertos Digitales y Colaborativos de Latinoamérica y el Caribe, cuyo objetivo principal es aportar a la divulgación y transferencia de conocimiento e información relativa a nuevas tendencias de gestión, digitalización de operaciones públicas y público-privadas y competitividad logística portuaria. En la actualidad, suman 26 sistemas portuarios de 13 países de todas subregiones de nuestro continente americano.

Uno de los pilares del programa es la promoción de las comunidades logísticas portuarias de la región y su vinculación entre los diferentes actores públicos y privados que intervienen, así como con organismos reguladores del sector y con las universidades o centros de investigación.

Mientras los gobiernos debaten internamente sobre cómo aplicar nuevas y mejores medidas de políticas públicas sobre el sector de transporte, el mercado sigue su curso en cuanto a demanda creciente de movilización de carga y la adecuada oferta de desarrollo de infraestructuras para atender estos requerimientos. Un reciente estudio de CAF (Arroyo Crejo, 2018) denominado "Análisis de inversiones portuarias en América Latina y el Caribe al horizonte 2040" da cuenta de que, para dicho año, la región deberá invertir cerca de US$ 50 mil millones y atender una demanda estimada de 150 millones de contenedores equivalentes de 20 pies (TEU). En dicho período, la región verá pasar de los 6 puertos que actualmente movilizan más de 2 millones de TEU a 20 puertos con esa capacidad de transferencia.

FAVORECER LA AGENDA REGIONAL

A medida que las nuevas tecnologías llegan a nuestros hogares, empresas y gobiernos cambian la forma en que interactuamos y trabajamos presentando nuevas oportunidades para avanzar como región y desarrollar comunidades de interés mucho más fortalecidas y resilientes. Las tecnologías emergentes como internet de las cosas y la inteligencia artificial, entre otras, pueden ayudar a las personas y organizaciones a ser más eficientes y crear resultados más efectivos que se traducen en una mayor productividad y crecimiento económico.

Contrario a la expectativa sobre la automatización y uso de tecnologías emergentes como la IA, es importante destacar que estas herramientas no tienen como objetivo la reducción de puestos de trabajo. Esto es debido a que aún existe una gran cantidad de excepciones que estas herramientas no son capaces de abordar por sí solas y se requiere de la intervención humana. Sobre todo, en industrias altamente complejas como la marítimo-portuaria, el uso de estas tecnologías tiene como finalidad asistir a los trabajadores en sus actividades y toma de decisiones, tal que tareas simples sean automatizadas, mientras que los ejecutivos se focalizan en atender tareas más complejas y excepciones.

Para lograr la adopción tecnológica y que las empresas y personas puedan verse beneficiadas de la digitalización, es esencial proporcionar directrices de arriba hacia abajo (*top-down*) y colaboración desde abajo hacia arriba (*bottom-up*).

En un lapso de 20 años al 2040, el sector marítimo-portuario de la región verá triplicar su volumen de tráfico de carga general representada por contenedores de importación y exportación, lo que significará un estimativo de inversiones del orden de US$ 50 mil millones, con 20 puertos regionales con una capacidad de transferencia superior a los 2 millones de TEU.

Para abordar este desafío, dicho sector deberá adoptar decididamente como parte de sus estrategias de gestión la integración logística y la sustentabilidad, donde el uso de tecnologías emergentes será necesario para entregar el máximo de valor a las crecientes necesidades de fluidez y conectividad de las cargas y negocios del comercio exterior.

En el contexto de evolución tecnológica y necesidades de cambio en los modelos de gestión en la industria marítimo-portuaria, el rol de los gobiernos y la cooperación técnica internacional pasan a ser fundamentales para articular acuerdos en torno a la economía digital y su impacto en industrias específicas. Llevar adelante una agenda estratégica regional orientada a facilitar el desarrollo de puertos inteligentes permitirá crear mejores capacidades para integrarse a las cadenas logísticas y corredores de integración económica; ser promotores de tráfico marítimo; desarrollar eficientes inversiones en infraestructura; aumentar su competitividad y eficiencia operacional; y, finalmente, ser sostenibles institucional, ambiental y económicamente.

Foros de trabajo regionales como la Red de Puertos Digitales y Colaborativos son el lugar adecuado para que gobiernos, industria y academia establezcan estrategias adecuadas para abordar los desafíos que impone e impondrá la economía digital.

BIBLIOGRAFÍA

Arroyo Crejo, F. 2017. "Desarrollo portuario en América Latina y Caribe. Horizonte 2040. [Reflexiones para debatir]". Documento preparado para el II Encuentro Latinoamericano y Caribeño de Comunidades Logísticas Portuarias. CAF-CELA. Cartagena de Indias, Colombia.

—. 2018. *Análisis de inversiones portuarias en América Latina y el Caribe al horizonte 2040*. Caracas: CAF.

Ferrer Caballero, C. "8.400 millones de dispositivos estarán conectados a Internet a finales de 2017". World Economic Forum. **20 de febrero, 2017**.

Heilig, L. y Voß, S. 2016. "Information Systems in Seaports: A Categorization and Overview". *Information Technology and Management*. 18 (3): 179-201.

Heilig L., Schwarze, S. y Voß, S. 2017. "An Analysis of Digital Transformation in the History and Future of Modern Ports". En: *Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*. Big Island, Hawái: HICSS.

HPA. 2018. "smartPORT. The Intelligent Port". Consultado: 9 de abril. https://www.hamburg-port-authority.de/en/hpa-360/smartport/.

Kuznetsova, I., Spellman, P. y Jumma, K. 2018. "How Artificial Intelligence Can Power Growth and Opportunities in Global Container Shipping". INTTRA.

MHI. 2017. *Material Handling & Logistics U.S. Roadmap 2.0*. MHI.

Muruzábal, C. "Para que América Latina prospere en la era digital, primero debe enseñar a las mentes, luego las máquinas". World Economic Forum. **15 de marzo, 2018**.

Puerto de Róterdam. 2018. "Port Vision 2030". Consultado: 9 de abril. https://www.portofrotterdam.com/en/the-port/port-vision-2030.

SELA. 2017. "Comercio y competencia en la era de la economía digitalizada". Documento de trabajo No. 2-17. San Salvador: VII Reunión Anual del Grupo de Trabajo sobre Comercio y Competencia de América Latina y el Caribe (GTCC), SELA.

Tapscott, D. 1997. *La economía digital*. Bogotá: McGraw-Hill Interamericana.

White, M. "Digitizing Global Trade with Maersk and IBM". IBM. **16 de enero, 2018**.

CASO DE ESTUDIO

Logística robótica

Eficacia en el manejo de inventarios

Antes de compartir las carreteras con automóviles sin piloto, es más probable que nos topemos con robots deambulantes por tiendas o almacenes. La tecnología de visión artificial que permite el reconocimiento de espacios y objetos no solo sirve para la navegación, también permite reconocer la naturaleza de los objetos identificados, automatizar tareas y mantener inventarios.

Fellow Robots es una empresa mexicana especializada en la utilización de robots autónomos para realizar labores de inventario y logística. Marco Mascorro, CEO de la empresa radicada en Silicon Valley, un innovador premiado por Forbes y MIT Technology Review, explica que los robots navegan por el interior de tiendas de pasillos o almacenes, generan un mapa de las instalaciones y reconocen los productos dispuestos en las estanterías. Así se mantiene un inventario digital actualizado y se reduce un costo que puede incluso sobrepasar el 30% del precio de un producto.

¿Cómo puede incidir la inteligencia artificial en el sector logístico?

La robótica y la inteligencia artificial están creciendo de una manera exponencial, y estamos solo en el inicio de esta industria. Actualmente, ambas están siendo implementadas en tareas básicas, pero conforme la tecnología y el poder computacional se incrementen y los costos de procesamiento en la nube bajen, tendrán un impacto grande en la industria de la logística y almacenamiento, en donde los procesos serán optimizados de una manera muy eficaz. Al mismo tiempo, la cantidad de datos que se generarán se irá incrementando y las decisiones humanas serán más sofisticadas.

¿Cuánto mejora la eficiencia de la gestión de un almacén o una tienda?

La implementación de estas soluciones se está dando a pasos acelerados. La ventaja de muchos de estos sistemas es que residen en mundos virtuales, en la nube, lo que ayuda a que un sistema sea global de inmediato. Esto impacta en los sistemas de distribución, en los sistemas de transporte y en el tiempo hacia el destino final. En el caso de la robótica, nos ayuda a captar datos de los almacenes, tiendas y otros sistemas de una manera eficaz y constante.

¿Qué podemos esperar en este campo en los próximos años?

La convergencia de las tecnologías como la inteligencia artificial, la robótica, el poder de procesamiento en la nube y los costos en declive son los que han permitido la expansión y crecimiento del desarrollo tecnológico e implementación. Ya se encuentran estos sistemas en uso en varias áreas de la logística y en un corto plazo veremos más de estos sistemas implementados en áreas tradicionales de logística. Sin embargo, en los siguientes años, veremos más inteligencia artificial implementada a los sistemas de orden de compras, predicción de futuro inventario y optimización de sistemas de distribución y transporte.

LEJOS DE LA OCDE

En la actualidad, los costos logísticos de América Latina oscilan entre el 18% y 35% del valor final de los productos, muy por arriba del 8% de los países de la OCDE. Para las pequeñas y medianas empresas, este porcentaje puede incluso superar el 40%. La región necesitaría duplicar su inversión en infraestructura para equiparar los desembolsos que hacen los países desarrollados, que gracias a una infraestructura más competitiva reducen los costos logísticos de sus empresas. Según Mascorro, la tecnología contribuye a cerrar esta brecha.

¿Qué necesita una empresa para poder implementar y beneficiarse de este tipo de soluciones?

Las tecnologías están siendo más accesibles que nunca, a costos mucho más bajos de lo que solían ser algunos años atrás. Hoy en día, se tiene la ventaja de poder implementar sistemas en ambientes existentes, en donde no se requieren cambios de infraestructura para la tecnología implementada. Este es otro de los beneficios, que la tecnología puede ser flexible, aprender un nuevo ambiente y parámetros completamente nuevos, y mejorar los procesos. Actualmente, estos sistemas los hemos implementado en empresas grandes y pequeñas, con una inversión mínima y un beneficio e impacto positivo desde el primer día de operación.

¿En qué países tienen sus operaciones?

Principalmente en Estados Unidos, pero también en Japón. Pero creemos que la oportunidad en Latinoamérica es grande debido al tamaño del mercado.

La automatización, ¿supondrá una pérdida de puestos de trabajo en el sector?

El objetivo de nuestra tecnología siempre ha sido desarrollado en torno a complementar de una manera eficaz la tarea de los humanos. La tecnología nos brinda las herramientas necesarias de información para tomar mejores decisiones. Como lo han hecho los teléfonos móviles en la vida cotidiana, proveen una ventana de acceso a la información que nunca había sido tan abundante y complementaria.

Hacia una minería inteligente

John Atkinson
Universidad Adolfo Ibáñez

LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL IMPACTA EN LA PRODUCTIVIDAD Y EL MODELO DE NEGOCIO DE DIVERSAS INDUSTRIAS. EN LA MINERÍA CONTRIBUYE A MEJORAR LAS DIFERENTES ETAPAS DEL CICLO MINERO, ELEVAR LA EFICIENCIA, REDUCIR LOS COSTOS E INCREMENTAR LA SEGURIDAD PARA LOS TRABAJADORES DEL SECTOR.

La industria minera está experimentando un período intenso de cambios, por lo que su capacidad para innovar y mejorar se ha vuelto indispensable. Estudios recientes estiman que la verdadera innovación impulsará la próxima ola de ganancias en productividad y crecimiento financiero del sector (Duddu, 10 de abril, 2014; FN Media Group, 14 de diciembre, 2017).

Afortunadamente, las tecnologías emergentes de automatización que permiten innovar a la industria minera están listas para cambiar la forma en que los mineros operan y evolucionar hacia nuevos modelos de negocio. Un modelo que se profundizará en el corto plazo será el de minería inteligente, cuyo foco es la entrega de soluciones en el ámbito de tecnologías de información, automatización de procesos y robótica. Esto permite priorizar procesos productivos en los que existe un riesgo inherente para un operador humano debido a la naturaleza de la actividad minera (Durrant-Whyte *et al*., 2015). Así, la minería pasó de ser un proceso centrado netamente en el trabajo físico, a una industria intensiva en el uso de grandes máquinas, que hoy se abre paso a la aplicación más concreta del conocimiento y la tecnología que permitan mejorar la productividad y la seguridad en las faenas y, al mismo tiempo, ser más amigables con su entorno.

La incorporación de la automatización en los procesos mineros y la toma de decisiones no es algo nuevo en la industria (Karakaya, 2017). Una motivación tradicional ha sido la sistematización de tareas rutinarias y costosas, por ser realizadas por operadores humanos, todo esto asumiendo que los expertos humanos tienen un buen rendimiento realizándolas, algo que en muchas tareas es cuestionable. Sin embargo, una gran parte de los problemas productivos complejos se debe a que, incluso con humanos experimentados, las tareas no se pueden realizar eficientemente. Por ejemplo, en varias tareas del ciclo de minería se obtiene una gran cantidad de datos de diversas fuentes (GPS, sensores, imágenes, etcétera), sin embargo, no existe capacidad humana suficiente para aprovechar dichos datos, analizarlos y tomar decisiones en tiempo real (Habrat y Lisowski, 2015); en tareas de carga/transporte sin operadores humanos, ya sea porque existen teleoperación o una cierta autonomía proporcionada por algún sistema de geolocalización, los sistemas en operación no toman sus propias decisiones; la planificación de actividades usualmente se realiza semiautomáticamente, debido a su complejidad y naturaleza dinámicas, y esto no permite predecir o adelantarse oportunamente a eventos.

La solución a estos problemas claramente no pasa por la mera automatización tradicional, sino por el diseño de sistemas con inteligencia para analizar y tomar decisiones en forma autónoma (sin intervención humana), explorando millones de alternativas en forma eficiente y aprendiendo desde la experien-

cia. La esperanza es que este tipo de tecnologías no solo automatice alguna tarea, sino que produzca incluso un rendimiento superior a la realizada por humanos.

Como en muchas otras áreas productivas, los avances en IA están evolucionando rápidamente y reestructurando el sector minero. La IA está transformando la manera en que se realizan tareas complejas, desde lo más cotidiano hasta lo industrial, lo que puede generar impactos sin precedentes en la economía mundial (Purdy y Daugherty, 2016; Rao y Verweij, 2017). En general, los ejecutivos en la minería deben tomar muchas decisiones críticas de operación y, al mismo tiempo, satisfacer las obligaciones del día a día, tales como las metas de seguridad y producción. Estas decisiones usualmente involucran compensaciones complejas (ej. costos de operación vs. producción en plantas de procesamiento), que producen soluciones subóptimas por confiar en simples planillas o criterios, de manera que aprovechar las ventajas de la IA puede ayudar a evitar esta trampa (Karakaya, 2017).

Así, debido a la gran cantidad de datos y fuentes disponibles y al aumento de sensores de bajo costo y dispositivos inteligentes, la IA puede abordar problemas que eran imposibles de resolver hasta hace pocos años atrás. Además, los nuevos algoritmos de análisis inteligente de datos y el aumento de poder computacional (ej. *cloud computing*, computación de alto rendimiento) han hecho que las aplicaciones de la IA sean más accesibles en muchos ámbitos productivos.

En este artículo se examina lo que la IA tiene que ofrecer al sector minero para mejorar la productividad y eficiencia en sus procesos. Para esto, se describen varios procesos de minería donde la IA se ha aplicado con sus múltiples casos de éxito a nivel internacional, como también su impacto y proyecciones a nivel mundial.

EL CICLO MINERO AUTOMATIZADO

El estudio de PwC (2017) muestra que las 40 empresas mineras mundiales más importantes tienen una capitalización del mercado de US$ 748 mil millones. Como un todo, la industria vivió una recesión en el año 2015. Desde entonces se ha recuperado, debido al aumento en los precios de *commodities*, por lo que el sector se ha focalizado significativamente en mejorar la eficiencia en todos los niveles. Aquí, pequeños cambios en automatización que mejoren la velocidad, rendimiento y eficiencia usualmente pueden separar una operación rentable de una no rentable.

La principal ventaja de la automatización en minería es hacer viable el control de cualquier proceso industrial de una manera segura y eficiente (Durrant-Whyte *et al*., 2015). Por su naturaleza, existen muchas tareas que son de difícil control para un experto humano, pues poseen muchas variables difíciles de manejar y controlar debido a su velocidad de cambio, las relaciones complejas entre ellas, el riesgo del ambiente de trabajo para un operador, la mayor precisión en las acciones, etcétera. Por esto, la innovación resulta una pieza fundamental para la incorporación de elementos tales como movilidad, análisis de datos e inteligencia en las diversas faenas mineras. La incorporación al negocio minero de tecnologías de automatización facilita la integración de inteligencia digital en los procesos mineros, lo que posibilita nuevas formas de interactuar y de utilizar la información para la toma de decisiones en tiempo real (FN Media Group, 14 de diciembre, 2017).

Una de las grandes tendencias tecnológicas que está revolucionando varios procesos productivos y la economía en general, y que puede impactar significativamente en la minería digital, es la IA. Este campo de las ciencias de la computación trata sobre la creación de sistemas computadores inteligentes que trabajan y reaccionan como humanos para resolver problemas complejos (Russell y Norving, 2015). Esto cubre un amplio espectro, desde el reconocimiento de voz y percepción visual en robótica hasta la traducción automática y toma de decisiones que normalmente requerirían inteligencia humana. En minería, la IA se considera el próximo paso para la transformación digital de una mina, desde la etapa de prospección y exploración al proceso actual de minería (Schilling *et al*., 5 de octubre, 2017; Skilton y Hovsepian, 2018).

10%
DE AHORRO
EN EFICIENCIA
PERMITE LA IA

Los beneficios que la IA puede traer a varias industrias son inmensos y su adopción puede mejorar la productividad y ahorro de costos (Purdy y Daugherty, 2016; Russell y Norving, 2015). Sin embargo, la incorporación de tecnologías de IA en la industria minera no es algo nuevo. Una de sus primeras aplicaciones prácticas en la década del 70 fue el desarrollo de los sistemas expertos, que emulan la capacidad de toma de decisiones de un experto humano (Giarratano y Riley, 2004).

Un sistema experto está diseñado para resolver problemas complejos razonando a partir de bases de conocimiento, que en sus inicios almacenaban y representaban conocimiento humano a través de reglas de decisión del tipo "si... entonces" (en vez de programas computacionales convencionales), que son procesadas posteriormente por motores de inferencia. Uno de los primeros sistemas expertos exitosos en el mundo, y justamente en el ámbito de la exploración minera, fue PROSPECTOR, desarrollado por el Stanford Research Institute (Hart, Duda y Einaudi, 1978). El sistema, pensado inicialmente como un asesor geológico, intentaba representar el conocimiento y razonamiento de expertos en geología para sugerir automáticamente posibles sitios de perforación. Los primeros resultados tuvieron un impacto sin precedentes: PROSPECTOR fue capaz de predecir la existencia de depósitos desconocidos de molibdeno en Washington, en donde ningún grupo de expertos los había detectado.

Para lograr esto, PROSPECTOR utili-

CUADRO 1
EXTRACTO DE DECISIÓN TOMADA POR PROSPECTOR SOBRE PROSPECCIÓN MINERA

[PROSPECTOR YA PUEDE RESUMIR SU INTERPRETACIÓN].

EN UNA ESCALA DE -5 A 5,
MI CERTEZA ACTUAL EN (MVTD) ES: .8995
[UNA CERTEZA DE .8995 PUEDE INTERPRETARSE COMO MODERADAMENTE ALENTADORA].

EN SÍNTESIS, SE OBSERVÓ LO SIGUIENTE:
LAS PRINCIPALES CONCLUSIONES FAVORABLES FUERON:
- (* EVIDENCIA QUE SUGIERE MVTD) (5.0)
- (* EL POSIBLE DEPÓSITO MINERAL YACE EN SEDIMENTOS CARBONATADOS) (3.0)
- (* ALTERACIÓN HIDROTERMAL CORRECTA) (3.0)
- (* EL POSIBLE DEPÓSITO MINERAL CONTIENE GALENA Y ESFALERITA) (2.0)

Fuente: Hart, Duda y Einaudi (1978).

zó más de 2.000 reglas proporcionadas por expertos, que capturaban conocimiento sobre configuraciones geológicas, tipos de rocas y minerales, y luego utilizó métodos computacionales de razonamiento probabilístico para generar conclusiones. Un ejemplo del tipo de resultado que podía inferir PROSPECTOR se puede apreciar en el extracto original del cuadro 1.

Sin embargo, los sistemas expertos fueron solo una de muchas áreas de desarrollo y aplicaciones de la IA. Tradicionalmente, la IA se ha desarrollado en torno a problemas que caracterizan la inteligencia general: razonamiento, resolución de problemas, conocimiento, planificación, aprendizaje, lenguaje natural, percepción, comportamiento social y la habilidad para manipular objetos.

En el ámbito de automatización en minería, en general cuatro subáreas de la IA de las mencionadas previamente están generando impactos y beneficios significativos.

Aprendizaje automático: involucra el desarrollo de métodos computacionales que mejoran la realización de las tareas a partir de la experiencia y, por tanto, permiten entender las relaciones en datos complejos para tomar decisiones automáticamente (Bishop, 2011). Este tipo de decisiones puede ser simple (ej. predecir qué temperatura alcanzará un componente de una máquina bajo ciertas condiciones) o compleja (ej. detectar cuándo fallará una trituradora). A través del aprendizaje, un algoritmo puede detectar patrones complejos que surgen desde miles de variables, incluso en ambientes de operación complejos presentes en una mina (Shalev-Shwartz y Ben-David, 2014).

Robótica autónoma y percepción: a diferencia de la robótica tradicional, cuyo control es previamente programado por un experto humano, un robot autónomo realiza tareas y toma decisiones sin intervención o control humanos (Siegwart, Nourbakhsh y Scaramuzza, 2011). Esto es particularmente atractivo en el sector de la minería, donde aspectos relacionados con rendimiento, costos y seguridad usualmente limitan las tareas realizadas por operadores humanos. Por otro lado, el ambiente de un robot autónomo es desafiante, pues a menudo contiene muchas variables que no se pueden predecir fácilmente. En el contexto de la minería, un robot completamente autónomo puede ser capaz de obtener información desde el ambiente, trabajar por largos períodos de tiempo sin intervención humana (excepto para mantención), evitar eventos que pueden ser peligrosos para las personas, entre otros.

Planificación automática: concierne al desarrollo de estrategias o secuencias de acción (plan) en ambientes altamente dinámicos, usualmente ejecutadas por un agente inteligente, robot autónomo o vehículo no tripulado. A diferencia de los problemas de control y clasificación tradicionales, las soluciones a un problema de planificación o programación de actividades son complejas, se deben descubrir y optimizar en un espacio altamente dimensional y posteriormente generar y ejecutar el plan (secuencia de acciones) para satisfacer un cierto objetivo (Ghallab, Nau y Traverso, 2004). En ambientes desconocidos y dinámicos, una estrategia de planificación automática puede no solo generar planes de acciones, sino también revisarlos y actualizarlos automáticamente (ej. el plan de acción para los operadores de diferentes faenas de una mina), por lo que el proceso es iterativo a la vez que se busca reducir los márgenes de error o modificar algún criterio establecido.

Analítica inteligente de datos: consiste en analizar grandes volúmenes de datos de diferentes tipos, dinámicas y fuentes para detectar o descubrir patrones o relaciones entre los datos, para transformarlos en una estructura entendible para expertos que toman decisiones (Keane, 2017). Usualmente, el análisis inteligente de datos utiliza métodos de aprendizaje automático y estadísticos y está bastante ligado a otras áreas, tales como minería de datos, inteligencia de negocios y *big data*. Las tecnologías de analítica de datos son ampliamente utilizadas en industrias comerciales para la toma de decisiones más informadas. El resultado de este tipo de análisis puede ayudar a diversas industrias a incrementar sus ganancias, mejorar su eficiencia operacional, optimizar sus campañas de *marketing* y servicios al cliente, responder más rápidamente a las tendencias emergentes del mercado y ganar inteligencia competitiva.

20%
SE REDUCEN LOS ACCIDENTES DE SEGURIDAD Y COSTOS DE ACARREO

La buena noticia es que, a diferencia de los inicios de la IA varias décadas atrás, su desarrollo ha llegado a ser mucho más accesible y de menor costo para las industrias. En algunas tareas mineras, como la predicción, la IA podría alcanzar hasta un 10% de ahorro en eficiencia sin realizar grandes inversiones de capital, sino simplemente produciendo mejores modelos predictivos y de control (Walker, 3 de diciembre, 2017), que mejoran su efectividad a medida que se dispone de más y mejores datos. De aquí que el impacto global de la IA en diversos rubros y actividades en el mundo la ha convertido en protagonista de la Cuarta Revolución Industrial. El cuadro 2 muestra algunos indicadores de

CUADRO 2
IMPACTO DE LA IA EN EL MUNDO

86% DE INTERACCIONES DE CLIENTES SERÁN GESTIONADAS SIN UN HUMANO HACIA EL 2020 (GARTNER).	1.500 M CANTIDAD DE CAPITAL (MILES DE MILLONES) QUE LAS EMPRESAS INVIRTIERON EN IA HASTA MAYO DEL 2016 (CB INSIGHTS).	16% DE LOS TRABAJOS SERÁN REEMPLAZADOS POR IA HACIA EL FIN DE LA DÉCADA (FORRESTER).
1.196 NÚMERO DE *STARTUPS* DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL MUNDO (CRUNCHBASE).	6.000 M NÚMERO DE DISPOSITIVOS (MILES DE MILLONES) CONECTADOS QUE REQUERIRÁN SOPORTE EN 2018 (GARTNER).	2 M NÚMERO DE EMPLEADOS (MILLONES) QUE DEBERÁN USAR DISPOSITIVOS DE MONITOREO DE SALUD Y BIENESTAR COMO CONDICIÓN DE EMPLEO (GARTNER).

Fuente: elaboración propia.

lo que significa esta tecnología en materia de innovación.

En el ámbito de la minería, se estima que las mejoras de algunas tecnologías de IA, tales como analítica de datos y robótica autónoma, podrían producir entre US$ 290 mil millones y US$ 390 mil millones en ahorros anuales para combustible, gas natural, carbón termal, minas de hierro y productores de cobre en el mundo hacia el año 2035 (Chui y McCarthy, 2018).

En general, existen cuatro razones fundamentales para la transformación tecnológica de la minería con IA.

1. Obtención de datos en tiempo real. Recuperados por sensores e instrumentos de alta precisión instalados en diverso tipo de equipamiento (ej. perforación). Esto permite acelerar la planificación de múltiples tareas mineras e incorporar inteligencia en la toma de decisiones.

2. Generación de un ambiente ecoamistoso. Seguimiento de sistemas y dispositivos con comunicaciones inalámbricas pueden monitorear parámetros ecológicos que permiten evaluar el impacto de varias actividades mineras.

3. Reducción de riesgos mineros. Garantizar la seguridad del personal con mecanismos automáticos de perforación teleoperados o con robots autónomos. Aquí, métodos de IA podrían ayudar a los operadores y personal de mantención a predecir tiempos de inactividad en equipamiento critico o potenciales incrementos de indicadores (ej. presión en bombas).

4. Simplificación de las operaciones mineras. Sistemas robóticos inteligentes autónomos pueden realizar una amplia variedad de tareas (perforación, carga, explosiones, transporte), lo que permite una supervisión remota e impacta positivamente en la seguridad de los operadores humanos.

Esta transformación tecnológica posibilita un movimiento fundamental en la forma en que la minería opera, un movimiento marcado tanto por el aprovechamiento de los flujos de información para reducir la variabilidad en la toma de decisiones, como por la entrega de operaciones mecanizadas más centralizadas para reducir variabilidad en la ejecución. La tabla 1 muestra ejemplos de tareas mineras típicas y las tecnologías de IA que podrían estar relacionadas a sus problemas respectivos.

TABLA 1:
TAREAS MINERAS TÍPICAS Y EL USO DE LA IA EN PROBLEMAS ASOCIADOS

TAREA MINERA TÍPICA	PREGUNTA A RESPONDER	TECNOLOGÍAS DE IA	APLICACIONES
PROSPECCIÓN Y EXPLORACIÓN	¿DÓNDE EXPLORAR?	APRENDIZAJE AUTOMÁTICO	IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CLASES DE ROCAS Y SUELOS, PREDICCIÓN DE LOCALIZACIONES DE POTENCIAL MINERAL
DESCUBRIMIENTO Y EXPLORACIÓN AVANZADA	¿QUÉ HAY EN EL SUELO?	TOMA DE DECISIONES Y ANALÍTICA	PREDICCIÓN DE LUGARES DE PERFORACIÓN, CLASIFICACIÓN DE MINERALES DE SUBSUPERFICIE
DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN	¿CÓMO CONSTRUIR LA MINA?	PLANIFICACIÓN AUTOMÁTICA	PREDICCIÓN DE FASES DE CONSTRUCCIÓN UTILIZANDO LA PROSPECCIÓN DEL MINERAL
OPERACIÓN Y PRODUCCIÓN	¿CÓMO EXPLOTAR, MOLER Y PROCESAR MINERALES DESCUBIERTOS?	VISIÓN ARTIFICIAL, ROBÓTICA AUTÓNOMA	SEGMENTACIÓN DE IMÁGENES BASADA EN TEXTURA, CONDUCCIÓN NO TRIPULADA
RECUPERACIÓN DE TERRENOS	¿CÓMO REHABILITAR EL TERRENO Y MEDIOAMBIENTE?	APRENDIZAJE AUTOMÁTICO	PREDICCIÓN DE CAMBIOS EN EROSIÓN, MONITOREO DE MIGRACIÓN DE ANIMALES, IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES

Fuente: elaboración propia.

El uso de la IA en minería se está convirtiendo en una característica transversal en todo el ciclo minero, desde la exploración/explotación hasta el cliente final, como lo evidencian las experiencias de muchas empresas de minería alrededor del mundo.

Los beneficios observados en la industria son múltiples e incluyen optimización de material o flujo de equipamiento, mejora en la anticipación de fallas o mantención, incremento de la mecanización a través de la automatización de tareas y monitoreo de rendimiento en tiempo real. Esto ha sido la clave del éxito para la aplicación incremental de tecnologías de IA en la industria minera mundial, con el fin de resolver sus problemas de toma de decisión y automatizar las diferentes etapas mineras.

EXPLORACIÓN MINERA

La tarea de exploración es crítica en las operaciones mineras. Una compañía podría construir la operación más avanzada y automatizada, pero esta sería inútil a menos que existiera buen material para extraer desde el suelo. Aplicar IA a la tarea de prospección y exploración minera es un fenómeno muy reciente que está ganando mucho interés en la industria.

Algunas mineras, tales como Goldspot Discoveries, han desarrollado algoritmos de aprendizaje automático y herramientas de minería de datos para mejorar significativamente la exploración de mineral, tanto a nivel local como regional. Este modelo de decisión de inversiones se utiliza para adquirir proyectos y *royalties* e invertir en vehículos privados para crear un portafolio de activos de mayor utilidad para una cierta tasa de riesgo. El modelo puede predecir más de 80% de los depósitos de oro existentes en algunas regiones utilizando datos geológicos, topográficos y mineralógicos.

13%
SE AHORRA EN COSTOS DE LIMPIEZA DE LASTRE

Por otro lado, Kore Geosystems está planificando instalar instrumentos en sitios de perforación que proporcionen datos en tiempo real que permitan acelerar múltiples etapas de minería e inteligencia de toma de decisiones. En el área de combustible y gas, Yandex y Gazprom Neft desarrollan métodos de analítica de *big data* aplicando técnicas de IA para perforación y completación. Para ello, sobre la base de datos extraídos desde los pozos de las faenas, se intenta estimar resultados de diferentes acciones, de modo de mejorar la priorización de tareas y tratamientos que se llevan a cabo en la exploración.

Empresas grandes de minería de oro, tales como Goldcorp, se han unido con IBM y aprovechan su tecnología Watson para encontrar mejores lugares de exploración en Ontario a partir de gran cantidad de información geológica (Fatima, 25 de abril, 2017). Compañías de petróleo y combustible han usado sistemas similares durante años (Regulski, Szeliga y Kusiak, 2014). Watson permite analizar e interpretar información no estructurada, de más de 60 años en la mina Red Lake, para ayudar a los geólogos a determinar qué áreas podrían ser valiosas o alertarlos ante situaciones potencialmente inseguras. Watson aprenderá a pensar como un geólogo y encontrar patrones que no se habían encontrado antes.

Otro aspecto relevante se relaciona

con la planificación de las explosiones: medir el impacto de un explosivo de alta energía en una mina cuando cada explosión varía y no se puede repetir es una tarea muy compleja. Para abordarla, recientemente, algunas empresas utilizaron métodos de aprendizaje automático para entender la relación entre los patrones del taladro de perforación, diseño de la explosión, tipo de explosivo, geología, etcétera, de casi 80 eventos de explosión en varios meses (Rosienkiewicz, Chlebus y Detyna, 2017). El modelo diseñado fue capaz de realizar predicciones sobre la fragmentación que habría acontecido con diferentes tipos de explosivos. Esta información se utiliza posteriormente para elegir los explosivos adecuados que minimicen el costo de la fragmentación de rocas deseada.

OPERACIONES Y PROCESAMIENTO

Uno de los beneficios más naturales de la aplicación de la IA está en la mejora de la eficiencia de las operaciones en una mina. Muchas utilizan los mismos avances básicos en robótica y sensores inteligentes que se han visto en diferentes fábricas, con el fin de mejorar su rendimiento. La minería, como una industria pesada, es un lugar ideal para los usos comerciales de transportes no tripulados, puesto que se mueven lentamente, operan en áreas bien definidas y controladas y no necesitan preocuparse por gente no autorizada que esté atravesando las vías. Por ejemplo, la compañía minera Rio Tinto ha llevado la delantera en el uso de este tipo de tecnología y ha expandido su flota de camiones autónomos a sus operaciones mineras en Australia (cerca de 80 camiones). Los beneficios en la compañía han sido significativos: estos camiones son aproximadamente 15% más baratos de operar que con personas. Además, los camiones pueden operar 24/7 sin parar ni intercambiar turnos (FN Media Group, 14 de diciembre, 2017). Sin embargo, su manejo no es totalmente autónomo, por lo que sus vehículos requieren utilizar GPS de precisión para determinar su localización y buscar obstáculos con sensores laser y radares.

Recientemente, BHP, en su mina de Jimblebar en Australia, ha comenzado a cambiar su flota de camiones a vehículos autónomos con 50 modelos Caterpillar 793F. Esta flota ha reducido potenciales accidentes de seguridad y costos de acarreo en casi 20%. Todo esto ha sido posible gracias al trabajo conjunto de Caterpillar y el National Robotics Engineering Center de la Universidad Carnegie Mellon, en Pittsburgh. El centro ayudó a desarrollar los vehículos de carga autónomos y a otras empresas mineras, tales como Fortescue Metals Group, para que estos operen en sus propias minas de hierro (Tyler *et al*., junio, 2017).

A diferencia de las experiencias anteriores en superficie, Volvo comenzó a probar transporte completamente autónomo subterráneo en la mina de Kristineberg, en Suecia. Esto constituye un gran desafío sobre el transporte utilizado en otras minas, pues los vehículos subterráneos no pueden utilizar ayudas como GPS, como se hace en vehículos de superficie. Así, un camión es capaz de navegar en túneles muy angostos en forma precisa.

El Centro Avanzado de Tecnología para la Minería (AMTC, por sus siglas en inglés), en Chile, también está llevando a cabo avances en esta línea de vehículos autónomos terrestres, subterráneos y aéreos. El centro ayuda a la industria minera en el desarrollo principalmente de tecnologías de automatización, teleoperación y robotización de vehículos y maquinaria minera móvil. Uno de sus desarrollos recientes involucra tecnología de vehículos aéreos no tripulados (*unmanned aerial vehicle*), utilizados para prospección de georrecursos (minerales, agua, etcétera), levantamientos topográficos y magnéticos, modelamiento 3D de taludes y mediciones medioambientales, en especial en terrenos de topografía compleja, tales como interior de minas subterráneas y rajos.

Una ventaja adicional del transporte autónomo terrestre y aéreo es que es más predecible en la forma en que realiza tareas como carga y transporte, lo cual puede significar ahorros importantes en la mantención de los vehículos y sus redes de transporte. Esto se debe a que la conducción autónoma es más predecible y suave que la forma en que los humanos utilizan frenos y otros controles (Jiang *et al*., 2017).

Por otro lado, en hornos medianos de fundición, los ingenieros han intentado optimizar el producto con conocimientos de química y física por años. Sin embargo, las relaciones complejas y cambiantes entre datos han hecho que ello no sea plausible. Para esto, algunas compañías mineras han utilizado modelos de aprendizaje para predicción basados en redes neuronales artificiales que analizan grandes cantidades de datos. Se observó que este tipo de modelos genera resultados decrecientes en el producto de la receta química, por lo que un horno implementó un nuevo conjunto de criterios de operación que no requiere inversión y que logra una mejora del producto en un 2%.

PERFORACIÓN Y TRANSPORTE AUTÓNOMOS

Muchas de las compañías mineras no solo utilizan vehículos autónomos, sino que están tratando de que toda su operación sea autónoma. Algunas mineras, como Rio Tinto en Australia, utilizan cargadores autónomos, que recogen basura, y sistemas de perforación autónomos. Su sistema de perforación permite que operadores remotos controlen múltiples equipos de perforación del suelo. Pruebas recientes muestran que estos pueden mejorar la productividad en casi un 10%.

7%
FUE EL AHORRO DE COMBUSTIBLE EN MINERAS QUE USAN REDES NEURONALES

Otro problema común es que se tiende a remover gran cantidad de material desde el suelo, aun cuando el mineral buscado sea solo una pequeña proporción (Ghasemi, Ataei y Shahriar, 2014). Separar el material que se desea de basura inservible, rocas y arcilla puede convertirse en un paso muy costoso en el proceso minero (Ibrahim, Bennett y Campelo, 2015). Para mejorar esta tarea, la empresa TOMRA ha desarrollado equipos de ordenamiento inteligente con tecnologías de aprendizaje automático. El sistema utiliza separación por color, rayos X y sensores infrarrojos para examinar cualquier pieza de material que se mueve a través del equipamiento, con el fin de ordenar dicho material basado en criterios determinados por la compañía. El uso continuo de este equipamiento en algunas mineras (ej. Boliden) ha resultado en casi 12% menos de material para remover. Esto significa menos combustible, menos energía durante el procesamiento y menos cargas de camiones (Soofastaei et al., 2016). Todo esto se suma a un logro reciente muy relevante: haber podido recuperar un diamante de 227 quilates en la mina Lulo, en Angola.

La minera estatal Codelco, de Chile, lleva también bastante tiempo utilizando vehículos autónomos de carga basados en GPS de precisión, y sistemas de visión

artificial para medición automática en línea de granulometría en correas transportadoras y características de espuma de flotación, y control predictivo basado en modelos, entre otras tecnologías.

Algunas empresas mineras de cobre en África han ido mucho más allá utilizando monitores espaciales de bajo costo y drones para capturar información en tiempo real sobre localización de camiones, tiempo, velocidad y vibración. Con esto, se han diseñado modelos de aprendizaje basados en redes neuronales artificiales para analizar el despacho de camiones y monitorear el movimiento de los vehículos. El resultado es una retroalimentación directa que muestra a los operadores cómo estaban conduciendo sus camiones, por lo que fueron capaces de restringir la velocidad límite, reducir las paradas cortas y evitar frenadas abruptas. Como beneficio, se logró reducir el consumo de combustible en 7%.

En otras aplicaciones, operadores de trenes de carga gastan casi 20% de su presupuesto anual de mantención en tareas de limpieza de lastre. Debido a esto, con el fin de construir un modelo que pudiera predecir depósitos de lastre, se realizaron pruebas de concepto utilizando métodos de aprendizaje automático que integraron conjuntos de datos obtenidos desde radares, mantención y clima. Con esto se diseñó una herramienta de optimización que ayuda a identificar las mejores secciones de la vía que se deben remediar. Las pruebas mostraron una reducción en los costos de limpieza de lastre en casi 13% y la eliminación de cualquier mantención que no fuera necesaria.

MONITOREO DE EQUIPAMIENTO Y MANTENCIÓN

Muchas de las tareas de monitoreo de equipamiento en una mina han sido posibles gracias al desarrollo de sensores conectivos baratos. Analizar los datos capturados por estos sensores utilizando técnicas de IA puede mejorar significativamente la mantención, reducir el tiempo de inactividad (*downtime*) y ayudar a predecir problemas antes de que ocurran.

Empresas tales como General Electric y PETRA han desarrollado este tipo de tecnologías para varias empresas mineras en el mundo. Por ejemplo, el uso de algoritmos inteligentes de PETRA ha permitido que la operación de Newcrest Mining reduzca significativamente el número de eventos de sobrecarga ocurridos en sus molinos semiautógenos.

En otras compañías de Western Australia, la IA ha permitido mejorar procesos de toma de decisiones en maquinarias y cadenas de suministros. Por ejemplo, algunas mineras utilizan sistemas expertos para programar los movimientos de los rieles y el despacho de trenes que cargan hierro entre las diferentes mineras. Como resultado, se han reducido significativamente las cancelaciones por congestión y esto permitió que operaran más trenes (Wilk-Kolodziejczyk *et al*., 2017). Estos sistemas pueden mejorar aún más su rendimiento si se utilizan sensores avanzados y control de procesos en tiempo real, lo que permitiría mejorar la calidad y grado de los minerales que se entregan a las plantas de procesamiento, como también reducir el uso de energía y agua. Un ejemplo es el proyecto de minería de precisión llevado a cabo por la Minera Escondida, en Chile. La iniciativa está explorando formas de maximizar el producto de cobre y extender la vida de la mina con tecnologías de sensores inteligentes en el equipamiento pesado, con el fin de analizar rápida y precisamente grados de cobre. Pruebas recientes utilizaron esta tecnología para producir gorras inteligentes que permiten medir el cansancio de un conductor analizando sus ondas cerebrales, en una flota de más de 150 camiones.

Con respecto a las tareas de mantención, el equipamiento minero usualmente muestra signos de desgaste (incrementos de presión o temperatura, señales eléctricas, ruido, etcétera) mucho antes de que se descomponga. De aquí que el uso de sensores de bajo costo permitiría la captura de muchos datos disponibles sobre el estado de los equipos. Dado que esto puede producir sobrecarga de información para los ejecutivos e ingenieros, se han aplicado algoritmos inteligentes para detectar automáticamente signos únicos de una falla, modelando la relación entre las fallas observadas y datos de factores que influencian el estado del equipamiento (conducta del operador, mantención histórica, clima, etcétera). En algunos casos, los métodos pueden detectar fallas con días de anticipación, lo que permite a los mineros programar eficientemente futuras mantenciones (Stefaniak, Wodecki y Zimroz, 2016). Como resultado, se han obtenido incrementos en el tiempo de actividad del equipamiento y una mayor proporción de mantención planificada.

A pesar de las mejoras evidentes en productividad y eficiencia de la IA en tareas mineras específicas, los beneficios completos de la tecnología se podrán cuantificar cuando se integren y gestionen las operaciones mineras como un solo sistema que opere desde la mina hasta el mercado (Tyler *et al*., 2017). Por otro lado, mineros, ingenieros y ejecutivos en la minería tendrán información y conocimiento clave para tomar mejores decisiones y, como resultado, la seguridad mejorará a medida que se encuentran nuevas formas de sacar a las personas de actividades o áreas potencialmente peligrosas. Así, disponiendo de más operaciones predecibles, se pueden reducir los tiempos de inactividad, obtener el mejor provecho del equipamiento, optimizar la producción y reducir los quiebres de *stock*.

BENEFICIOS DESPAREJOS

La minería trata de producir *commodities*, de modo que ser competitivo significa producir más rápido y más barato. Debido a que la industria se ha enfocado en la mejora de la productividad y eficiencia, no sorprende que muchas empresas mineras hayan sido muy agresivas en el uso de IA para encontrar formas de mejorar dicha eficiencia. Algunas compañías ya están viendo beneficios tangibles a partir de equipamiento inteligente operado autónomamente. Esto también se observa en los tipos de inversión requerida: el costo marginal de un sistema autónomo de US$ 5 a un camión de carga de 300 toneladas es prácticamente despreciable.

Mientras que la aplicación de la IA atrajo la atención de los principales actores de la industria, la innovación en esta materia aún se encuentra en las primeras etapas y no se puede dimensionar todo el impacto que esto tendrá. Para experimentar avances más rápidos con IA en la industria pesada, se podrían requerir cambios en la forma en que las empresas realizan su investigación y desarrollo. Por ejemplo, muchas compañías están utilizando el mismo *hardware* y repitiendo las mismas pruebas, por lo que el desarrollo de repositorios de datos centralizados podría convertirse en un ahorro considerable de tiempo y dinero. Esto significaría que las empresas deberían crear consorcios de información y utilizarlos para crear métodos computacionales que satisfagan sus aplicaciones individuales.

Por otro lado, dispositivos robóticos y transporte autónomo empoderados por IA pueden realizar un rango de tareas que involucran prácticamente toda la cadena productiva de minería, desde la exploración y carga de material hasta la entrega al cliente. Sin embargo, los beneficios no serán parejos para toda la industria: las compañías con muchos activos y grandes flotas tienen muchas

más posibilidades de capturar cantidades más grandes de datos, utilizar IA más efectivamente e implementar nuevas tecnologías a medida que van logrando su madurez.

Finalmente, en términos de fuerza laboral, existe mucha controversia sobre lo que la revolución de la IA puede generar en la automatización de una mina, ya que serviría para eliminar puestos de trabajo. Sin embargo, debe entenderse que los trabajos con posibilidades de eliminarse son justamente aquellos usualmente peligrosos, sucios y/o monótonos para los operadores humanos, por lo que deberían crearse mejores tipos de trabajos.

BIBLIOGRAFÍA

Bishop, C. 2011. *Pattern Recognition and Machine Learning*. Cambridge: Springer.

Chui, M. y McCarthy, B. 2018. *An executive's guide to AI*. McKinsey & Company.

Craig, B. "Mining Data to Improve Safety and Cut Maintenance Costs. BHP. **20 de diciembre, 2017**.

Duddu, P. "Ten Technologies with the Power to Transform Mining". Mining Technology. **10 de abril, 2014**.

Durrant-Whyte, H., Geraghty, R., Pujol, F. *et al.* 2015. "How Digital Innovation can Improve Mining Productivity". McKinsey & Company.

Fatima, S. "Goldcorp and IBM Canada Launch Watson Artificial Intelligence Project". CIM Magazine. **25 de abril**.

FN Media Group. "How Robots and Artificial Intelligence Will Transform Mining". PR Newswire. **14 de diciembre, 2017**.

Ghallab, M., Nau, D. y Traverso, P. 2004. *Automated Planning: Theory and Practice*. San Francisco: Morgan Kaufmann .

Ghasemi, E., Ataei, M. y Shahriar, K. 2014. "An Intelligent Approach to Predict Pillar Sizing in Designing Room and Pillar Coal Mines". *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 65: 86-95.

Giarratano, J. y Riley, G. 2004. *Expert Systems: Principles and Programming, 4th edition*. Australia Boston: Thomson Course Technology.

Habrat, M. y Lisowski, P. 2015. "Applying Image Mining to the Analysis of Rock Structure Images". *Geology, Geophysics and Environment*. 41(1): 86-90.

Hart, P., Duda, R. y Einaudi, M. 1978. "PROSPECTOR: A Computer-Based Consultation System for Mineral Exploration". *Journal of the International Association for Mathematical Geology*. 10 (5): 589-610.

Ibrahim, A. M., Bennett, B. y Campelo, C. 2015. "Predictive Expert Models for Mineral Potential Mapping". En: M. Khosrow-Pur, editor. *Encyclopedia of Information Science and Technology, 3rd edition*. Pensilvania: IGI Global.

Jiang, Y., Zhixiong, L., Yang, G. *et al.* 2017. "Recent Progress on Smart Mining in China: Unmanned Electric Locomotive". *Advances in Mechanical Engineering*. 9 (3): 1-10.

Karakaya, E. 2017. "Why General-Purpose Technologies Matter in Innovation Systems: The Case of Artificial Intelligence in the Mining and Metal Producing Industry of Sweden". Trabajo presentado en la DRUID Society Conference. Nueva York, EE. UU.

Keane, R. 2017. *Data Analytics: Master the Techniques for Data Science, Big Data and Data Analytics*. Middletown: CreateSpace Independent Publishing Platform.

Purdy, M. y Daugherty, P. 2016. *Why Artificial Intelligence is the Future of Growth*. Accenture.

Rao, A. y Verweij, G. 2017. *Sizing the Prize: What's the Real Value of AI for Your Business and How Can You Capitalise?*. PwC.

Regulski, K., Szeliga, D. y Kusiak, J. 2014. "Data Exploration Approach Versus Sensitivity Analysis for Optimization of Metal Forming Processes". *Key Engineering Materials*. 611-612: 1390-1395.

Rosienkiewicz, M., Chlebus, E. y Detyna, J. 2017. "A Hybrid Spares Demand Forecasting Method Dedicated to Mining Industry". *Applied Mathematical Modelling*. 49: 87-107.

Russell, S. y Norving, P. 2015. *Artificial Intelligence: A Modern Approach, 3rd edition*. Harlow: Pearson.

Schilling, D., King, J., Wood, R. *et al*. "Mining Value in AI". Boston Consulting Group. **5 de octubre, 2017**.

Shalev-Shwartz, S. y Ben-David, S. 2014. *Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms*. Nueva York: Cambridge University Press.

Siegwart, R., Nourbakhsh, R. I. y Scaramuzza, D. 2011. *Introduction to Autonomous Mobile Robots, 2nd edition*. Cambridge: MIT Press.

Skilton, M. y Hovsepian, F. 2018. *The 4th Industrial Revolution: Responding to the Impact of Artificial Intelligence on Business*. Cham, Suiza: Palgrave Macmillan.

Soofastaei, A, Aminossadati, S. M., Kizil, M. S. *et al.* 2016. "Reducing Fuel Consumption of Haul Trucks in Surface Mines Using Artificial Intelligence Models". En: N. Aziz, N. Kininmonth, J. Nemcik, *et al*., editores. *Proceedings of the 2016 Coal Operators' Conference*. Wollongong: The University of Wollongong Printery.

Stefaniak, P., Wodecki, J. y Zimroz, R. 2016. "Maintenance Management of Mining Belt Conveyor System Based on Data Fusion and Advanced Analytics". *Advances in Technical Diagnostics*. 10: 465-476.

Tyler, L., Busuttil, S., Rivieres, J. *et al*. "Value Creation Through Exploration in BHP". AusIMM Bulletin. **Junio, 2017**.

Walker, J. "*AI in Mining: Mineral Exploration, Autonomous Drills, and More*". Tech Emergence Magazine. **3 de diciembre, 2017**.

Wilk-Kolodziejczyk, D., Regulski, K., Gumienny, G. *et al.* 2017. "Data Mining Tools in Identifying the Components of the Microstructure of Compacted Graphite Iron Based on the Content of Alloying Elements". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 1-13.

TECNO-FACILITACIÓN

La revolución digital en curso y otras tecnologías exponenciales proveen un abanico de posibilidades para asistir a los organismos de control y operadores del comercio exterior en la región. En particular, la Inteligencia Artificial (IA) apoyada en análisis de *big data* tiene diversos usos potenciales en la facilitación del comercio. Por ejemplo, Brasil desarrolló un sistema de IA para detectar varios tipos de fraude de comercio exterior. La IA también se utiliza para desarrollar contratos más eficientes, facilitar el acceso a préstamos comerciales y ahorrar tiempo en el cumplimiento de los requisitos de información, previos y posteriores a la transacción comercial. Un sistema de la empresa 3CE automatiza la clasificación de productos del Sistema Armonizado, reduce el tiempo necesario para dicho proceso y minimiza los costosos errores de clasificación. Sin embargo, más allá de las nuevas tecnologías, siguen siendo los desafíos tradicionales, asociados a la institucionalidad, la capacidad de los recursos humanos y el acceso a financiamiento los más relevantes para avanzan en la agenda de facilitación del comercio en la región. Por otro lado, en un contexto de grandes brechas digitales –los porcentajes de uso de internet en la región oscilan entre 30% en El Salvador y Honduras, y 70% en Argentina y Chile– la incorporación de tecnología en los procesos comerciales podría terminar promoviendo un progreso a dos velocidades en términos de facilitación del comercio, incompatible con una mayor integración de la región.

70%
es el estado de avance de la región en la agenda OMC de facilitación del comercio

2,5
horas demoran los trámites de una operación de comercio exterior con blockchain

40%
disminuyen los errores en selección de contenedores con realidad aumentada

Desafíos más comunes para implementar medidas de facilitación comercial

Fuente: INTAL-BID sobre la base de encuesta de Naciones Unidas a países de ALyC.

CONEXIÓN **INTAL**
Mejor conectados / Mejor integrados

Actualización permanente sobre integración, comercio y nuevas tecnologías

conexionintal.iadb.org

Commodities **agrícolas**

Estimación de **precios** *usando* **inteligencia artificial**

Julia M. Núñez Tabales, José M. Caridad y Ocerín, y María B. García-Moreno
Universidad de Córdoba

LOS MODELOS BASADOS EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA PREDECIR LA VARIACIÓN DIARIA DE LOS PRECIOS DE *COMMODITIES* RESULTAN SIGNIFICATIVAMENTE MEJORES EN SU CAPACIDAD PREDICTIVA QUE LOS MODELOS TRADICIONALES. SE ANALIZAN PARÁMETROS DE EFICIENCIA EN CUANTO A LA FORMACIÓN DE LOS PRECIOS PARA LOS MERCADOS DE TRIGO Y MAÍZ.

Las *commodities* son productos en estado bruto o con un bajo grado de transformación. En los últimos años, se ha intensificado enormemente el interés por el análisis de este tipo de mercados (Belousova y Dorfleitner, 2012). Su comercio se estructura en varias etapas, desde los productores hasta que llegan a los consumidores finales, en las que intervienen diversos agentes y los que facilitan la financiación.[1]

La comercialización de *commodities* se caracteriza por la elevada incertidumbre de los precios de mercado; por este motivo, investigar las variables determinantes de los períodos de alza y de baja en los precios de *commodities*, así como su volatilidad (Deaton y Laroque, 1992), es crucial para numerosos colectivos intervinientes en este mercado, entre los que merece la pena destacar los propios productores, inversionistas, comerciantes y agentes políticos (Karali y Power, 2009). La predicción de los precios permite tomar las mejores decisiones sobre el momento de comprar o vender y, consecuentemente, controlar mejor los riesgos.

Los mercados de *commodities* pueden clasificarse en cinco categorías (London Stock Exchange, 2018): agrícolas (trigo, maíz, soja, entre otros); ganado (bovino, porcino...); metales preciosos (oro, plata); metales industriales (aluminio, cobre o zinc) y energías (gas natural, petróleo o electricidad).

Partiendo de los fundamentos de la teoría económica, los precios de *commodities* son analizados con diferentes propósitos: fijar precios futuros, analizar su volatilidad, validar la eficiencia del mercado o el valor en riesgo. Por otro lado, otros autores se centran en el estudio del comportamiento estadístico interno de la serie (Coronado Ramírez, Ramírez Grajeda y Celso Arellano, 2012).

Si se supone la eficiencia de los mercados de estos productos, no debe ser posible la predicción de sus variaciones de precios en función de su pasado. Así, si se denomina y_t a la serie temporal de precios de una *commodity*, la hipótesis de eficiencia débil de los mercados establece que el único modelo para representar esta serie sería la de un proceso de camino de azar, es decir que se verifica $y_t = y_{t-1} + a_t$, donde el proceso estocástico a_t es una sucesión de variables aleatorias independientes, homocedásticas y no autocorreladas. Una forma abreviada de representación de este proceso es mediante el operador diferencias, que da como resultado $\nabla y_t = a_t$. La hipótesis de eficiencia (Samuelson, 1965) considera que, dado un conjunto de información I(t) disponible en el instante t, los precios, y_t, de un producto verifican que el valor esperado de sus cambios es nulo:

$E[y_{t+1} - y_t | I_t] = E[\nabla P_{t+1} | I(t)] = 0$

por lo que la mejor predicción que se puede realizar para el precio del día siguiente es la cotización actual.

No obstante, en este trabajo se van a ensayar diversas hipótesis de modelización para el trigo y el maíz, que serían útiles en el caso de detectarse ineficiencias en los mercados. Los mercados de estos productos deben, en principio, comportarse de forma eficiente, por lo que los distintos agentes no deben ser capaces de anticipar los cambios de los precios. Con todo, estos mercados aportan información asimétrica a las distintas partes. Sin embargo, todos tienen acceso a los precios pasados, por lo que es posible analizar la eficiencia débil. Una parte apreciable de la literatura trata de contrastar la eficiencia débil en mercados bursátiles. Algunas publicaciones recientes en este sentido son las siguientes: Mynhardt, Makarenko y Plastun (2017), Serin (2017) y Tang *et al*. (2017). En Europa, Dicle y Levendis (2011), Caraiani (2012), Khan y Vieito (2012), Apergis, Artikis, y Kyriazis (2015) y Gupta y Sankalp (2017). Por su parte, los mercados suramericanos han sido objeto de trabajos como los de Ojeda Echeverri y Castaño Vélez (2014). El mercado asiático es analizado en trabajos como los de Hamid *et al*. (2010), Lean, Mishra y Smyth (2015), Shaik y Maheswaran (2017), Hou *et al*. (2017), Soon y Abdul-Rahim (2017) y Gupta y Singla (2018). Incluso los mercados del continente africano resultan estudiados en trabajos como Mazviona y Nyangara (2013) e Ikeora, Charles-Anyaogu y Andabai (2016).

MODELOS ESTADÍSTICOS TRADICIONALES

La predicción de los precios y de la producción en mercados de *commodities* comenzó a ser estudiada hace más de un siglo. El primer modelo econométrico de predicción para *commodities* de tipo agrícola fue presentado en 1917 (Allen, 1994). Desde entonces, en el ámbito de la economía agrícola y las finanzas, han sido propuestos a partir de series temporales numerosos modelos econométricos para predecir los precios de *commodities*. Cabe destacar el empleo de la metodología Box-Jenkins –modelos autorregresivos (AR), de medias móviles (MA) y autorregresivos integrados de medias móviles (ARIMA)– (Kohzadi *et al*., 1996; Ntungo y Boyd, 1998), vectores autorregresivos (VAR) (Alonso y Arcila, 2012), funciones de transferencia y análisis dinámico (Aradhyula y Holt, 1988), modelos GARCH –*Generalized Autoregressive Heteroskedastic*– (Adrangi y Chatrath, 2003; Villada, Cadavid y Molina, 2008; Chang, McAleer y Tansuchat, 2009; Benavides Perales, 2009) o modelos STVECM –*Smooth Transition Vector Error Correction Models*– (Milas y Otero, 2002).

Determinadas aportaciones demuestran el comportamiento caótico de los precios utilizando diferentes técnicas, tales como la prueba del exponente de Lyapunov (Cromwell y Labys, 1993), el estadístico BDS –Brock, Dechert y Scheinkman– (Ahti, 2009), exponente de correlación (Tejeda y Goodwin, 2009) o incluso redes neuronales artificiales –RNA– (ANN, por sus siglas en inglés) (Velásquez Henao y Aldana Dumar, 2007).

Los modelos combinados o híbridos, obtenidos a través de la agregación de dos o más modelos, incrementan la capacidad predictiva y se han impuesto en la literatura más reciente. Estos modelos permiten el uso de diferentes características estructurales (por ejemplo, las variables cualitativas), teniendo en cuenta las no linealidades para describir la evolución de los precios, y se caracterizan por su flexibilidad.

Ribeiro y Oliveira (2011) presentan un modelo que combina RNA y métodos estocásticos (filtro de Kalman) para predecir el precio del azúcar en los mercados de Brasil y la India. Zou *et al*. (2007) proponen un modelo híbrido usando RNA y ARIMA para prever los precios del trigo en el mercado chino y llegan a la conclusión de que la red sola consigue un mejor ajuste. La misma combinación de modelos también fue utilizada por Zhang (2004) y Tseng *et al*. (2008). Por otra parte, Sallehuddin *et al*. (2007) emplearon un modelo complejo GRANN (*Grey Relational Artificial Neural Network*) junto con ARIMA para analizar la evolución en el rendimiento de los cultivos en China. Más recientemente, Kristjanpoller y Minutolo (2015) propusieron un modelo híbrido GARCH-RNA para predecir la volatilidad de los precios del oro.

Entre los modelos híbridos pueden distinguirse tres categorías: los convencionales, híbridos I e híbridos II (tabla 1) (Sallehuddin *et al*., 2007; Ruiz-Gándara y Caridad y Ocerín, 2014). Los modelos convencionales e híbridos I utilizan la misma secuencia de hibridación que se aplica a un modelo lineal para encontrar relaciones lineales entre los datos. A continuación, se utilizan RNA para intentar modelizar los residuos derivados de un modelo lineal. En este caso, se presupone que los componentes lineales han sido totalmente identificados por el modelo lineal y, por consiguiente, los residuos encierran la componente no lineal.

Asimismo, el modelo híbrido II y el modelo convencional híbrido siguen una secuencia de hibridación inversa. En el híbrido II, se aplica inicialmente GRANN y, a continuación, un modelo lineal ARIMA. En este modelo, GRA se utiliza para seleccionar los factores significativos antes de efectuar la predicción mediante RNA.

REDES NEURONALES ARTIFICIALES

El campo de la inteligencia artificial trata de imitar comportamientos inteligentes propios de la naturaleza humana y engloba técnicas tan dispares como la lógica difusa, los sistemas expertos, los algoritmos genéticos o las RNA.

En las dos últimas décadas, las RNA han sido empleadas en multitud de aplicaciones vinculadas a diversas disciplinas (Jain y Kumar, 2007). En el caso particular de la predicción, pueden hallarse diversas aplicaciones de RNA utilizadas para resolver problemas de predicción en series temporales complejas no lineales, tales como demanda de electricidad (Abraham y Nath, 2001), precios de electricidad (Ganeta, Romeo y Gil, 2006), volati-

TABLA 1:
CARACTERÍSTICAS DE LAS DISTINTAS MODALIDADES DE MODELOS HÍBRIDOS

TIPO DE HÍBRIDO	DATOS	MODELO	SECUENCIA DE HIBRIDACIÓN	SELECCIÓN CARACTERÍSTICAS
Convencional	Univariante	ARIMA, RNA	Lineal, no lineal	Ninguna
Híbrido I	Multivariante	MR, RNA	Lineal, no lineal	Test de bondad del ajuste
Híbrido II	Multivariante	GRANN, ARIMA	No lineal, lineal	*Grey Relational Analysis* (GRA)

Fuente: Sallehuddin *et al*. (2007).

lidad en índices bursátiles (Hamid e Iqbal, 2004) o precipitaciones en forma de lluvia (Srinivasulu y Jain, 2006). Además, las RNA también han demostrado ser eficaces al efectuar pronósticos en series temporales con o sin ruido (Zhang, Patuwo y Hu, 2001). Hippert, Pedreira y Souza (2001) y Zhang (2004) afirmaron que la predicción es, sin duda, una de las principales áreas de aplicación de las RNA.

Las RNA son modelos no lineales consistentes en una estructura compuesta de nodos o neuronas. Dichas neuronas se estructuran en capas y están conectadas mediante pesos que determinan la intensidad de las conexiones. Estos pesos constituyen los parámetros del modelo y son obtenidos mediante técnicas de optimización que minimizan ciertas medidas de error.

Entre los modelos de RNA más utilizados se encuentra el denominado *feedforward*, caracterizado por neuronas que carecen de conexión con la capa previa o la misma capa, es decir, no existe retroalimentación. La red más usada en problemas de economía y finanzas es la denominada *Multilayer Perceptron* (MLP), que está compuesta por una capa de entrada, una o varias capas ocultas y una capa de salida.

Construir una red neuronal consiste en seleccionar una arquitectura, es decir, determinar el número de capas, el número de neuronas en cada capa y las funciones de activación. Entre las funciones de activación más usadas pueden citarse la sigmoidea y la tangente hiperbólica (Villada *et al*., 2008). Asimismo, es preciso seleccionar un algoritmo de entrenamiento, dentro de los cuales el más común es el *backpropagation* (o de retropropagación de errores). Funahashi (1989) y Hornik, Stinchcombe y White (1990) demostraron que con solo una capa oculta y una función de activación sigmoidea se puede obtener una red que podría ser considerada como función universal de aproximación. Por otra parte, siguiendo a Tu (1996), no existe un consenso desde el punto de vista teórico que predetermine el número de neuronas en la capa oculta, por lo tanto, su determinación corresponde a un proceso de prueba y error.

Aunque la mayoría de las investigaciones publicadas muestran la superioridad de los modelos de RNA en comparación con los modelos lineales tradicionales, los diversos estudios recogen conclusiones dispares acerca del rendimiento de las RNA (Sallehuddin *et al*., 2007). Por ejemplo, Denton (1995) y Gorr, Nagin y Szczypula (1994) mostraron que la RNA consigue un grado de ajuste muy similar al del modelo lineal. Por otro lado, Brace, Schmidt y Hadlin (1991), Caire, Hatabian y Muller (1992), Heravi, Osborn y Birchenhall (2004) y Taskaya-Temizel y Casey (2005) concluyeron que las RNA no eran tan efectivas como los modelos lineales en su predicción. Sin embargo, Kang (1991) demostró que la RNA siempre funcionaba mejor que un modelo ARIMA y aún mejor cuando se aumenta el horizonte de predicción.

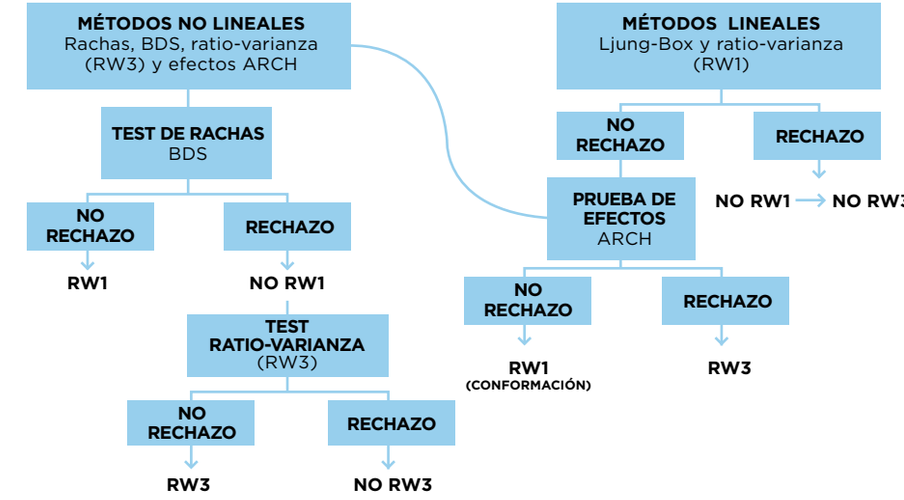
En la tabla 2 se recogen algunas de las aportaciones de la literatura que emplea la técnica de RNA para la predicción de precios en *commodities*. En la selección se marcan en diferente color los trabajos relacionados con *commodities* de tipo agrícola.

TABLA 2:
APORTACIONES QUE APLICAN LA TÉCNICA DE RNA EN SERIES DE *COMMODITIES*

AUTOR	AÑO	*COMMODITY*
Kohzadi *et al*.	1996	Trigo y ganado vivo
Ntungo y Boyd	1998	Maíz, plata, marco alemán
Yonenaga y Figueiredo	1999	Soja
Freiman y Pamplona	2005	Buey
Zou *et al*.	2007	Trigo
Velásquez Henao y Aldana Dumar	2007	Café
Villada, Cadavid y Molina	2008	Electricidad
Liu	2009	Oro
Malliaris y Malliaris	2009	Oro, petróleo y euro
Yu y Ou	2009	Tomate
Ferreira *et al*.	2011	Soja, buey, maíz, trigo
Ribeiro y Oliveira	2011	Azúcar
Pinto	2012	Maíz, petróleo, oro y cobre
Wiles y Enke	2014	Soja
Kristjanpoller y Minutolo	2015	Oro
Villada, Muñoz y García-Quintero	2016	Oro
Pinheiro y Senna	2017	Azúcar y soja

Nota: En azul se consignan los trabajos relacionados con *commodities* de tipo agrícola.
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 1:
SECUENCIAS DE CONTRASTES DE ALEATORIEDAD



Fuente: Elaboración propia.

DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

Se van a analizar varias *commodities* de productos agrícolas mediante la evolución diaria de los precios en un intervalo superior a dos años, con el objetivo de contrastar la eficiencia de los mercados y de utilizar diversos

modelos temporales explicativos para intentar predecir las variaciones de precios en función de su pasado y de la evolución de los precios de otros productos. Los modelos empleados son multiecuacionales y basados en técnicas lineales, como los modelos VAR, y en no lineales, como son las RNA. Un modelo VAR se plantea para estimar la variación de precio de varios productos a partir de las variaciones en su pasado inmediato; por ejemplo, si se dispone de los precios diarios de dos *commodities*, x_t e y_t, sus variaciones respecto del día anterior ∇x_t y ∇y_t se relacionan con las variaciones de sus precios en los p días anteriores:

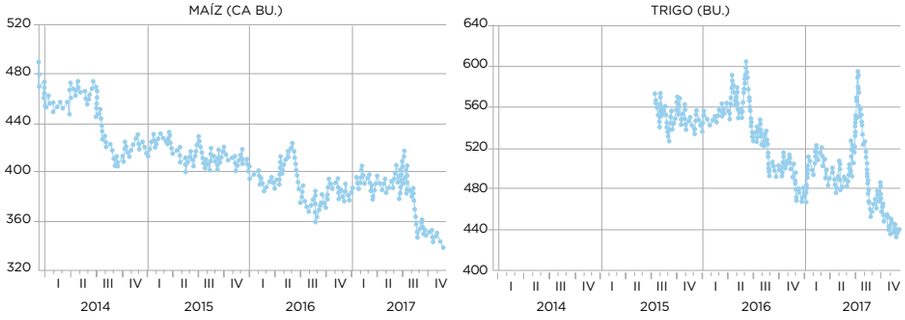
$$\nabla x_t = a_{x1}\nabla x_{t-1} + a_{y1}\nabla y_{t-1} + a_{x2}\nabla x_{t-2} + a_{y2}\nabla y_{t-2} + \ldots + a_{xp}\nabla x_{t-p} + a_{yp}\nabla y_{t-p} + a_t^*$$
$$\nabla y_t = b_{x1}\nabla x_{t-1} + b_{y1}\nabla y_{t-1} + b_{x2}\nabla x_{t-2} + b_{y2}\nabla y_{t-2} + \ldots + b_{xp}\nabla x_{t-p} + b_{yp}\nabla y_{t-p} + b_t^*$$

donde el vector (a_t^*, b_t^*) es un ruido blanco bivariante, es decir, una variable aleatoria centrada, no autocorrelada, y con matriz de covarianzas $\sum$ constante para todo t. En este modelo cabe introducir otras variables explicativas exógenas. El test de causalidad de Granger se basa en este tipo de modelos (Alonso y Arcila, 2012).

Previamente a los procesos de modelización se debe realizar una serie de contrastes estadísticos para decidir si una serie de precios se puede considerar generada por un camino de azar o por una martingala, o, alternativamente, si muestra un cierto grado de dependencia temporal. En este sentido, distinguimos entre distintos procesos para representar la serie de precios: RW1 o camino de azar, en el que en la expresión $\nabla y_t = a_t$, $a_t \in IID(0, \sigma^2)$ es una sucesión de variables aleatorias centradas independientes con idéntica distribución; RW2 o camino de azar heterogéneo, en el que a_t son variables centradas e independientes, pero no necesariamente equidistribuidas y, por lo tanto, pueden ser heterocedásticas; y RW3, en la que a_t son variables centradas e incorreladas. Lógicamente, la primera categoría es la más restrictiva e implica la imposibilidad de predecir los precios a partir de su pasado, y la última, la menos.

Para distinguir entre estos modelos se va a aplicar una batería de contrastes. Un primer paso es utilizar el contraste de Ljung-Box (Caridad y Ocerín y Caridad y López del Río, 2014) de autocorrelación, aunque, en este caso se trata de detectar relaciones lineales. Barnett *et al.* (1997), no obstante, consideran la no linealidad en muchos mercados financieros. El clásico test de aleatoriedad de Wald-Wolfowitz basado en rachas es otro instrumento disponible, así como el contraste ratio-varianza propuesto por Lo y MacKinlay (1988), en el que se compara la varianza de la serie en distintos períodos. Es necesario usar unos métodos no lineales para completar los contrastes de eficiencia; Engle (1982) propone un test basado en los momentos de segundo orden, al considerar la heterocedasticidad dinámica de tipo ARCH(p). Otro test es el propuesto por Brock, Dechert y Scheinkman (1987) basado en la integral de correlación desarrollada por Grassberger y Procaccia. Así, para distinguir entre los procesos de camino de azar RW1 y de correlación RW3, se emplea la secuencia de contrastes que se muestra en el gráfico 1. El test de rachas y el BDS, al aceptar la hipótesis nula, considera que el proceso es de tipo RW1, aunque al rechazarlas no implica que el proceso sea necesariamente RW3. El contraste ratio-varianza, aplicable en caso de heterocedasticidad, al aceptar la hipótesis del contraste, se acepta que es de tipo RW3, aunque su rechazo no implica que no pueda ser de este tipo. En definitiva, se contempla la posibilidad de relaciones no lineales.

GRÁFICO 2
EVOLUCIÓN DE LOS PRECIOS DIARIOS



Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE DATOS

Los datos disponibles corresponden a las siguientes *commodities*: maíz (CA) y trigo (WA). De la primera se dispone de información diaria desde diciembre de 2013 (un total de 1.565 datos), mientras que la segunda serie consta de 1.191 datos desde julio de 2015. Ambas han experimentado durante estos años una tendencia decreciente, con una volatilidad mayor en el precio del trigo. Muestran una

TABLA 3
APLICACIÓN DEL TEST LJUNG-BOX A LAS VARIACIONES DE LOS PRECIOS

MAÍZ CA						TRIGO WA					
AUTOCORRELACIÓN	AUTOCORRELACIÓN PARCIAL		r	r*	Q	p	AUTOCORRELACIÓN	AUTOCORRELACIÓN PARCIAL		r	r*	Q	p
		1	-0,045	-0,045	1,4842	0,223			1	0,073	0,073	3,8681	0,049
		2	-0,007	-0,009	1.5174	0,468			2	-0,044	-0,050	5,2989	0,071
		3	-0,100	-0,101	8,7920	0,032			3	-0,032	-0,025	6,0586	0,109
		4	-0,003	-0,012	8,7981	0,066			4	0,018	0,020	6,2960	0,178
		5	0,031	0,028	9,4873	0,091			5	0,059	0,054	8,8485	0,115
		6	-0,059	-0,067	12,011	0,062			6	0,029	0,022	9,4653	0,149
		7	-0,030	-0,037	12,661	0,081			7	-0,013	-0,011	9,5859	0,213
		8	-0,095	-0,095	19,240	0,014			8	-0,041	-0,034	10,802	0,213
		9	0,005	0,018	19,260	0,023			9	-0,034	-0,030	11,635	0,235
		10	-0,005	-0,017	19,278	0,037			10	0,011	0,008	11,728	0,304
		11	-0,012	-0,032	19,390	0,054			11	0,058	0,050	14,178	0,223
		12	-0,011	-0,020	19,485	0,077			12	0,015	0,009	14,353	0,279
		13	0,028	0,024	20,077	0,093			13	-0,013	-0,004	14,477	0,341
		14	0,006	-0,010	20,107	0,127			14	-0,050	-0,042	16,354	0,292

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 4
APLICACIÓN DE CONTRASTE ARCH A LAS VARIACIONES DE LOS PRECIOS

q	1	2	3	4
∇CA MAÍZ	63,15003 (0,0000)	63,05135 (0,0000)	67,24453 (0,0000)	69,44998 (0,0000)
∇WA TRIGO	13,77034 (0,0002)	14,41457 (0,0007)	96,80639 (0,0000)	97,00701 (0,0000)

Fuente: Elaboración propia.

correlación alta, igual a 0,856, aunque estas series no presentan correlaciones cruzadas significativas (gráfico 2).

Los programas de ordenador empleados son EViews 10, de QMS, y SPSS 23, de IBM. El primero se utiliza para efectuar distintos contrastes de eficiencia y para modelización VAR y el segundo, para estimar las RNA.

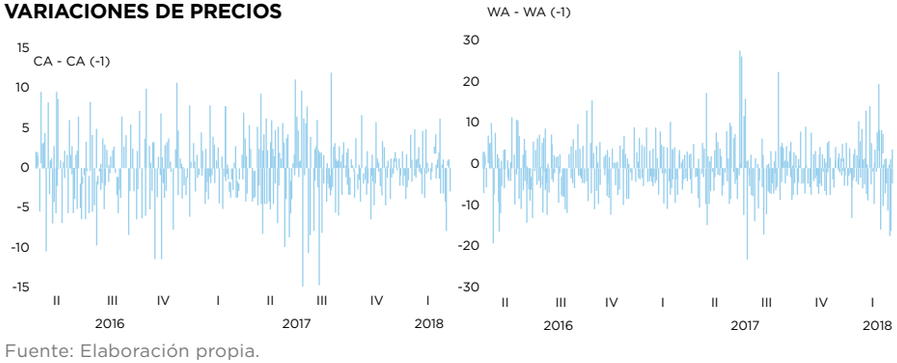
¿MERCADOS EFICIENTES?

Los mercados de maíz y trigo son, sin duda, los de mayor volumen, junto con los de soja, entre *commodities* agrícolas. Para analizar su eficiencia, se van a aplicar distintos contrastes estadísticos a las series de precios diarios disponibles, según el esquema secuencial propuesto: contraste de autocorrelación de Ljung-Box, de heterocedasticidad dinámica, de aleatoriedad de rachas, BDS y ratio-varianza.

Algunos contrastes generan probabilidades límite (*p*) bajas, aunque puede deberse al hecho de manejar tamaños muestrales muy grandes, lo que puede hacer que, a veces, se acepte la hipótesis alternativa respectiva erróneamente.

El test de Ljung-Box muestra autocorrelación para las variaciones de precios del maíz (∇CA_t) a partir de retardos de cuatro días, que va desapareciendo a las dos semanas, aunque puede deberse en parte al tamaño muestral, como se ha indicado. En el caso del trigo (∇WA_t) no se detecta autocorrelación, salvo en los primeros dos días, de forma menos clara. Esto induce a aceptar la hipótesis de comportamiento RW1 para el trigo, siendo menos clara en el caso del maíz (ver tabla 3).

GRÁFICO 3
VARIACIONES DE PRECIOS



Fuente: Elaboración propia.

TABLA 5
RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL TEST BDS A LAS VARIACIONES DE LOS PRECIOS

	m	BDS	z	p
∇CA MAÍZ	2	0,014538	4,813934	0,0000
	3	0,008968	2,683526	0,0073
	4	0,004985	1,794235	0,0728
	5	0,002848	1,406389	0,1596
∇WA TRIGO	2	0,010429	2,727861	0,0064
	3	0,005301	1,274825	0,2024
	4	0,000311	0,091599	0,9270
	5	-0,001388	-0,570155	0,5686

Fuente: Elaboración propia.

Los contrastes de heterocedasticidad dinámica ARCH(*q*) se muestran en la tabla 4.

Se detecta heterocedasticidad dinámica, como era de esperar al observar los gráficos de ∇CA_t y de ∇WA_t, por lo que la distribución de las variaciones de precios va variando a lo largo del tiempo (gráfico 3).

El test de rachas proporciona para la serie de variaciones del precio del maíz una probabilidad límite p = 0,0048, lo que supone el rechazo de la hipótesis de comportamiento RW1; sin embargo, el mercado del trigo parece más eficiente, con p = 0,1742.

En la tabla 5, se muestran los resultados del test BDS para las variaciones de precios de ambos productos.

De nuevo la serie de maíz presenta probabilidades límite bajas, para m = 2 y 3, incluso para m = 4, tendiéndose a rechazar la estructura RW1, mientras que para la serie de trigo, a partir de m = 2 los resultados son claros a favor de aceptar esta estructura de eficiencia, si bien para m = 1 se obtiene un valor de p bajo.

Con respecto al test ratio-varianza (tabla 6), para distintos valores de k se obtienen resultados en la misma línea que los anteriores: el mercado de maíz muestra claras señales de ineficiencia, aceptándose el comportamiento que se separa de RW3, mientras que en el de trigo se acepta su evolución tipo RW3.

MODELIZACIÓN VAR

Al existir indicios de leves ineficiencias en el mercado del maíz, se va a intentar predecir las variaciones de precios en este a partir de su pasado y de las variaciones de precio del tri-

TABLA 6
APLICACIÓN DEL TEST RATIO-VARIANZA A LAS VARIACIONES DE LOS PRECIOS

	k	VR(k)	z	p	GLOBAL
∇CA MAÍZ	2	0,935923	-1,630904	0,1029	2,940210 (0,0131)
	4	0,845428	-2,288122	0,0221	
	8	0,743417	-2,662887	0,0077	
	16	0,601020	-2,940210	0,0033	
∇WA TRIGO	2	1,009323	0,200167	0,8414	0,652180 (0,9443)
	4	0,946077	-0,652180	0,5143	
	8	0,951421	-0,369821	0,7115	
	16	0,953029	-0,248255	0,8039	

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 7
MEDIDAS DE AJUSTE EN MODELOS VAR

p=42	MAÍZ	TRIGO
R cuadrado	0,145164	0,129583
R cuadrado ajustado	0,032791	0,015162
Suma de cuadrados de los residuos	6034,350	15829,87
Ecuación del error estándar	3,073016	4,977236
F estadística	1,291809	1,132510
Probabilidad logarítmica	-1794,908	-2144,032
Criterio de información Akaike (AIC)	5,193116	6,157546
Criterio de Schwarz (SC)	5,731385	6,695816
Media de la variable dependiente	-0,036948	-0,144682
Desviación estándar de la variable dependiente	3,124674	5,015403
Determinante de la covarianza residual (ajust. por grados de libertad)	131,2808	
Determinante de la covarianza residual	102,2647	
Probabilidad logarítmica	-3729,801	
Criterio de información Akaike (AIC)	10,77293	
Criterio de Schwarz (SC)	11,84947	
Cantidad de coeficientes	170	

p=7	MAÍZ	TRIGO
R cuadrado	0,031815	0,019054
R cuadrado ajustado	0,012697	-0,000316
Suma de cuadrados de los residuos	6834,492	17840,00
Ecuación del error estándar	3,104774	5,016194
F estadística	1,664132	0,983707
Probabilidad logarítmica	-1839,982	-2187,307
Criterio de información Akaike (AIC)	5,124260	6,083721
Criterio de Schwarz (SC)	5,219248	6,178709
Media de la variable dependiente	-0.036948	-0,144682
Desviación estándar de la variable dependiente	3,124674	5,015403
Determinante de la covarianza residual (ajust. por grados de libertad)	135,9529	
Determinante de la covarianza residual	130,3779	
Probabilidad logarítmica	-3817,721	
Criterio de información Akaike (AIC)	10,62906	
Criterio de Schwarz (SC)	10,81904	
Cantidad de coeficientes	30	

Fuente: Elaboración propia.

go; como ambas series están relacionadas, se estiman dos tipos de modelos multiecuacionales: uno de tipo VAR(*p*), para distintos valores de *p*, y el segundo mediante una RNA. Las variables explicadas son las variaciones de precios en el instante *t*; y las explicativas, dichas variaciones utilizando *p* retardos.

Lógicamente, al aumentar *p*, mejora el grado de ajuste, aunque esto no implica que las variables explicativas consideradas tengan carácter predictivo (ver tabla 7). Se usan dos modelos alternativos de tipo VAR y los equivalentes con RNA, utilizando $p = 42$ retardos, es decir, las seis semanas anteriores, y $p = 7$ retardos. Para cada modelo se presentan diversas medidas de ajuste que muestran lo reducido del poder predictivo para las variaciones de los dos productos.

Aun utilizando un número elevado de retardos, el coeficiente de determinación del modelo para el maíz es 0,145 y para el trigo, 0,13; es decir, ambas ecuaciones tienen un poder predictivo muy limitado. Con siete retardos, estos coeficientes disminuyen a 0,032 y 0,019, respectivamente,

TABLA 8
AJUSTE Y ERRORES RELATIVOS EN LA RED NEURONAL (p = 7)

ENTRENAMIENTO	Error de suma de cuadrados		568,207
	Promedio de error relativo global		,786
	Error relativo	CA	,792
		WA	,780
	Regla de parada utilizada		cambio relativo en el criterio de error 0,0001
	Tiempo de entrenamiento		0:00:00,19

Fuente: Elaboración propia.

valores ínfimos. Pero si se comparan las medidas basadas en criterios de información, como los de Akaike y de Schwarz, los cuales penalizan la sobreparametrización del modelo, para ambos productos son preferibles las ecuaciones estimadas con siete retardos. En definitiva, los coeficientes correspondientes a datos adicionales durante las cinco últimas semanas no aportan información útil para predecir (linealmente) las variaciones de precios de los dos productos. Por otra parte, los modelos con $p = 7$ muestran un grado de ajuste despreciable, por lo que se confirma la hipótesis de ser incorrelados los precios de estos productos con su pasado y, además, no puede explicarse la evolución de las variaciones de precios ni haciendo intervenir la evolución pasada del otro bien. En estos modelos cabe introducir otras variables explicativas, como son las variaciones de los precios de otras *commodities*. Así se consigue incrementar sustancialmente el coeficiente de determinación de las distintas ecuaciones, aunque se considera que estas relaciones no son causales, por lo que no son utilizables con fines de predicción.

MODELOS DE RNA

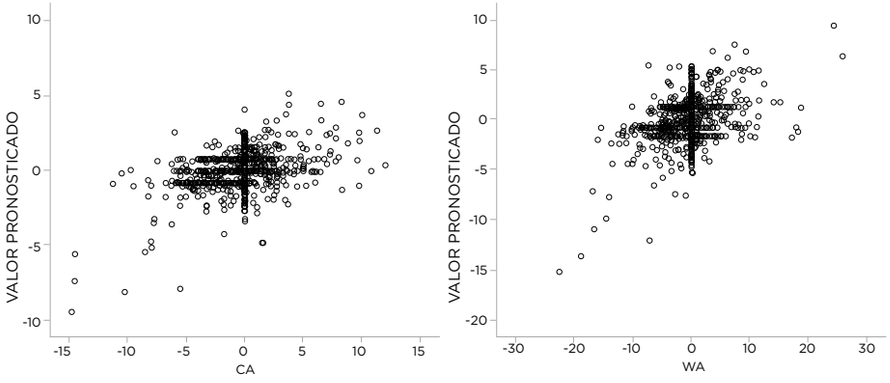
Los modelos especificados de redes neuronales son similares en cuanto a las variables explicativas a los VAR anteriores: se introducen como variables endógenas las variaciones de precios en el instante *t*, para ser explicadas por los valores retardados hasta

TABLA 9
ESTIMACIONES DE LOS PARÁMETROS DE LA RED NEURONAL

		PRONOSTICADO					
		CAPA OCULTA 1				CAPA DE SALIDA	
PREDICTOR		H (1:1)	H (1:2)	H (1:3)	H (1:4)	ZCA	ZWA
CAPA DE ENTRADA	(SESGO)	-,312	-1,302	,326	,953		
	ZCA1	-,916	1,078	1,564	,276		
	ZWA1	2,596	-4,729	-4,155	-,735		
	ZCA2	1,434	-,429	-2,550	-1,095		
	ZWA2	-,747	1,517	1,415	-,776		
	ZCA3	1,352	-1,393	-2,157	-1,614		
	ZWA3	-,754	,970	,819	2,181		
	ZCA4	-,831	-1,298	1,528	,817		
	ZWA4	,588	,817	-1,202	-,196		
	ZCA5	,913	-,716	-1,532	-,425		
	ZWA5	1,450	1,222	-2,145	-2,880		
	ZCA6	-3,071	,557	4,561	2,741		
	ZWA6	,768	-,152	-1,016	-,022		
	ZCA7	-,142	,793	,567	-1,898		
	ZWA7	-1,537	-,575	2,172	2,404		
CAPA OCULTA 1	(SESGO)					,108	,088
	H(1:1)					3,469	3,460
	H(1:2)					,291	,302
	H(1:3)					2,868	2,747
	H(1:4)					,449	,620

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 4
VALORES OBSERVADOS Y ESTIMADOS DE LAS VARIACIONES DE PRECIOS (p = 7)



Fuente: Elaboración propia.

un horizonte p. Se ensayan dos modelos correspondientes a p = 43 días y otro con p = 7.

Se han especificado redes con una capa oculta, con un número de neuronas no elevado para evitar sobreparametrización; la función de activación usada es la tangente hiperbólica, y escala estandarizada en las variables de salida, con un algoritmo de estimación de gradiente conjugado escalado. Los resultados de cada red estimada se basan en todos los datos, para ser comparables con los modelos VAR, aunque se presentan unos resultados sobre el poder predictivo reestimando las mismas redes con el 70% de los datos como conjunto de entrenamiento. Algunos parámetros sobre la regla de parada son los siguientes: cambio mínimo relativo del error de entrenamiento, 0,0001, y de la tasa de estos errores, 0,001.

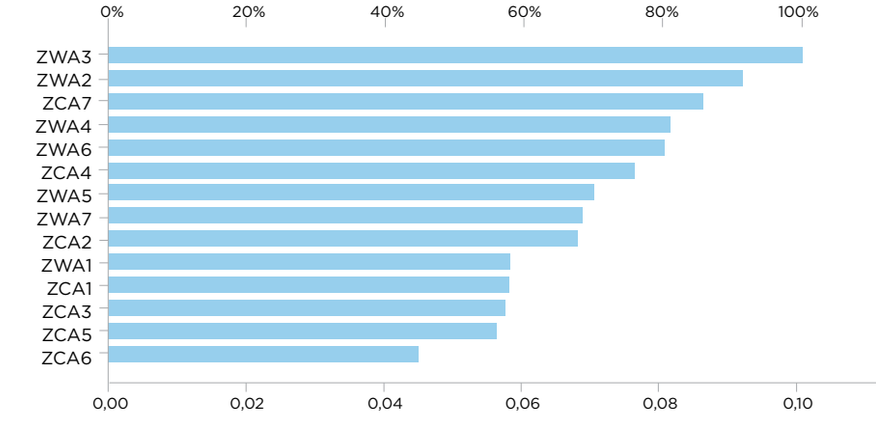
La topología de la red finalmente seleccionada (con p = 7 retardos) tiene cuatro neuronas en la única capa oculta, según el esquema que se muestra a continuación, en el que figuran con la denominación ZCAi y ZWAi las variables de entrada ∇CA_{t-i} y ∇WA_{t-i} para i = 1,2,..., 7, y las variables estimadas son ZCA y ZWA correspondientes a ∇CA_t y ∇WA_t. Por lo tanto, esta red, así como los modelos VAR anteriores, se plantea para la predicción de la variación del precio en el día siguiente.

TABLA 10
AJUSTE Y ERRORES RELATIVOS EN LA RED NEURONAL (p = 42)

ENTRENAMIENTO	Error de suma de cuadrados		283,581
	Promedio de error relativo global		,404
	Error relativo para dependientes de escala	CA	,388
		WA	,420
	Regla de parada utilizada		cambio relativo en el criterio de error 0,0001
	Tiempo de entrenamiento		0:00:00,59

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 5
IMPORTANCIA RELATIVA DE LAS VARIABLES EXPLICATIVAS DE LA RNA



Fuente: Elaboración propia.

El resumen de los resultados del ajuste se muestra en la tabla 8, en la que se observa que el error relativo en la estimación es inferior a 0,8. Sin embargo, cuando se usan datos adicionales sobre los que se ensaya la red, el poder predictivo cae y el error relativo de predicción es 0,97 y 0,971, respectivamente, para las dos variables.

Los coeficientes de determinación de ambas ecuaciones son 0,208 y 0,22, para el maíz y el trigo; valores bajos, aunque bastante más elevados que en los modelos lineales.

Las estimaciones de los parámetros de la red se muestran en la tabla 9.

El gráfico 4 muestra los valores observados y estimados mediante la red. Se aprecia que los modelos basados en redes tienen un ligero poder predictivo sobre los precios, algo que no se apreciaba en los modelos VAR. La importancia de las variables explicativas consideradas se muestra en el gráfico 5.

En función de esta importancia relativa, parece existir un cierto rezago en el proceso de procesamiento de la información por parte de los agentes que intervienen, en primer lugar de dos/tres días y, también, de una semana.

La topología de la red finalmente seleccionada (con p = 42 retardos) tiene cuatro neuronas en la única capa oculta (tabla 10).

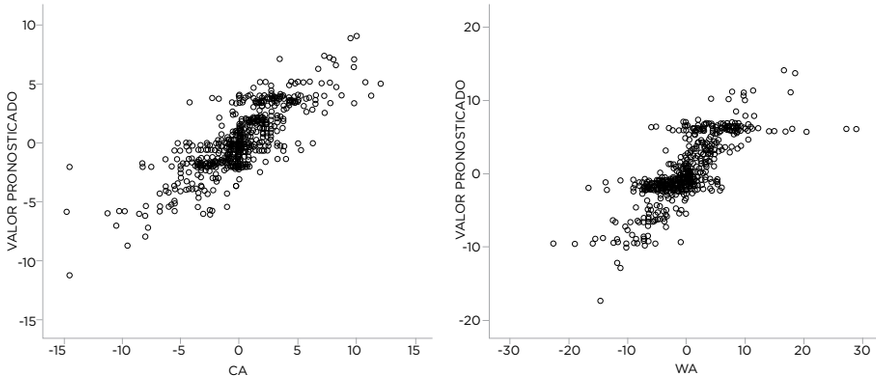
Sin embargo, si se aplica la red para la predicción con el conjunto de datos excluido de su estimación, los errores relativos de predicción empeoran a 0,867 y 0,881.

Los coeficientes de determinación de ambas ecuaciones son 0,612 y 0,58, respectivamente.

Al aumentar el número de retardos en los conjuntos de variables explicativas, el modelo propuesto de RNA

300%
ES LA MEJORA DE PREDICCIÓN EN LOS MODELOS DE REDES NEURONALES

GRÁFICO 6
VALORES OBSERVADOS Y ESTIMADOS DE LAS VARIACIONES DE PRECIOS (p = 42)



Fuente: Elaboración propia.

mejora en su capacidad predictiva (respecto de la red con *p* = 7), lo que consigue explicar una parte considerable de la varianza de los incrementos de precio de un día para otro (gráfico 6). No obstante, el poder predictivo se resiente al aplicar estos modelos a datos no incluidos en el conjunto de entrenamiento, lo que limita la aplicabilidad en la operatoria.

MEJORAR NUESTRAS PREDICCIONES

Los mercados de *commodities* agrícolas deberían comportarse *a priori* de forma eficiente y, consecuentemente, los agentes que intervienen en ellos no podrían anticipar las variaciones de los precios futuros. Incluso con un horizonte de predicción de un día, como se ha considerado, no debe ser posible utilizar modelos para alcanzar este objetivo. Para estudiar el problema, se han abordado dos tipos de vías: una primera consistente en la aplicación de test estadísticos de distintas formas de camino de azar, como modelo teórico que deben seguir los precios; la otra, utilizando modelos lineales y no lineales de predicción.

El primer enfoque ha sido tratado en la literatura, fundamentalmente en mercados bursátiles, aunque el enfoque propuesto se basa en realizar una secuencia de contrastes para discriminar entre varios posibles tipos de procesos estocásticos. El segundo se basa en la hipótesis de que, en el caso de no ser eficientes los mercados, se podría estimar algún modelo para abordar el problema de la predicción.

Al aplicar la secuencia propuesta de contrastes estadísticos a la serie de variaciones de los precios diarios del maíz, se concluye con la existencia de relaciones lineales incompatibles con cualquiera de las formas de RW que implicarían la eficiencia en este mercado y, además, esta serie es afectada por heterocedasticidad dinámica. Incluso, al aplicar a la citada serie el test BDS, se rechaza la eficiencia del mercado en la forma más restrictiva que supone el RW1, no obstante, la aplicación del test ratio-varianza no resulta tan concluyente como para rechazar el RW3, que es la forma más laxa en la cual podemos considerar un mercado eficiente.

En el caso del mercado del trigo, no se detectan autocorrelaciones en sus incrementos de precios, condición necesaria pero no suficiente para cualquiera de las formas de RW. Así, tras la aplicación del test de efectos ARCH que detecta heterocedasticidad dinámica, se puede admitir la eficiencia del mercado en la forma que establece el RW3. Por otro lado, de la aplicación del test BDS a la serie de incrementos de precios del trigo, se puede deducir que esta es IID, por lo que se aceptaría la eficiencia en la forma que establece el RW1. No obstante, si se aplica a la misma serie el test ratio-varianza, este nos lleva a concluir que tan solo podemos aceptar la eficiencia del mercado de trigo en la forma que establece el RW3. En cualquier caso, se puede ver cómo el mercado del trigo es más eficiente que el del maíz, en el cual será posible algún pronóstico del precio.

Al estimar modelos multiecuacionales de tipo VAR, la conclusión básica es que no es posible realizar predicciones aproximadas de las variaciones de precios de las *commodities* seleccionadas. Sin embargo, al emplear modelos no lineales como las RNA, aparecen unas relaciones que van mejorando el grado de ajuste a medida que se incrementa el número de retardos en las variables explicativas. No obstante, a pesar de poder modelizar estas interrelaciones, los problemas de predicción no se resuelven si no es admitiendo unos errores relativos muy importantes. Es posible que, al introducir series más largas e incluir bloques de varios productos agrícolas adicionales, para algunos de ellos, la ineficiencia parcial de los mercados permita abordar problemas de predicción.

NOTAS

[1] Los autores forman parte del Departamento de Estadística, Econometría, Investigación Operativa, Organización de Empresas y Economía Aplicada (DEEIOOEEA) de la Universidad de Córdoba (España).

BIBLIOGRAFÍA

Abraham A. y Nath B. 2001. "A Neouro-Fuzzy Approach for Modelling Electricity Demand in Victoria". *Applied Soft Computing Journal*. 1 (2): 127-138.
Adrangi, B. y Chatrath, A. 2003. "Non-Linear Dynamics in Futures Prices: Evidence from the Coffee, Sugar and Cocoa Exchange". *Applied Financial Economics*. 13 (4): 245-256.
Ahti, V. 2009. "Forecasting Commodity Prices with Nonlinear Models". Discussion Paper No. 268. Helsinki: Helsinki Center of Economic Research, Universidad de Helsinki.
Allen, P. G. 1994. "Economic Forecast in Agriculture". *International Journal of Forecasting*. 10 (1): 81-135.
Alonso, J. C. y Arcila, A. M. 2012. "Un modelo de predicciones diarias para contratos de futuros del azúcar". *Economía y Región*. 6 (2): 33-51.
Apergis, N., Artikis, P. G. y Kyriazis, D. 2015. "Does Stock Market Liquidity Explain Real Economic Activity? New Evidence from Two Large European Stock Markets". *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*. 38: 42-64.
Aradhyula, S. y Holt, M. 1988. "GARCH Time Series Models: An Application to Retail Livestock Prices". *Western Journal of Agricultural Economics*. 13 (2): 365-374.
Barnett, W., Gallant, R., Hinich, M. *et al*. 1997. "A Single-Blind Controlled Competition among Tests for Nonlinearity and Chaos". *Journal of Econometrics*. 82 (1): 157-192.
Belousova, J. y Dorfleitner, G. 2012. "On the Diversification Benefits of Commodities from the Perspective of Euro Investors". *Journal of Banking and Finance*. 36 (9): 2455-2472.
Benavides Perales, G. 2009. "Price Volatility Forecasts for Agricultural Commodities: An Application of Historical Volatility Models, Option Implieds and Composite Approaches for Future Prices of Corn and Wheat". *Revista de Administración, Finanzas y Economía*. 3 (2): 40-59.
Brace, M. C., Schmidt, J. y Hadlin, M. 1991. "Comparison of the Forecasting Accuracy of Neural Networks with Other Established Techniques". En: M. A. Sharkawi y R. J. Marks, editores. *Proceedings of the First International Forum on Applications of Neural Networks to Power Systems, Seattle, Washington July 23-26, 1991*. Nueva York: IEEE.
Caire, P., Hatabian, G. y Muller, C. 1992. "Progress in Forecasting by Neural Networks". En: *Proceedings*

of The International Joint Conference on Neural Networks, vol. 2. IEEE.
Caraiani, P. 2012. "Nonlinear Dynamics in CEE Stock Markets". *Economic Letters*. 114 (3): 329-331.
Caridad y Ocerín, J. M. y Caridad y López del Río, D. 2014. *Series temporales y predicción económica*. DF. España.
Chang, C., McAleer, M. y Tansuchat, R. 2012. "Modelling Long Memory Volatility in Agricultural Commodity Futures Returns". *Annals of Financial Economics*. 07 (2) 1250010 [27 páginas].
Coronado Ramírez, S. L., Ramírez Grajeda, M. y Celso Arellano, P. L. 2012. "Análisis sobre la no linealidad del rendimiento diario del precio internacional del café". *Revista Mexicana de Agronegocios*. 31: 55-61.
Cromwell, J. y Labys, W. 1993. "Testing for Nonlinear Dynamics and Chaos in Agricultural Commodity Prices". Research Paper No. 9326. Research Institute, West Virginia University.
Deaton, A. y Laroque, G. 1992. "On the Behaviour of Commodity Prices". *The Review of Economic Studies*. 59: 1-23.
Denton J. W. 1995. "How Good Are Neural Networks for Causal Forecasting?". *The Journal of Business Forecasting*. 14 (2): 17-20.
Dicle, M. F. y Levendis, J. 2011. "Greek Market Efficiency and Its International Integration". *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*. 21(2): 229-246.
Ferreira, L., Moura, G. L., Borenstein, D. *et al.* 2011. "Utilização de Redes Neurais Artificiais como Estratégia de Previsão de Preços no Contexto de Agronegócio". *Revista de Administração e Inovação*. 8 (4): 6-26.
Freiman, J. P. y Pamplona, E. O. 2005. "Redes neurais artificiais na previsão do valor de *commodity* do agronegócio". Trabajo presentado en el V Encuentro Internacional de Finanzas. Santiago: Chile.
Funahashi, K. 1989. "On the Approximate Realization of Continuous Mappings by Neural Networks". *Neural Networks*. 2 (3): 183-192.
Ganeta, R., Romeo, L. M. y Gil, A. 2006. "Forecasting of Electricity Prices With Neural Networks". *Energy Conversion and Management*. 47 (13-14): 1770-1778.
Gorr, W. L., Nagin, D. y Szczypula, J. 1994. "Comparative Study of Artificial Neural Network and Statistical Models for Predicting Student Grade Point Averages". *ternational Journal of Forecasting*. 10 (1): 17-34.
Gupta, J. y Sankalp, S. 2017. "The Impact of Global Financial Crisis on Market Efficiency: An Empirical Analysis of the Indian Stock Market". *International Journal of Economics and Finance*. 9 (4): 225-252.
Gupta, N. y Singla, R. 2018. "Weak Form Efficiency of Gold Prices in the Indian Market". *International Journal of Engineering Technology Science and Research*. 5 (3): 396-401.
Hamid, S. A. e Iqbal, Z. 2004. "Using Neural Networks for Forecasting Volatility of S&P 500 Index Futures Prices". *Journal of Business Research*. 57 (10): 1116-1125.
Hamid, K., Suleman, M. T., Ali Shah, S. Z. *et al.* 2010. "Testing the Weak Form of Efficient Market Hypothesis: Empirical Evidence from Asia-Pacific Markets". *International Research Journal of Finance and Economics*. 58: 121-133.
Heravi, S., Osborn, D. R. y Birchenhall, C. R. 2004. "Linear Versus Neural Network Forecasting for European Industrial Production Series". *International Journal of Forecasting*. 20 (3): 435-446.
Hippert, H. S., Pedreira, C. E. y Souza, R. C. 2001. "Neural Networks for Short-Term Load Forecasting: A Review and Evaluation". *IEEE Transactions on Power Systems*. 16 (1): 44-45.
Hornik, K., Stinchcombe, M. y White, H. 1990. "Universal Approximation of an Unknown Mapping and Its Derivatives Using Multilayer Feedforward Networks". *Neural Networks*. 3 (5): 551–560.
Hou, Y., Liu, F., Gao, J. *et al.* 2017. "Characterizing Complexity Changes in Chinese Stock Markets by Permutation Entropy". *Entropy*. 19 (10): 514.
Jain, A. y Kumar, A. M. 2007. "Hybrid Neural Network Models for Hydrologic Time Series Forecasting". *Applied Soft Computing*. 7 (2): 585-592.
Ikeora, J. E., Charles-Anyaogu, N. B. y Andabai, P. W. 2016. "The Weak Form Efficient Market Hypothesis in the Nigerian Stock Market: An Empirical Investigation". *European journal of Business, Economics and Accountancy*. 4 (6): 93-105.
Kang, S. 1991. "An Investigation of the Use of Feedforward Neural Networks for Forecasting". Tesis doctoral, Kent State University.
Karali, B. y Power, G. 2009. "What Explains High Commodity Price Volatility? Estimating a Unified Model of Common and Commodity-Specific, High- and Low-Frequency Factors". Documento seleccionado No. 49576, preparado para su presentación en la Annual Meeting at the Agricultural & Applied Economics Association. Milwaukee, Wisconsin: Agricultural and Applied Economics Association.
Khan, W. y Vieito, J. P. 2012. "Stock Exchange Mergers and Weak Form of Market Efficiency: The Case of Euronext Lisbon". *International Review of Economics and Finance*. 22 (1): 173-189.
Kristjanpoller, W. y Minutolo, M. C. 2015. "Gold Price Volatility: A Forecasting Approach Using the Artificial Neural Network–GARCH Model". *Expert Systems with Applications*. 42 (20): 7245-7251.
Kohzadi, N., Boyd, M. S., Kermanshahi, B. *et al.* 1996. "A Comparison of Artificial Neural Network and Time Series Models for Forecasting Commodity Prices". *Neurocomputing*. 10 (2): 169-181.
Lean, H. H., Mishra, V. y Smyth, R. 2015. "The Relevance of Heteroskedasticity and Structural Breaks when Testing for a Random Walk with High-Frequency Financial Data: Evidence from ASEAN Stock Markets". En: G. N. Gregoriou, editor. *Handbook of High Frequency Trading*. Londres: Academic Press.
Lo, A. W. y MacKinlay, A. C. 1988. "Stock Market Prices Do Not Follow Random Walks: Evidence from a Simple Specification Test". *The Review of Financial Studies*. 1 (1): 41-66.
Liu, C. 2009. "Price Forecast for Gold Futures Based on GA-BP Neural Network". En: *2009 International Conference on Management and Service Science*. Piscataway: IEEE.
London Stock Exchange. 2018. http://www.londonstockexchange.com/.
Malliaris, A. G. y Malliaris, M. 2009. "Time Series and Neural Networks Comparison on Gold, Oil and the Euro". En: *2009 International Joint Conference on Neural Networks*. Piscataway: IEEE.
Mazviona, B. W. y Nyangara, D. 2013. "A Test of the Weak Form Efficiency of the Zimbabwe Stock Exchange after Currency Reform". *International Journal of Business, Economics and Law*. 2 (2): 43-48.
Milas, C. y Otero, J. 2002. "Smooth Transition Vector Error Correction Models for Spot Prices of Coffee". *Applied Economics Letters*. 9: 925-928.
Mynhardt, H., Makarenko, I. y Plastun, A. 2017. "Market Efficiency of Traditional Stock Market Indices and Social Responsible Indices: The Role of Sustainability Reporting". *Investment Management and Financial Innovations*. 14 (2): 94-106.
Ntungo, C. y Boyd, M. 1998. "Commodity Futures Trading Performance Using Neural Network Models Versus ARIMA Models". *The Journal of Futures Markets*. 18 (8): 965-983.
Ojeda Echeverri, C. A. y Castaño Vélez, E. 2014. "Prueba de eficiencia débil en el mercado accionario colombiano". *Semestre Económico*. 17 (35): 13-42.
Pinheiro, C. A. O. y Senna, V. 2017 "Forecasting of Prices through Neural Networks and Spectral Analysis: Evidence for the Future Market Commodities Sugar and Soy". *Custos e Agronegocio*. 13 (4): 103-128.
Ribeiro, C. O. y Oliveira, S. M. 2011. "A Hybrid Commodity Price↓Forecasting Model Applied to the Sugar–Alcohol Sector". *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*. 55 (2): 180-198.
Ruiz-Gándara, A. y Caridad y Ocerin, J. M. 2014. "Computational Methods in the Identification of Forecasting Time Series Models". *International Journal of Scientific Management and Tourism*. 1: 5-17.
Sallehuddin, R., Shamsuddin, S. M., Hashim, S. Z. M. *et al.* 2007. "Forecasting time series data using hybrid grey relational artificial neural network and auto regressive integrated moving average model". *Neural Network World*. 17 (6): 573-605.
Samuelson, P. A. 1965. "Proof That Properly Anticipated Prices Fluctuate Randomly". *Industrial Management Review*. 6 (2): 41-49.
Serin, P. 2017. "Is Random Walk Hypothesis a Reasonable Data Generating Process Assumption for Stock Prices?". Tesis de maestría, Nord University.
Shaik, M., y Maheswaran, S. 2017. "Market Efficiency of ASEAN Stock Markets". *Asian Economic and Financial Review*. 7 (2): 109-122.
Soon, L. P. y Abdul-Rahim, R. 2017. "Efficiency of Malaysian Stock Market: A Revisit Based on Analysts' Recommendations". *Geografia-Malaysian Journal of Society and Space*. 12 (2): 1-14.
Srinivasulu, S. y Jain, A. 2006. "A Comparative Analysis of Training Methods for ANN Rainfall-Runoff Models". *Applied Soft Computing*. 6 (3): 295-306.
Tang, S., Huang, S., Bowman, E. *et al.* 2017. "The Efficient Markets Hypothesis Does Not Hold When Securities Valuation Is Computationally Hard". Disponible en SSRN: https://ssrn.com/abstract=2925071.
Taskaya-Temizel, T. y Casey, M. C. 2005. "A Comparative Study of Autoregressive Neural Network Hybrids". *Neural Networks*. 18 (5-6): 781-789.
Tejeda, H. y Goodwin, B. 2009. "Price Volatility, Nonlinearity and Asymmetric Adjustment in Corn, Soybean and Cattle Markets: Implication of Ethanol-Driven (Market) Shocks". Actas de la NCCC-134 Conference on Applied Commodity Price Analysis, Forecasting and Market Risk Management. St. Louis, MO.
Tseng, C. H., Cheng, S. T., Wang, Y. H. *et al.* 2008. "Artificial Neural Network Model of the Hybrid EGARCH Volatility of the Taiwan Stock Index Option Prices". *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 387 (13): 3192-3200.
Tu, J. V. 1996. "Advantages and Disadvantages of Using Artificial Neural Networks versus Logistic Regression for Predicting Medical Outcomes". *Journal of Clinical Epidemiology*. 49 (11): 1225-1231.
Velásquez Henao, J. D. y Aldana Dumar, M. A. 2007. "Modelado del precio del café colombiano en la bolsa de Nueva York usando redes neuronales artificiales". *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*. 60 (2): 4129-4144.
Villada, F., Cadavid, D. R. y Molina, J. D. 2008. "Pronóstico del precio de la energía eléctrica usando redes neuronales artificiales". *Revista de la Facultad Universitariade Antioquia*. 44: 111-118.
Villada, F., Muñoz, N. y García-Quintero, E. 2016. "Redes neuronales artificiales aplicadas a la predicción del precio del oro". *Información tecnológica*. 27 (5): 143-150.
Wiles, P. S. y Enke, D. 2014. "Nonlinear Modeling Using Neural Networks for Trading the Soybean Complex". Procedia Computer Science. 36: 234-239.
Yonenaga, W. H. y Figueiredo, R. S. 1999. "Previsão do preço da soja utilizando redes neurais". Trabajo presentado em el XIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP). Río de Janeiro.
Yu, S. y Ou, J. 2009. "Forecasting Model of Agricultural Products Prices in Wholesale Markets Based on Combined BP Neural Network -Time Series Model". En: *2009 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*. Los Alamitos, California: IEEE.
Zhang, G. P. 2004. *Neural Networks in Business Forecasting*. Hershey: Idea Group Publishing.
Zhang, G. P., Patuwo, B. E. y Hu, M. Y. 2001. "A Simulation Study of Artificial Neural Networks for Nonlinear Time-Series Forecasting". *Computers & Operation Research*. 28 (4): 381-396.
Zou, H. F., Xia, G. P., Yang, F. T. *et al.* 2007. "An Investigation and Comparison of Artificial Neural Network and Time Series Models for Chinese Food Grain Price Forecasting". *Neurocomputing*. 70 (16-18): 2913-2923.

CASO DE ESTUDIO

Agricultura 4.0

Agregando valor al sector primario

Duplicar la producción. Esa es la seductora promesa que la inteligencia artificial (IA) hace al sector agropecuario al permitir gestionar el negocio de manera más rentable. Al ser uno de los principales rubros de exportación para América Latina, muchas empresas desarrollaron herramientas y algoritmos que ofrecen nuevos servicios al productor primario. La firma uruguaya OKARATech fue pionera en la edificación de plataformas de *software* que combinan técnicas de *big data* e IA. Accesible desde dispositivos móviles, el sistema obtiene, procesa, consolida y pone a disposición datos que provienen de distintos sensores y fuentes de información. Leonardo Cristalli, CEO de la compañía, analiza cuál es y será el impacto de la IA en la agroindustria.

¿Está atravesando el agro por una transformación digital?

En este negocio serán clave la biotecnología; el *software*, que incluye IA, *big data*, simulación y geoestadística; y la robótica, que abarca desde drones hasta vehículos autónomos. En particular, la IA es determinante, porque puede contribuir a duplicar la producción del sector a nivel global. En los principales países, hoy se produce con esquemas y fórmulas de insumos promedio, que se aplican como una receta de manera uniforme en todas las regiones o en un mismo campo, sin diferenciar entre las zonas. Pero esto puede conducir a malgastar los insumos y recursos. La capacidad que tenemos de comprender el impacto de todas las variables –como las meteorológicas, geológicas y de entornos productivos– sobre un sistema biológico es muy positiva; y con el uso de tecnología podemos obtener aún una mayor optimización. Para eso, hoy tenemos la capacidad computacional que brinda velocidad de respuesta (*hardware*) y las herramientas que interpretan la información (*software* y algoritmos de IA). Al procesar todas las variables que están en juego e interpretar el contexto, esta tecnología puede detectar cuál es la combinación de insumos que mejor se adapta para aplicar en una determinada zona, desarrolla modelos que permiten maximizar la producción, simula escenarios y permite realizar prospectiva.

¿Cuáles son los principales beneficios para el productor?

La eficiencia es la clave. Desde una visión digital, el objetivo es lograr un uso cada vez más ajustado de recursos que son escasos e, incluso, reemplazar las fuentes convencionales de energía por el uso de energía solar o eólica. También, se apunta a utilizar vehículos autónomos, que son sistemas mucho más precisos, seguros y pequeños. Así cambiará bastante la dinámica del negocio, la forma de llevarlo adelante. Basados en este tipo de plataformas, los empresarios van a mejorar la toma de decisiones en cuanto al mejor esquema de insumos para aplicar y el financiamiento.

¿Cómo se inserta OKARATech en este esquema?

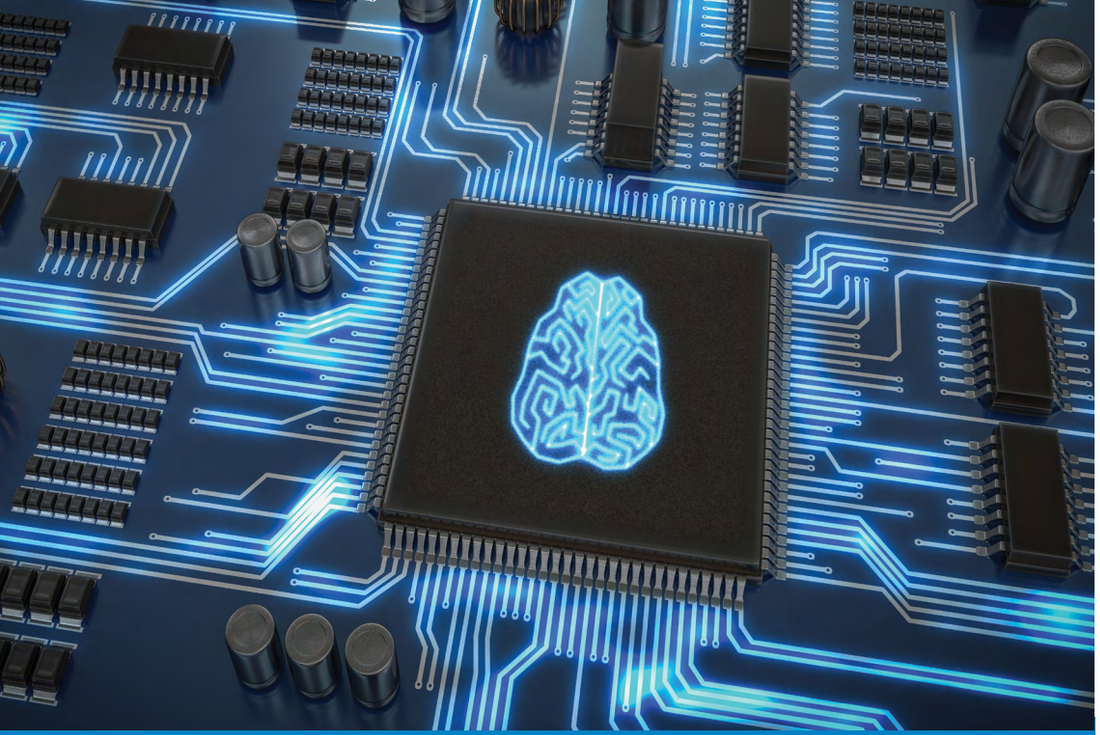
Para generar valor, lo que hace falta es un integrador que consolide y normalice todos los datos que provienen de distintas fuentes de información, sensores y sistemas propietarios, como las imágenes multiespectrales, muestras de suelo, datos de máquinas de precisión y variables meteorológicas. En primer lugar, nuestra plataforma procesa y normaliza esos datos, y los provee como servicio, de manera accesible desde todos los dispositivos y sistemas operativos. La segunda etapa tiene que ver con tomar esos datos e interpretarlos según la realidad operativa del negocio de cada usuario. Así, brindamos a los productores un amplio espectro de variables para la toma de decisiones.

¿Cuáles fueron los desarrollos recientes más revolucionarios?

Hay desarrollos muy potentes en procesamiento de lenguaje natural, reconocimiento de imágenes y capacidad predictiva. En esos casos, se están incorporando a un entorno *business to business* (B2B) la tecnología y el desarrollo que han generado para el consumidor final las grandes empresas como Apple, Amazon o Google. Nuestro esfuerzo, entonces, es adaptar esa tecnología a un ambiente productivo. La expectativa es que en los próximos años estas tecnologías maduren. Para el futuro, por ejemplo, esperamos que haya disponibilidad comercial de algoritmos de visión que puedan detectar una plaga o una enfermedad, y que luego generen una alerta para que entonces el productor vaya a pulverizar solo el lote donde está localizado el foco de esa plaga. La agricultura que se viene es una agricultura digital, estas herramientas serán el común denominador. Será inviable sin estos soportes. Pero aún requiere un cambio cultural y de paradigma en el sector.

¿Existen resistencias al uso de las nuevas tecnologías en el agro?

Si bien hay un cambio generacional importante, todavía muchos productores tienen un uso muy precario del teléfono celular y tampoco emplean el correo electrónico. Por el contrario, otros ya no imaginan su vida y su trabajo sin esas herramientas. En este punto, la formación también tiene un desafío: las carreras universitarias, como agronomía, están desactualizadas; deberían enseñar a programar o a utilizar plataformas GIS (sistemas de información geográfica). Hoy, esos contenidos los provee el sector privado, la academia no lo está haciendo.



Trading algorítmico

Una revolución en los mercados de capitales

Julián R. Siri y Juan Andrés Serur
Universidad del CEMA

CÓMO LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL PUEDE REDUCIR LOS COSTOS DE TRANSACCIONES FINANCIERAS Y OFRECER VENTAJAS COMPETITIVAS A LOS AGENTES DEL MERCADO QUE UTILIZAN NUEVAS HERRAMIENTAS. CÓMO CONSTRUIR UN ANÁLISIS DEL PERFIL DEL INVERSOR Y CÓMO DETECTAR RIESGOS SISTÉMICOS QUE SE AMPLIFICAN CON LA AUTOMATIZACIÓN DE OPERACIONES BURSÁTILES.

Décadas antes de que la Inteligencia Artificial (IA) lograse popularizarse entre una audiencia masiva,[1] los mercados de capitales y sus participantes –bancos de inversión, fondos de cobertura y firmas de corretaje, entre otros– comenzaron a testear tecnologías precursoras de este nuevo campo, que ya se erige como una nueva realidad. Es el carácter innovador y altamente competitivo de los jugadores clave en esta industria el que hace que la mera necesidad de subsistir y mantenerse en la cresta de la ola sea un factor determinante para estar receptivos y adoptar estas nuevas tecnologías.

Mientras el resto del mundo se preocupa con respecto al potencial impacto de la automatización sobre el empleo y el salario, los mercados de capitales vienen haciendo trabajar a las máquinas para su beneficio, en ramas tan variadas como el *trading* algorítmico, el análisis cuantitativo, el procesamiento masivo de datos e incluso el *robo advisory*[2].

Entender a la IA no solo como una tecnología para reducir costos, sino como una herramienta para generar valor a lo largo y ancho de las estructuras organizacionales posiciona a aquellos adoptantes en un lugar de privilegio dentro de este nuevo ecosistema.

La IA como ciencia capaz de redefinir las reglas del juego ha experimentado fases de euforia y depresión a lo largo de la historia. Sin embargo, dados los avances tecnológicos, acompañados de un perfeccionamiento de las metodologías y el aumento exponencial en el nivel de inversiones enfocadas en el desarrollo, todo parece indicar que esta tecnología ha logrado introducirse en el plano de la implementación práctica. Muchos especialistas han definido a este nuevo fenómeno como la Cuarta Revolución Industrial o la Revolución de la Inteligencia Artificial y auguran aumentos en la productividad similares a los experimentados hace más de dos siglos atrás.

METODOLOGÍAS, TENDENCIA Y ACTUALIDAD

Durante mucho tiempo, científicos de diversas áreas han intentando crear modelos para percibir el entorno, entender los problemas, predecir comportamientos y esgrimir soluciones, con el objetivo de aprender y mejorar la calidad de vida. Sin embargo, con el advenimiento de la IA, los pioneros del área persiguen un objetivo aún más ambicioso, que no solo se limita a entender el mundo que nos rodea, sino que busca generar algoritmos capaces de entender, percibir y aprender de su entorno, y busca dar respuesta a problemas que *a priori* requerirían de inteligencia circunscripta a los humanos para su resolución. Desde la resolución de complicados acertijos, la creación de vehículos autónomos, hasta incluso la capacidad de diagnosticar de forma temprana en-

fermedades, estas tecnologías persiguen el ambicioso objetivo no solo de pensar como los humanos, sino incluso dar un salto cualitativo en la calidad de la toma de decisiones y contribuir en la calidad de vida cotidiana.

Si bien en los últimos años gozó de un crecimiento exponencial, la IA es mucho más antigua de lo que se cree. El término "inteligencia artificial" fue acuñado originalmente en el año 1955 por John McCarthy, profesor de Dartmouth College. Este afirmaba que la IA es la ciencia e ingeniería de crear computadoras inteligentes. Distintas escuelas de pensamiento, dentro del marco de la IA, fueron propuestas a lo largo de la historia, divididas principalmente en dos tendencias marcadas; por un lado, se encontraba la escuela que respaldaba la idea de que la IA consistía en máquinas y sistemas capaces de adoptar un comportamiento humano y, por otro lado, se encontraba la escuela que defendía el comportamiento racional de las máquinas como definición de IA. La divergencia radica principalmente en si las computadoras tienen la capacidad de pensar y actuar como humanos, con mentes en sentido completo y literal (Bellman, 1978; Haugeland, 1985), versus la noción de que las computadoras pueden pensar y actuar racionalmente (Charniak y McDermott, 1985; Schalkoff, 1990; Winston, 1992; Luger y Stubblefield, 1993).

La definición contemporánea más ampliamente aceptada fue propuesta por Poole, Mackworth y Goebel (1998) y resulta muy clara para explicar de qué se trata el tópico bajo análisis. Estos autores afirman que la IA es la teoría y el desarrollo de sistemas computacionales capaces de llevar a cabo tareas normalmente circunscriptas al ámbito de la inteligencia humana. Los seres humanos, entendidos como agentes inteligentes, tienen la capacidad de percibir el entorno, interpretar las condiciones y llevar a cabo decisiones que maximicen las probabilidades de éxito en las tareas objetivo. Son las máquinas las que intentan replicar las capacidades cognitivas de la mente humana, tales como la percepción visual y el reconocimiento de voz, para aprender y resolver problemas cada vez más complejos.

A lo largo de la historia, científicos e investigadores de los campos de la computación y la estadística han desarrollado técnicas para obtener respuestas y han exprimido grandes *sets* de datos con características disímiles. En este sentido, parece no haber límites: la información puede ser de todo tipo, provenir de distintas fuentes e incluso variadas calidades y cualidades. Las técnicas pueden nivelar la capacidad de las computadoras para realizar tareas, tales como reconocer imágenes o procesar idiomas naturales, aprendiendo de la experiencia.

PROCESO ITERATIVO

En términos generales, podemos entender a los sistemas de IA como un proceso iterativo con las siguientes características.

1. Adquisición de la información. Aquí la habilidad de la IA se centra en reconocer y poder adquirir datos tanto en formato estructurado (tales como datos económicos) como desestructurado (imágenes y audios).
2. Interpretación de los datos. Los sistemas tienen la capacidad de analizar los datos para derivar conclusiones o conocimiento relevante al desafío a encarar.
3. Actuar en consecuencia. La IA puede usar dicha comprensión de la información a los fines de completar un proceso, actividad o función definida.
4. Aprender. En base al *feedback* que recibe de los experimentos llevados a cabo en la vida real, la IA tiene la capacidad de adaptarse y mejorar tanto su eficacia como eficiencia a lo largo del tiempo. Esta característica es esencial para separar a la IA de procesos automatizados rutinarios.

Sin embargo, existen muchos términos a la hora de describir esta área del conocimiento, por lo que resulta prudente pasar revista a los mismos y dar una definición y el alcance de cada uno

EL MERCADO INTEGRADO LATINOAMERICANO (MILA)

En mayo de 2011, después de años de conversaciones y disputas sobre los acuerdos que lo gobernarían, se conforma el Mercado Integrado Latinoamericano (MILA), actualmente constituido por las Bolsas de Valores de Chile, Colombia, México y Perú.

Entre las principales ventajas que ofrece un mercado de estas características, se destaca la oportunidad que brinda a los inversores de exponer sus portafolios a activos de otros países, aumentar la liquidez disponible y potenciar la captación de flujos para las empresas emisoras, expandiendo el mercado de capitales a todos los países miembros del MILA. Con mercados integrados –mayor cantidad de emisoras, activos e inversores–, se generan las condiciones propicias para fomentar el uso de tecnologías que hacen foco en la IA.[11]

Pensando en el futuro de la industria de manejo de fondos en general, y haciendo foco en el MILA en particular, la IA abre las puertas a explotar una nueva faceta denominada *robo advisory*. Remite a la actividad de manejo de fondos parcial o totalmente automatizada y apunta a reducir las barreras de entrada a los mercados de capitales para el público inversor minorista. Son tanto la adopción de tecnologías –específicamente las de acceso directo a mercado[12]– como la homogenización de regulaciones –con respecto a vehículos de inversión y tratamientos impositivos generales– las que permiten el desarrollo de esta clase de aplicaciones.

Actividades tales como la creación de sistemas de recomendación automatizados, que van desde lo que respecta al perfilado del riesgo del inversor hasta la conformación y rebalanceo de portafolios, son posibles gracias a este tipo de avances. El uso de técnicas de aprendizaje no supervisado puede resultar muy útil al momento de generar sistemas autónomos de recomendación y asesoramiento a inversores.

Al momento de desarrollar esta clase de sistemas, es vital la información que puede suministrar el potencial inversor. Una forma de iniciar los procesos es analizando los atributos que generalmente se utilizan cuando se realiza el plan de política de inversión.[13] El registro de gran cantidad de perfiles, sumado a técnicas de aprendizaje automático, puede agregar valor al mejorar la clasificación de los nuevos inversores que van entrando al sistema. Como paso posterior, los algoritmos pueden constituir los portafolios de inversión, tomando en cuenta el universo de activos disponibles y un adecuado perfil de riesgo que haya obtenido en la primera fase, e incluso encargarse de la ejecución y rebalanceos periódicos. Para completar el ciclo de producción, los algoritmos incluso son capaces de lidiar con los reportes periódicos a los inversores/usuarios y cuestiones relacionadas a las suscripciones y rescates de fondos.

US$ 7.000 millones
ALCANZARÁ EN 2019
LA INVERSIÓN EN IA
PARA FINANZAS

de ellos. Si bien el término *big data* no tiene una definición inequívoca y consistente, tomamos aquella propuesta por Ward y Barker (2013), quienes afirman que dicho término se utiliza para describir el almacenamiento y análisis de grandes (y usualmente complejos) *sets* de datos mediante el uso de una variedad de técnicas que incluyen la IA. El análisis de dichos *sets* usualmente toma el nombre de *big data analytics*, y la complejidad relevante es proporcional a la cantidad de datos desestructurados o semiestructurados presentes en las fuentes de información.

Entenderemos a la IA como una ciencia amplia, dentro de la cual el denominado "aprendizaje automático"[3] representa una subcategoría. Mientras que la primera (IA) es la teoría y desarrollo de sistemas computacionales capaces de realizar tareas que requieren inteligencia humana, la segunda es una metodología que se remite al diseño de una secuencia de acciones tendientes a resolver un problema (proceso conocido como algoritmo), que es optimizado recurrentemente a través de la experiencia recolectada al andar, con cierto grado de supervisión humana (o incluso ninguno). Esto fue expuesto por Arthur Samuel (1959), considerado uno de los padres de esta rama de la IA, quien afirmaba que el aprendizaje automático es un campo de estudios que brinda a las computadoras la habilidad de aprender sin ser explícitamente programadas.

Los problemas de aprendizaje automático generalmente constan de una función de error, una función de pérdidas y una función objetivo. Mediante este proceso de aprendizaje, el fin es minimizar las pérdidas y cumplir el objetivo asignado.

Existen distintas categorías de aprendizaje automático, cuya catalogación responde al nivel de intervención humana requerida en el etiquetado de datos y al grado de complejidad tanto de las técnicas utilizadas para resolver el problema como del tipo de datos utilizados.

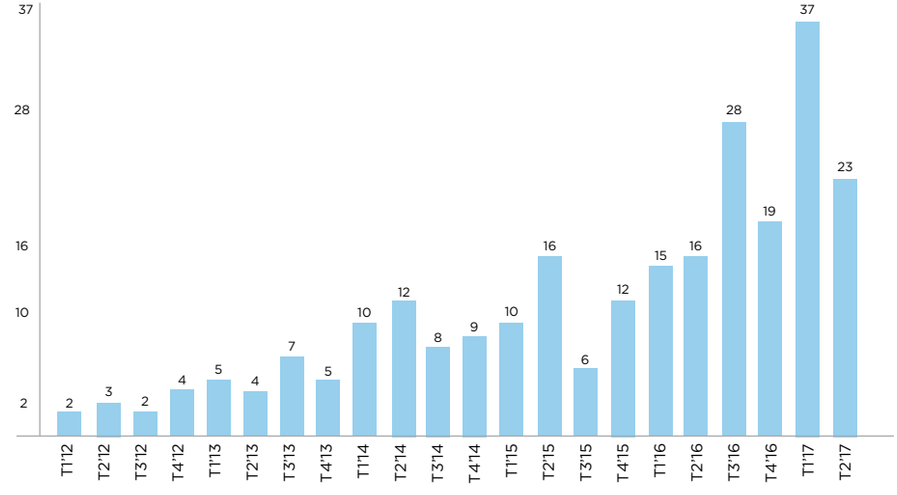
En el caso del aprendizaje supervisado[4], los algoritmos reciben un set de datos de entrenamiento con información que posee etiquetas (por ejemplo, transacciones fraudulentas identificadas). De esa forma, parte del set de datos que alimenta al algoritmo consta de una clasificación positiva y directa. El algoritmo aprenderá entonces una regla general de clasificación, que utilizará para predecir las etiquetas del resto de las observaciones no catalogadas (continuando con el ejemplo, determinar cuáles son fraudulentas y cuáles no). El proceso de aprendizaje finalizará cuando el algoritmo logre un nivel razonable de precisión en términos de su función objetivo. Dentro de esta categoría, es posible distinguir problemas de clasificación y problemas de regresión. En el primer caso, la variable objetivo es discreta/categórica (una determinada transacción es o no es fraudulenta). En el segundo caso, es una variable continua (monto de la transacción).

Otro caso es el del aprendizaje no supervisado[5], en el cual la información provista carece de etiquetas clasificadoras, es decir, el algoritmo no es provisto de la respuesta correcta para cada observación. Esto implica que, durante el aprendizaje, la variable relevante no se encuentra disponible. Entonces, la tarea del algoritmo es detectar patrones mediante la identificación de grupos de observaciones que responden a atributos y características similares. Si bien existen diversas técnicas para llevar a cabo problemas de aprendizaje no supervisado, lo más común es utilizar métodos de agrupamiento[6], en donde el algoritmo busca características comunes en los datos, con el objetivo de conformar grupos de etiquetación para cada observación.

Está también el aprendizaje por refuerzo[7], que es una categoría intermedia a las últimas dos. El algoritmo recibe un set de datos sin clasificar, escoge una acción determinada para cada dato puntual y recibe *feedback* –potencialmente de un humano– que lo ayuda a aprender y perfeccionarse. En términos generales, el aprendizaje por refuerzo requiere de una etapa de exploración (generalmente, la mayoría de los datos disponibles son utilizados para la exploración) y una etapa de explotación, en la cual busca obtener beneficios del aprendizaje adquirido durante la fase anterior.

Por último, se encuentra la categoría de aprendizaje profundo[8]. Este tipo de IA viene a intentar resolver uno de los mayores desafíos de los modelos tradicionales: la extracción de características. En los modelos antes mencionados, el programador necesita especificarle a la computadora qué tipo de cosas son las que debería considerar como información a la hora de tomar decisiones. Los algoritmos de aprendizaje profundo son uno de los pocos métodos con los cuales se puede eludir este desafío. Son capaces de aprender a enfocarse en las características correctas por sí mismos y requieren poca orientación por parte de los programadores. En ese sentido, estos algoritmos trabajan por capas[9] inspiradas en replicar la estructura cerebral humana. De ahí que toman el nombre de redes neuronales. Las neuronas de la red tienen *inputs* ponderados, que son filtrados por una función específica. El valor que arroja la función es transmitido como *output* hacia otra neurona. Una red neuronal se produce cuando

GRÁFICO 1
ACTIVIDAD DE FUSIONES Y ADQUISICIONES ASOCIADA A INTELIGENCIA ARTIFICIAL



Fuente: CB Insights (27 de febrero, 2018).

conectamos las neuronas entre sí, a los datos de entrada y a las respuestas de salida, a las que intenta responder el algoritmo. Así como las neuronas del cerebro humano se organizan en capas, sucede lo mismo en estas redes artificiales. Las neuronas de las capas inferiores reciben señales de los *inputs*, mientras que las neuronas de las capas superiores reciben señales de las capas anteriores. Finalmente, la última capa de neuronas conecta con las respuestas. El objetivo detrás de esto es procesar y clasificar complejos *sets* de datos, cuyo comportamiento no lineal impide el uso de otros algoritmos más simples.

Entender el contexto en el cual se logra desarrollar este auge de implementación de metodologías de inteligencia artificial resulta importante. Son los datos, en cantidades masivas, un enclave esencial para poder desarrollar, entrenar y aplicar estos algoritmos. En los últimos años, han surgido fuentes de datos de las más diversas clases: desde comentarios y publicaciones –incluso con contenido de audio y video– en redes sociales, hasta imágenes satelitales o recibos de compra de sitios *online*. Todo esto termina traduciéndose en billones de *gigabytes* de nueva información producida día tras día. Si le sumamos el hecho de que los costos de almacenamiento están cayendo en forma exuberante, mientras que el poder de análisis de datos está creciendo exponencialmente (tanto por el lado del *software* como del *hardware*), todo redunda en un ecosistema proclive al grado de innovación del cual somos testigos.

Poniendo el foco en las inversiones y el nivel de desarrollo, se puede destacar que el capital comprometido a *startups* dentro del segmento es señal indiscutible del optimismo imperante, especialmente en las áreas de finanzas y banca. De acuerdo con CB Insights[10], desde 2012 a la fecha se han invertido más de US$ 15 mil millones en fondear más de 2.300 proyectos de IA. En términos interanuales, el dinero canalizado a desarrollo crece a una tasa interanual de más de 70%. En cuanto a la industria financiera, las inversiones en IA se estiman pasarán de US$ 2.000 millones en el año 2016, a más de US$ 7.000 millones para el cambio de década.

El número de publicaciones académicas que hacen foco en la IA se ha multiplicado por nueve desde el año 1996 a la fecha, lo que resulta un incremento anormal comparado con publicaciones en otras ramas científicas. Por ejemplo, tomando como referencia el mismo período de tiempo, la cantidad de publicaciones con foco en las ciencias computacionales creció seis veces y el número de publicaciones en todos los campos de la ciencia logró tan solo duplicarse.

Por último, como un barómetro adicional para cuantificar el nivel de entusiasmo asociado a la IA, la cantidad de fusiones y adquisiciones de compañías asociadas a estas tecnologías ha estado creciendo de forma consistente. Por ejemplo, solamente Alphabet Inc. ha adquirido más de 50 *startups* durante 2015-2016.

APLICABILIDAD AL MERCADO DE CAPITALES

La IA ha logrado una rápida adopción en los mercados de capitales, con un amplio espectro de aplicaciones prácticas. Dentro de los argumentos con respecto al porqué de su velocidad de adopción, se encuentran factores tanto de oferta como de demanda.

Por el lado de la oferta, podemos destacar los avances tecnológicos, entendidos como procesadores cada vez

CLASIFICACIÓN DE INVERSORES

Uno de los posibles usos de un algoritmo de aprendizaje automático es para mejorar la clasificación de los inversores según sus características, en términos de que su encasillamiento en términos del perfil de riesgo-retorno resulta clave para implementar estrategias de inversión sobre sus patrimonios. Precisamente, el algoritmo de los *K* vecinos más cercanos (*kNN*, por sus siglas en inglés) es una herramienta eficiente para segmentar inversores según su nivel de tolerancia al riesgo. Esto resulta de mucha utilidad ya que podría aplicarse a un *robo advisory*, cuyas prestaciones son el manejo automatizado de portafolios de inversión.

El primer paso consiste en definir la variable a predecir (variable *target*) y las variables que la explican (características).

Variable *target*: tolerancia al riesgo de los inversores –con tres alternativas: alta, media, baja–.

Variables explicativas (*features*): edad, horizonte temporal, género e ingreso.

El objetivo de este desarrollo es entrenar el algoritmo con un set de datos con etiquetas y luego testearlo con un set de datos sin etiquetas[15]. Las variables son normalizadas para lograr cierta homogeneidad en los valores de las mismas:

$$X_i^{Norm} = \frac{X_i - X^-}{X^+ - X^-}$$

donde X_i^{Norm} es la variable i normalizada (que adopta un valor entre 0 y 1), X_i es la variable a normalizar, X^- es el valor mínimo del set de variables y X^+ es el valor máximo. Con respecto a valores nominales, se los transforma utilizando variables *dummies*.

Entonces, dadas las variables antes expuestas, se procedió a calcular un *score* Z_i para cada inversor y, en función de ello, definir su tolerancia al riesgo:

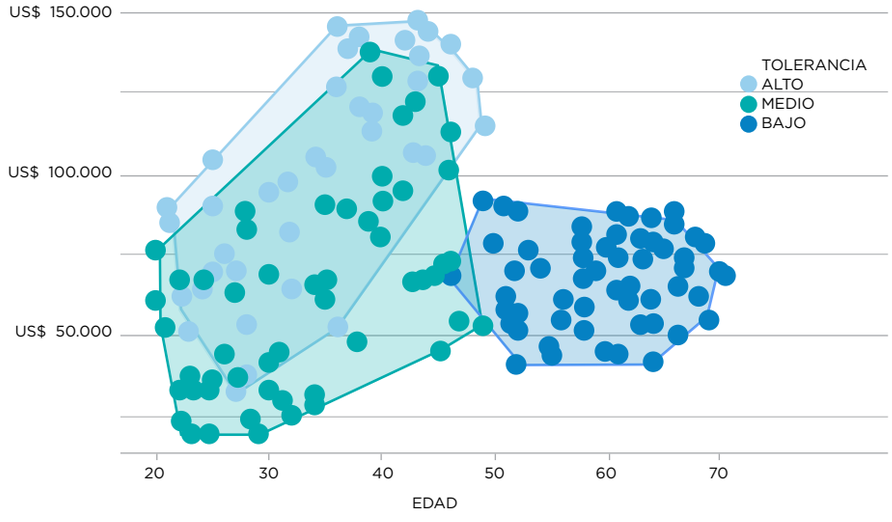
$$\text{Tolerancia } (Z_i) = \begin{cases} \text{Alto}, & Z_i > 0{,}66 \\ \text{Medio}, & 0{,}66 > Z_i \geq 0{,}33 \\ \text{Bajo}, & Z_i < 0{,}33 \end{cases}$$

Luego, con 500 datos de distintos inversores, se tomaron 350 para entrenar el algoritmo y 150 para probarlo. En la siguiente tabla pueden observarse los resultados.

	ALTO	BAJO	MEDIO
OBSERVADO	43	55	52
ALGORITMO	39	57	54

Esto muestra una eficiencia de casi 95% (ver gráfico 2).

GRÁFICO 2
ALGORITMO kNN CLASIFICANDO GRUPOS
PREDICCIÓN EN FUNCIÓN DE 2 VARIABLES UTILIZADAS (DE UN TOTAL DE 4)



Fuente: Elaboración propia.

más potentes, menores costos de *hardware*, así como la aparición del *cloud computing* como fenómeno disruptivo, capaz de lograr la escalabilidad masiva tan necesaria en estas cuestiones. Asimismo, no solo los costos de almacenamiento y análisis de datos han caído a una décima del valor que mostraban una década atrás, sino que también la cantidad de información generada se ha septuplicado en el mismo período (Reinsel, Gantz y Rydning, 2017; Klein, 11 de julio, 2017). En ese sentido, la aparición de una mayor cantidad de información financiera (y no financiera) aplicable a los problemas que aquí se discuten, así como su accesibilidad por un público cada vez más amplio, contribuyó al auge en la implementación de estas tecnologías.

En cuanto a los factores de demanda, las instituciones financieras, dadas las características de sus negocios, son demandantes naturales de tecnologías relacionadas a la IA. Se destacan cuestiones de rentabilidad, donde las implementaciones tecnológicas generan oportunidades tanto para la reducción de costos como para mejoras en el manejo de riesgos. Otros motivantes que se destacan son la feroz competencia que existe entre bancos, lo que genera incluso un efecto reputacional el tener que abordar desarrollos asociados a estas nuevas tecnologías. Por último, ha surgido una demanda asociada a los requerimientos normativos, donde un incremento en las regulaciones ha dado pie a la necesidad de cumplimentar de manera más eficiente. En dicho sentido, esto ha empujado a los bancos a automatizar, en un mayor o menor grado, todos los procesos de *reporting*.

Como se destaca en un reporte del Financial Stability Board (2017), con respecto a los casos de uso de la IA, los mismos incluyen una variedad de áreas y focos específicos. Van desde un rango de aplicaciones que hacen foco en el usuario final de las entidades bancarias (*credit scoring*, valuación y venta de pólizas de seguros, así como asistentes digitales para responder a las necesidades de los clientes) hasta aquellas referidas a la toma de decisiones en los mercados de capitales. Estaremos analizando con mayor detalle estas últimas, desde una perspectiva operacional, así como en la generación de ideas de *trading* y estructuración de portafolios de inversión.

Los bancos y fondos de inversión utilizan herramientas de IA desde un punto de vista operacional en cuestiones tales como optimizar el uso del capital, administrar los modelos de riesgo y analizar y eficientizar el impacto de mercado (a la hora de armar y desarmar grandes posiciones en mercados con niveles de liquidez inciertos). En lo que remite a la asignación del capital, en conjunto con las regulaciones de márgenes mínimos requeridos, los algoritmos de IA son utilizados para desarrollar y ejecutar estrategias que reduzcan dichos márgenes y liberen capital de manera tal que permita mejorar la rentabilidad y asignación de recursos escasos. Para el manejo de riesgos, las nuevas tecnologías hacen hincapié en cuestiones tales como la validación de modelos, aplicando algoritmos de aprendizaje no supervisado[5] para detectar proyecciones anómalas, generadas por modelos de *stress testing*. De esta manera, dan soporte a los encargados de la validación, a los fines de determinar si dichos modelos están operando dentro de un rango de tolerancia aceptable. Por último, para cuestiones asociadas al impacto de mercado, se aplican algoritmos capaces de captar las relaciones no lineales que existen en el flujo de órdenes, para encontrar similitudes tanto en activos (dentro de una misma clase) como en patrones de órdenes, y así generar mejores estimaciones con respecto a los movimientos de los precios en los mercados. Todo esto no es menor cuando se estima que hasta dos tercios de las ganancias brutas para fondos cuantitativos –que ejecutan órdenes sistemáticas de compra y venta– pueden diluirse en costos asociados al impacto de mercado (Day, 5 de abril, 2017).

Contemplando aspectos asociados al *trading* y la administración de portafolios, la IA y técnicas de aprendizaje automático han ganado espacio no solo en la generación de señales, sino también en la ejecución de las estrategias. En cuestiones asociadas al *trading*, las grandes firmas de corretaje bursátil son generadoras de un gran flujo de información cuando de operaciones se trata. Para poder analizar patrones de *trading* y anticiparse a la siguiente orden por parte del cliente, es necesario delegar la tarea de análisis y recomendación a algoritmos de aprendizaje automático, no solo por agilidad, sino por capacidad de procesar e interpretar tamaño set de datos que se genera de manera dinámica. Son también los mercados organizados aquellos que pueden, sobre la base de modelos de riesgos y algoritmos, determinar cambios en los perfiles de sus participantes, lo que motiva una intervención acorde. Por el lado de la administración de portafolios, son las metodologías y herramientas de IA las que permiten identificar nuevas señales –con respecto a los movimientos de precios– dada su capacidad inherente de utilizar grandes bases de datos de fuentes disímiles. No solo capturan los principios analíticos de lo que se denomina "inversión sistemática" (o por reglas), sino que también explotan patrones en los movimientos de precios y hasta incluso generan relaciones lineales (y no lineales) como resultantes de

algoritmos de aprendizaje profundo[8]. Al final del día, el objetivo de todos estos enfoques es generar mayores retornos, para distintos horizontes de tiempo, con el menor grado de correlación entre estrategias.

BENEFICIOS Y DESAFÍOS

Como todo campo experimental en plena fase ascendente de su ciclo de madurez, la IA genera beneficios derivados de su implementación, pero también impone desafíos de diversas índoles a tener en cuenta para poder aprovecharla de forma adecuada.

Dentro de los beneficios de adoptar estas nuevas tecnologías, se puede destacar que el procesamiento más eficiente de la información debería contribuir a generar un sistema financiero más eficiente, mejorando la percepción de los agentes involucrados, reduciendo las asimetrías de la información y afinando la valoración de los instrumentos utilizados. También hay que entender a las aplicaciones de IA como herramientas que contribuyen, de manera incremental, en el área de cumplimiento del marco normativo, lo que aumenta la efectividad de la supervisión. En un mundo en el cual la concentración e integración son vistas con desconfianza para esta industria (efecto *too big to fail*), la capacidad de tener reguladores más y mejor informados constituye una ventaja.

No obstante, resulta imperioso contemplar potenciales desafíos e inconvenientes asociados con una adopción indiscriminada de estas nuevas tecnologías. Entendemos que los riesgos existen tanto a nivel micro como a nivel macro. Yendo de lo general a lo específico, todavía no existen estándares internacionales que establezcan un marco de referencia en ámbitos tales como el *trading* algorítmico. Muchos argumentan que son las máquinas y sus modelos opacos[14] potenciales amplificadores de riesgos sistémicos. Asimismo, la falta de capacitación en el modelaje e implementación de los algoritmos y en la interpretación de resultados sobre procesos complejos (que pueden exceder en velocidad y capacidad al cerebro humano) son un llamado de atención adicional a la hora de confiar ciegamente en estas técnicas modernas. Por otro lado, el denominado efecto de red, en el sentido de generar interconexiones cada vez más sofisticadas, así como la escalabilidad de las nuevas tecnologías, pueden dar pie a una dependencia a proveedores externos. Esto podría conducir al surgimiento de nuevos jugadores con relevancia sistémica que caigan fuera del perímetro regulatorio, pero tengan el mismo impacto en los mercados que los participantes tradicionales.

SUPERVISIÓN ADECUADA DE RIESGOS

Así como sucede con cualquier otro producto o servicio financiero novedoso, la IA deberá pasar por exigentes pruebas relacionadas con la gestión y supervisión adecuada de los riesgos. En un tema tan sensible como es el dinero y una industria cuyas acciones tienen marcada incidencia en el resto de la economía, será sumamente importante evaluar los usos de la IA con una perspectiva amplia, que adhiera a protocolos pertinentes sobre la privacidad de los datos, la ciberseguridad y otros riesgos.

También será clave testear y entrenar las herramientas con datos insesgados, haciendo hincapié en los mecanismos de retroalimentación, para asegurar un correcto funcionamiento de las aplicaciones. El futuro resulta auspicioso, pero balancear la ambición desmedida a veces presente en los mercados de capitales será clave para que la IA pueda desplegar todo su potencial.

NOTAS

[1] Por ejemplo, haciendo una búsqueda de términos relacionados en Google Trends (https://trends.google.com) de términos tales como "Inteligencia Artificial" y "Aprendizaje Automático", o sus homónimos en inglés, arrojarán un *proxy* con respecto al interés de los internautas sobre el tema.

[2] Se entiende por *robo advisory* la gestión automática de inversiones, que delega la composición de las carteras de inversión, la designación del perfil de riesgo e incluso la ejecución de órdenes a algoritmos sofisticados de IA.

[3] Probablemente el lector reconozca el término en su versión en inglés: *machine learning*. Se ha intentado *aggiornar* los términos al español, aunque en los ámbitos prácticos y claustros académicos con frecuencia se utiliza la terminología anglosajona.

[4] *Supervised learning*.

[5] *Unsupervised learning*.

[6] *Clustering analysis*.

[7] *Reinforcement learning*.

[8] *Deep learning*.

[9] *Layers*.

[10] Base de datos en línea que reporta acerca de *angel investors* y firmas de capital a riesgo (https://www.cbinsights.com).

[11] Tal como fue mencionado previamente, una característica común a todos los algoritmos de IA, en menor o mayor medida, es la necesidad de gran cantidad de datos para brindar los mejores resultados.

[12] Comúnmente referido como *Direct Market Access* (DMA).

[13] En dicho plan, el potencial cliente brinda una serie de datos socioeconómicos, de objetivos y tolerancia al riesgo.

[14] En la jerga técnica, los denominados *black boxes* son aspectos no deseados de la aplicación de algoritmos de aprendizaje automático. En muchos casos, al abocarse a detectar patrones y no causalidades, estos algoritmos pueden actuar de manera irracional.

[15] Variables con etiquetas referencia a que el set de datos (set de entrenamiento) tiene tanto las variables explicativas (*features*) y las variables a explicar (*target*). Por otro lado, el set sin etiquetas (set de pruebas) solo consta de las variables explicativas y no las explicadas. El objetivo de esto último es probar cuán eficaz es el algoritmo en clasificar los inversores por sus preferencias en función del set de variables propuestas.

BIBLIOGRAFÍA

Artificial Intelligence Index. 2017. *2017 Annual Report*. AI Index.

Bellman, R. 1978. *Artificial Intelligence: Can Computers Think?*. San Francisco: Boyd & Fraser Publishing Company.

Citibank. 2018a. *Banks and AI: The Compliance and RegTech Opportunity*. Global Banks Insights.

—. 2018b. *AI and Finance*. Global Banks Insights.

CB Insights. "The Race For AI: Google, Intel, Apple In A Rush To Grab Artificial Intelligence Startups". CB Insights. **27 de febrero, 2018**.

Charniak, E. y McDermott, D. 1985. *Introduction to Artificial Intelligence*. Boston: Addison-Wesley Publishing Company.

Day, S. *Quants Turn to Machine Learning to Model Market Impact*. Risk Magazine. **5 de abril, 2017**.

Financial Stability Board. 2017. *Artificial Intelligence and Machine Learning in Financial Services: Market Developments and Financial Stability Implications*. Basilea: FSB.

Finextra e Intel. 2017. *The Next Big Wave: How Financial Institutions Can Stay Ahead of the AI Revolution*. Londres: Finextra.

Haugeland, J. 1985. *Artificial Intelligence: The Very Idea*. Cambridge: MIT Press.

Institute of International Finance. 2017. *Deploying Regtech Against Financial Crime*. IIF.

J. P. Morgan. 2017. *Big Data and AI Strategies: Machine Learning and Alternative Data Approach to Investing*. Global Quantitative & Derivatives Strategy

Klein, A. "Hard Drive Cost Per Gigabyte". Blackblaze blog. **11 de julio, 2017**.

Luger, G. F y Stubblefield W. A. 1993. *Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving*. Redwood City: Benjamin-Cummings Publishing Company.

Poole, D., Mackworth, A. y Goebel, R. 1998. *Computational Intelligence: A Logical Approach*. Nueva York: Oxford University Press.

Reinsel, D., Gantz, J. y Rydning, J. 2017. "Data Age 2025: The Evolution of Data to Life-Critical". IDC White Paper. Framingham: IDC Headquarters.

Rich, E. y Knight, K. 1991. *Artificial Intelligence*. Nueva York: McGraw-Hill.

Russell, S. y Norving, P. 2009. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Third Edition. Harlow: Pearson.

Schalkoff, R. J. 1990. *Artificial Intelligence: An Engineering Approach*. Singapur: McGraw-Hill.

—. 1992. *Pattern Recognition: Statistical, Syntactic and Neural Approaches*. Nueva York: John Wiley and Sons.

Samuel, A. L. 1959. "Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers". *IBM Journal of Research and Development*. 3 (3): 210-229.

Skilton, M. y Hovsepian, F. 2017. *The 4th Industrial Revolution: Responding to the Impact of Artificial Intelligence on Business*. Cham: Palgrave Macmillan International.

Ward, S. J. y Barker, A. 2013. "Undefined by Data: A Survey of Big Data Definitions". arXiv:1309.5821.

Winston, P. H. 1992. *Artificial Intelligence*. Reading: Addison-Wesley publishing company.

Gobernanza de redes neuronales

Las nuevas tecnologías plantean desafíos inéditos para la gobernanza global, riesgos éticos que requieren acuerdos básicos. Al mismo tiempo, ofrecen oportunidades para elevar la eficiencia del sector público y brindar mejores servicios.

Un *desafío* de gobernanza mundial

Nicolas Miailhe y Yolanda Lannquist
The Future Society

ENTRE FIN DE 2017 Y COMIENZOS DE 2018, THE FUTURE SOCIETY LANZÓ UN DEBATE CIUDADANO GLOBAL SOBRE INTELIGENCIA ARTIFICIAL QUE INCLUYÓ 2.000 PARTICIPANTES Y 20 EVENTOS ORGANIZADOS ALREDEDOR DEL MUNDO. ESTE ARTÍCULO RESEÑA LOS PUNTOS SALIENTES DE ESA DISCUSIÓN, LOS RIESGOS PRESENTES Y FUTUROS, Y BRINDA UNA HOJA DE RUTA PARA ARTICULAR UN SISTEMA DE DECISIONES QUE GARANTICE QUE EL IMPACTO ÚLTIMO DE LA IA SEA POSITIVO.

Arraigada dentro del movimiento más amplio de la revolución digital, la inteligencia artificial (IA) se prepara para transformar la economía, la sociedad y los sistemas políticos que conocemos actualmente. Debido a los efectos de escala y de red que se producen en torno de los datos, la supercomputación en la nube y los algoritmos de aprendizaje automático, el alcance de la esfera en la que opera esta dinámica es cada vez más continental y mundial. El impacto de la revolución de la IA combina, inextricablemente, oportunidades muy significativas y, al mismo tiempo, graves riesgos para la sociedad. Los resultados beneficiosos incluyen una oleada de ganancias de productividad, una educación hiperpersonalizada, el descubrimiento de nuevas drogas, rutas más seguras y un uso eficiente de la energía. No obstante, la IA también trae aparejado el fantasma de la profundización de la inequidad y de un desempleo masivo, la amenaza de ciberataques y armamento autónomo letal, y la pérdida de la privacidad, dignidad, ecuanimidad y libre albedrío de las personas. La posibilidad de darle forma al desarrollo de la IA para que capte los aspectos positivos y minimice los negativos dependerá, primordialmente, del tipo de combinaciones de políticas que desplieguen los países, así como de su capacidad para moldear colectivamente los procesos de gobernanza global.

Antes de analizar los impulsores de los procesos de gobernanza global para la era de la IA, un prerrequisito es lograr una comprensión más cabal de la configuración de la noción de "inteligencia artificial" en el contexto de su desarrollo continuo, de sus interacciones y de su impacto sobre la sociedad. Esta definición servirá luego como una lente a través de la cual analizar la dinámica de los sistemas socioeconómicos complejos involucrados en el auge mundial de la IA. Dicha dinámica exige marcos de gobernanza mundial nuevos para la IA.

Este artículo se nutre de las ideas planteadas en el debate ciudadano a nivel mundial sobre la gobernanza de la IA organizado por The Future Society (2018*), Governing the rise of Artificial Intelligence*, que se llevó a cabo entre septiembre de 2017 y marzo de 2018 y reunió las opiniones de una comunidad global de más de 2.000 participantes y 600 contribuyentes activos en cinco idiomas. Sobre la base de una metodología comprobada de innovación abierta, este experimento pionero combinó una plataforma en línea de inteligencia colectiva –cuya curación estaba a cargo de un equipo de expertos– con una serie variada de más de 20 eventos organizados alrededor del mundo, tanto en línea como fuera de la red. Esta conversación con

contenidos curados involucró a expertos en IA, usuarios, responsables de políticas, académicos y ciudadanos.

CONSENSUAR UNA DEFINICIÓN

Un gran desafío para la gobernanza y las políticas destinadas a la IA sigue siendo la falta de consenso sobre su definición. Esto socava las posibilidades de medir la dinámica y el impacto de la IA y de llegar a un acuerdo al respecto. Si bien la IA está firmemente arraigada en las ciencias informáticas y ha sido consustancial con su surgimiento desde los años 1940, hoy en día se refiere a un amplio abanico de tecnologías y métodos.

Coautor del libro de texto clásico de referencia *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, el profesor Stuart Russell (2016) define la IA como "el estudio de los métodos para hacer que las computadoras se comporten inteligentemente". Esto incluye la realización de las acciones que más probablemente conduzcan a la concreción de un fin especificado o, en términos técnicos, que maximicen la utilidad esperada. Por consiguiente, Russell sugiere que la IA incluye tareas como el aprendizaje, el razonamiento, la planificación, la percepción, la comprensión de idiomas y la robótica. Por tanto, la IA es una expresión genérica que se refiere a un conjunto de tecnologías dependientes de algoritmos que constituyen su núcleo y les permiten pensar o actuar como seres humanos. Las tecnologías de IA incluyen el aprendizaje automático, la visión artificial, la robótica inteligente, la robótica para la automatización de procesos, la biometría, la inteligencia de enjambre, los agentes virtuales, la generación de lenguaje natural y la tecnología semántica, entre otras.

El aprendizaje automático es el subconjunto de IA que está motorizando los desarrollos más recientes en este campo. Este aprendizaje, cuyo nombre fue acuñado por Arthur Samuel (1959), es el "campo de estudio dentro de la IA que les brinda a los sistemas la capacidad de aprender de ejemplos pasados para actuar en escenarios nuevos e inciertos, sin haber sido explícitamente programados". El aprendizaje automático subyace a las innovaciones de IA para vehículos autónomos, robots de asistencia personal, *bots* conversacionales, traductores de idiomas, así como las recomendaciones de películas en Netflix, o aquellas para ganar un partido de Go. El aprendizaje automático incluye diferentes técnicas, como las redes neuronales y el aprendizaje profundo, el aprendizaje por refuerzo, los análisis de regresión, los algoritmos de agrupamiento o *clustering* y los árboles de decisión, entre otras.

Fundamentalmente, los algoritmos de aprendizaje automático se basan en estadísticas y matemática para predecir los resultados de nuevos escenarios sobre la base de conjuntos de datos de entrenamiento muy vastos. Escritos en código y alimentados por sistemas de computación cada vez más poderosos, los algoritmos de IA se han desarrollado a la par de los avances de la infraestructura informática. Si bien algunas técnicas de aprendizaje automático, como las redes neuronales, están ligeramente inspiradas en las complejas redes de neuronas que ponen en funcionamiento el cerebro humano, la convergencia entre las ciencias informáticas y las neurociencias sigue siendo, por ahora, limitada. No obstante, es probable que en las próximas décadas se profundice la idea de una convergencia entre la informática y las neurociencias a través de las biotecnologías y la bioinformática, a medida que agudizamos nuestra comprensión del cerebro y de sus procesos bioquímicos asombrosamente complejos.

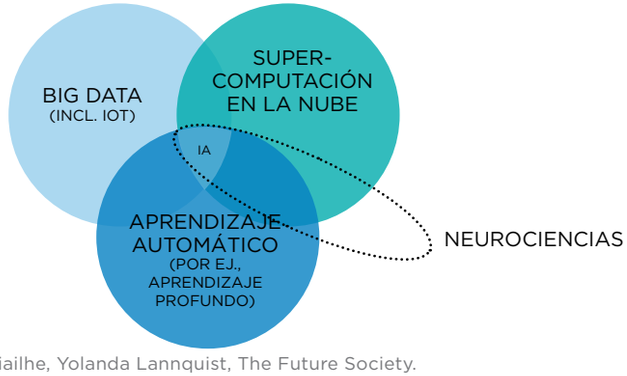
Por ejemplo, la convergencia de la informática y las neurociencias puede ser una de las tantas posibilidades para contribuir de manera crítica al desarrollo de la inteligencia artificial general (IAG). Actualmente, los sistemas de IA tienen capacidades para realizar tareas discretas específicas, como conducir un vehículo o jugar un juego, lo cual es llamado inteligencia artificial débil o estrecha (IAD). Sin embargo, muchos científicos y emprendedores del campo de la tecnología actualmente están trabajando para desarrollar IAG, que, para la mayoría de los expertos, se refiere a la capacidad de llevar a cabo todo un rango de tareas intelectuales que se compara con las que realiza el cerebro humano. Los expertos discrepan ampliamente en cuanto al horizonte temporal del desarrollo de la IAG, pero sí están de acuerdo respecto de su potencial para desencadenar efectos de gran magnitud y que impliquen un cambio de paradigma para la humanidad.

MEGATENDENCIAS SOCIO-TÉCNICAS

Los algoritmos de aprendizaje automático aprenden a predecir y a actuar en nuevos escenarios a partir de miles o, incluso, millones de puntos de datos, ya sean imágenes rotuladas, compras anteriores de los consumidores o millas recorridas en el pasado. Dichos algoritmos de aprendizaje automático utilizan estos datos de entrenamiento como insumo para aprender de ellos y predecir los resultados de nuevos datos o de nuevos escenarios. Este proceso de entrenamiento requiere un gran poder de cómputo. El resultado es el desarrollo de algoritmos que operan con mucha precisión cuando se enfrentan a nuevos datos o escenarios.

El renacimiento actual de la IA, por tanto, se ubica en la intersección de tres megatendencias tecnológicas: los macrodatos o *big data*, el aprendizaje automático y la supercomputación en

GRÁFICO 1
LA IA EN LA INTERSECCIÓN DE TRES MEGATENDENCIAS CIENTÍFICO-TÉCNICAS



Fuente: Nicolas Miailhe, Yolanda Lannquist, The Future Society.

la nube (Miailhe, 2018). Si bien la IA ha sido un campo de estudio activo durante más de medio siglo, el crecimiento vertiginoso del poder de cómputo y la reciente disponibilidad de grandes flujos y *stocks* de datos digitales le han dado un nuevo impulso al desarrollo del aprendizaje automático (gráfico 1).

Estos tres componentes no se sitúan en el vacío de la tecnología. Son definidos, creados e implementados por los seres humanos. Los ingenieros construyen grandes conjuntos de datos, ponen a prueba y parametrizan algoritmos, interpretan los resultados y determinan de qué modo se implementará esto en la sociedad. Los seres humanos, que están presentes en las fases de diseño, alimentación, obtención de resultados e implementación, están profundamente integrados con la IA. Por lo tanto, podemos llamarlo un fenómeno "socio-técnico". Equipadas con teléfonos y dispositivos cada vez más inteligentes, miles de millones de personas utilizan IA, la informan y se ven afectadas por esta a diario en todo el mundo. Nuestras vidas digitales alimentan el desarrollo de la IA, ya que estamos constantemente proporcionándole datos digitales de alta resolución –en la forma de actividad en las redes sociales, transacciones y comportamientos–. La IA está anidada en la revolución digital, que incluye el surgimiento de las redes sociales, las plataformas digitales y la economía digital, la internet de las cosas (IoT) y la tecnología de nube, todos en sí mismos sistemas socio-técnicos que dependen tanto de los humanos como de la tecnología, y de la interacción entre ambos.

A diferencia del sueño de los años 1950, reflejado en el cine, de una inteligencia artificial que replicaba el sentido común, la conciencia o las emociones, la IA actualmente complementa, pero no reproduce de manera precisa, la inteligencia humana tal como la conocemos. Los sistemas de IA tienen en cuenta más información y toman decisiones más rápidamente, libres de emociones y, muchas veces, con mayor precisión que los humanos al desarrollar procesos de toma de decisiones en paralelo y generalmente más amplios que los que realizan las personas.

Para establecer una definición práctica, podemos por lo tanto definir la IA como sistemas socio-técnicos de aprendizaje automático centrados en algoritmos, alimentados por macrodatos y potenciados por supercómputos. Esta definición sirve como una lente apropiada a través de la cual evaluar la dinámica implícita en el surgimiento de la IA y cómo gobernar este fenómeno mundial.

AUGE DE DINÁMICA COMPLEJA

La competencia entre las empresas de todo el mundo y los Estados nación en una carrera global para desarrollar IA puede acelerar los procesos de innovación a expensas de las normas éticas y los estándares de seguridad. Las divergencias entre los regímenes de protección al consumidor y los marcos regulatorios pueden llevar a desequilibrios destructivos entre los países con mayor propensión al riesgo en pos del crecimiento, el desarrollo y la innovación, y aquellos que procuran proteger a sus ciudadanos de posibles abusos. Por lo tanto, para equilibrar estas dinámicas complejas de modo de subir la vara y evitar esta carrera hacia el abismo en términos de impacto social, seguridad y ética, es necesario contar con procesos de gobernanza y coordinación mundial.

Gobernar el auge de la IA gira en torno de la complejidad de alcanzar el equilibrio justo entre incentivar y apoyar las innovaciones beneficiosas y mitigar los riesgos a la baja, y minimizar al mismo tiempo los efectos adversos. La innovación beneficiosa en materia de IA incluye los diagnósticos médicos más precisos, la educación personalizada y la asignación eficiente de los recursos naturales. La IA puede implementarse para aumentar la eficiencia y la accesibilidad de los servicios públicos, hacer más seguros los servicios de transporte, lograr diagnósticos médicos más tempranos y precisos y democratizar el acceso a los servicios jurídicos haciéndolos llegar a todos los sectores de la sociedad. Hay un valor crítico implícito en las comunidades inclusivas que la IA podría generar al brindar acceso a dichos servicios. Las considerables ganancias de productividad y el crecimiento económico a partir de la oferta de nuevos productos y de mejores cadenas de valor prometen contrarrestar la carga que representa para la economía global el envejecimiento de la población de los países desarrollados. Por ejemplo, las estimaciones de McKinsey & Company indican que implementar redes neuronales artificiales en una serie de funciones empresariales en 19 industrias generará un valor económico de entre US$ 3,5 billones y US$ 5,8 billones por año (Chui *et al*., 2018).

No obstante, sin normas éticas y estándares de seguridad equilibrados, la IA supone grandes riesgos sociales. Los problemas relacionados con la ciberseguridad, la integridad de los datos y el armamento autónomo letal amenazan nuestra seguridad básica. En el sector de la salud, la privacidad de los datos y la seguridad se pueden resignar en favor de diagnósticos más precisos y tratamientos más personalizados. En el transporte, los vehículos autónomos pueden reducir las fatalidades y las emisiones de carbono, y desplazar al mismo tiempo millones de puestos de trabajo. La recopilación de datos actualizados, precisos y representativos puede verse afectada por el afán de contar con más datos, lo que lleva a algoritmos sesgados o que no son los más adecuados para ciertas poblaciones. Esta es una preocupación muy importante en el sector de la salud, los sistemas judiciales, el acceso al financiamiento y otros sectores que tienen un fuerte impacto sobre la vida de las personas. La ética, la responsabilidad y la armonización de los valores de los sistemas autónomos, o asegurar que, en los nuevos escenarios, las acciones estén alineadas con los objetivos y los valores humanos, son desafíos que aún resta resolver. Este riesgo es crítico, ya que las capacidades de la IA siguen creciendo hacia una inteligencia artificial general (IAG). Controlar y asegurar un sistema con todo un rango de capacidades intelectuales humanas representa un desafío mucho mayor y hay mucho más en juego.

AVANCE TECNOLÓGICO ACELERADO

El ritmo vertiginoso del avance tecnológico dificulta la implementación oportuna de las políticas y regulaciones relevantes. Los desarrollos en el campo de la IA, sumados a los de otras tecnologías emergentes y a la economía digital convergen para crear un escenario de cambio acelerado y rápida aceptación por parte de los consumidores. Los legisladores y los organismos de gobierno muchas veces no pueden seguirle el ritmo a la información para anticipar nuevas tendencias tecnológicas. Ni los responsables de

políticas ni los desarrolladores de tecnologías pueden predecir qué impacto tendrán estos adelantos en la sociedad. Las lagunas de conocimiento en el Gobierno y las brechas comunicacionales entre el Gobierno y el sector tecnológico obstaculizan aún más la formulación de las políticas relevantes.

Asimismo, el avance vertiginoso de la tecnología hace más difícil la planificación y la preparación del público para dichas transformaciones. La gran mayoría de los ciudadanos de todos los países están mal informados acerca de las tecnologías de IA y no conocen cabalmente sus efectos ni sus riesgos potenciales. Los consumidores no son conscientes de las amenazas a la seguridad y a la privacidad de la información ni de los problemas de las noticias falsas y la desinformación. Las políticas para preparar a los trabajadores para la automatización, ya sea a través de la educación y de la capacitación profesional o de políticas de bienestar social, exigen un horizonte temporal de largo plazo para su implementación y para influir en los resultados.

En un mundo interconectado en tiempo real, las consecuencias de los desequilibrios causados por la IA darán lugar a nuevos desafíos. La Revolución Industrial de los siglos XVIII y XIX, la mecanización de la agricultura, el advenimiento de los automóviles, las computadoras y la era de la información del siglo XX, así como el surgimiento de las redes sociales y de la economía digital del siglo XXI afectaron a poblaciones cada vez más numerosas, y la velocidad y el alcance de su impacto fueron cada vez mayores. En la actualidad, la innovación tecnológica y su incorporación a la vida diaria se producen cada vez más rápido. Las nuevas tecnologías, con interfaces que los consumidores pueden utilizar fácilmente, están al alcance de cualquier ciudadano; las poblaciones son cada vez más numerosas y los mercados están interconectados. Dada la velocidad y el alcance de este impacto, gobernar el auge de la IA entraña nuevos problemas y plantea desafíos cada vez mayores.

FÁBRICA DE MONOPOLIOS

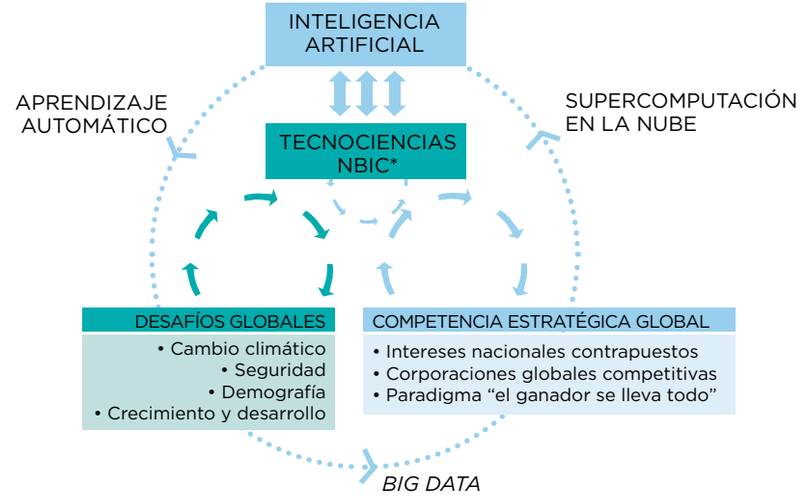
Sin la gobernanza o las políticas apropiadas para asegurar que los mercados sean competitivos, la innovación en el campo de la IA puede dar lugar a dinámicas subóptimas de mercados oligopólicos o monopólicos. Los líderes del mercado están determinados por el acceso a los datos, al poder de cómputo y a talentos altamente calificados para programar algoritmos de aprendizaje automático y, en gran medida, por la propiedad de todo esto. Asimismo, como demostraron Goldfarb y Trefler (2018), el desarrollo de la IA conlleva economías de escala y de alcance. Las empresas digitales más grandes recopilan más datos de los consumidores, contratan a profesionales más talentosos y tienen recursos para construir *hardware* dedicado y de gran envergadura, así como capacidades de supercomputación en la nube. Los algoritmos de aprendizaje automático de algunas aplicaciones son transferibles a otras a través de un procedimiento llamado "aprendizaje por transferencia". Por lo tanto, el dominio del mercado mundial actual por parte de las empresas estadounidenses Google, Amazon, Facebook, Apple y Microsoft (GAFAM) y de las chinas Baidu, Alibaba, Tencent y Xiaomi (BATX) es, hasta cierto punto, una consecuencia natural de los componentes que requiere el desarrollo de IA. Hoy por hoy, la mayor parte del talento en materia de aprendizaje automático, los mayores conjuntos de datos y los negocios informáticos más importantes están concentrados en los nodos de innovación que rodean a estas empresas.

Los mercados oligopólicos y monopólicos perjudican a la sociedad. Al no verse tan limitados por las preferencias de los consumidores como en los mercados competitivos, los actores que dominan el mercado tienen menos incentivos para ofrecer productos o servicios de mayor calidad, más seguros o éticos a precios más bajos. Históricamente, se demostró que los mercados competitivos con numerosos participantes son clave para muchas innovaciones provechosas, que dieron lugar a una mejor calidad de vida, mejores servicios públicos y soluciones para los problemas de sostenibilidad ambiental, entre otros beneficios. No obstante, la necesidad de innovar lo más rápido posible y al menor costo, que impera en el competitivo mercado global contemporáneo de la IA, desincentiva las innovaciones seguras y éticas. Mientras tanto, el desarrollo de la primera IAG puede llevar a un actor único o estado, o actor comercial o grupo de actores que dominen el mundo, o a una máquina superinteligente. Este actor único puede o no incluir las preferencias de los consumidores entre sus objetivos primordiales (Bostrom, 2006).

¿UNA CARRERA HACIA EL ABISMO?

Hay una carrera mundial que se está desatando entre las firmas y los estados en torno de quién desarrolla más rápido nuevas tecnologías de IA, así como IAG. Si bien la competencia acelera la innovación, al no contar con incentivos de mercado o con una coordinación global, esta puede llevar a

GRÁFICO 2
LA CARRERA GLOBAL POR LA IA



* NBIC: Nano, Bio, Informática y Cognitivas.
Fuente: Nicolas Miailhe, The Future Society.

una carrera hacia el abismo en cuanto a las normas éticas y de seguridad y el respeto de valores humanos como la privacidad, la dignidad, la justicia y la transparencia, entre otros.

El auge de la IA dentro del ámbito de la industria digital parece fortalecer la tendencia del mercado a que el ganador se quede con todo, ya que las firmas que ofrecen las tecnologías más avanzadas dominan rápidamente el mercado, gracias a las economías de escala y a los efectos de red. Un ejemplo de esto es el dominio actual del mercado mundial por parte de las empresas líderes en materia de IA, las estadounidenses conocidas como GAFAM, y las BATX, en China. En este contexto, las firmas tienen incentivos para crecer rápidamente, innovar y ofrecer nuevos productos en el mercado. En una carrera por lanzar productos al mercado, las empresas pasan por alto procedimientos de seguridad y comprobación fundamentales. Los recaudos éticos y de seguridad, incluida la realización de todas las pruebas necesarias antes del despliegue, el asegurarse de que los conjuntos de datos sean lo suficientemente amplios y representativos, las precauciones referidas a la seguridad de los datos contra ciberataques o la correcta armonización de valores y el control de los sistemas autónomos, pueden verse socavados u omitirse por completo. Según el profesor Roman Yampolskiy, experto en seguridad de la IA, "tenemos un patrón de preferencia por el rendimiento por encima de la seguridad, y eso es lo que generalmente eligen los mercados".[1]

Por su parte, los actores nacionales son cada vez más conscientes de las cuestiones estratégicas en materia económica, política y militar que están en juego. Después de que lo hiciera Estados Unidos en 2016, China, Francia y la Unión Europea expusieron recientemente sus inversiones de miles de millones de dólares y estrategias concretas para alcanzar la meta de convertirse en líderes mundiales en IA (Ding, 2018; Cerulus, 29 de marzo, 2018; Comisión Europea, 25 de abril, 2018). Hay en juego intereses económicos nacionales, que tienen que ver con el potencial de captar beneficios económicos y financieros producto del lanzamiento de nuevos bienes y de la llegada a nuevos mercados. La IA también tiene un impacto en la política electoral. Durante la última década, las técnicas de aprendizaje automático se utilizaron para direccionar y personalizar la difusión de mensajes políticos a través de las redes sociales, tanto por medio de campañas políticas oficiales como de *bots* extraoficiales, noticias falsas y desinformación.

El potencial estratégico de la IA donde confluyen la defensa, la seguridad y la informática podría llevar a una carrera armamentista de la IA a nivel mundial. La militarización de la IA, incluido el desarrollo de armamento autónomo letal (LAW, por sus siglas en inglés), capaz de seleccionar objetivos humanos y entablar combate con estos sin control por parte de ningún otro ser humano, puede llevar a una transformación radical del poderío militar y a la inestabilidad mundial o regional.

La gran ventaja con la que cuentan los pioneros en la militarización de la IA constituye un desincentivo para que otros actores destinen el tiempo necesario a tomar recaudos o cumplir con las regulaciones y los estándares. Más allá de los Estados, los malos actores, incluidos los delincuentes, los tiranos y los terroristas, podrían hackear esas armas utilizando sistemas automatizados de IA o desarrollar sus propios drones y vehículos armados para atacar a la población. Los responsables de políticas de Estados Unidos y Europa coinciden ampliamente en la necesidad de prohibir el armamento autónomo letal, pero la falta de coordinación a nivel mundial y de capacidad para monitorear y hacer cumplir el desarrollo descentralizado de la IA plantea un desafío enorme.

Los mecanismos para gobernar el desarrollo seguro de la IAG entrañan desafíos similares. Los investigadores del Instituto para el Futuro de la Humanidad de la Universidad de Oxford utilizaron la teoría de los juegos para modelar la carrera global por el desarrollo de la IAG y hallaron que el aumento del número de actores que desarrollan IAG y la enemistad entre ellos incrementan los riesgos de que se produzca una catástrofe relacionada con la IA. "Bajo el supuesto de que la primera IA será muy poderosa y transformadora, cada equipo tiene incentivos para terminar primero –escatimando recaudos de seguridad, si fuera necesario–" (Armstrong, Bostrom y Shulman, 2013).

DESVENTAJAS COMPETITIVAS

En esta carrera por desarrollar IA, las empresas y los países que respetan los procedimientos éticos y de seguridad pueden quedar rezagados. La regulación del desarrollo de IA, como las medidas de seguridad o las referidas a la privacidad de los datos, puede enlentecer el ritmo e incrementar los costos de las innovaciones en IA. Limitar el acceso a los datos digitales de los consumidores priva a los algoritmos de aprendizaje automático de datos de entrenamiento muy valiosos que son necesarios para mejorar su rendimiento. A diferencia de las regulaciones laxas para entrenar y poner a prueba los sistemas autónomos, las certificaciones preventivas para lograr una implementación segura de la IA y para que los datos sean justos y representativos pueden resultar perjudiciales para la innovación.

La propensión al riesgo en ese intercambio que se produce entre regulación e innovación varía entre países, ya que algunos Gobiernos e industrias están más dispuestos a sacrificar la seguridad de los ciudadanos que otros. También existen diferencias culturales entre las sociedades: el 93% de los consumidores chinos están dispuestos a compartir sus datos de ubicación con el fabricante de sus vehículos, comparados con un 65% de los alemanes y un 72% de los estadounidenses (McKinsey & Company, 2016). Por ejemplo, actualmente China tiene una estrategia ambiciosa para liderar el mundo en el desarrollo de la IA antes de 2030 y, para contribuir a este objetivo, les otorga a las empresas de IA acceso a enormes cantidades de datos digitales almacenados de sus ciudadanos (Ding, 2018, 25). Por otra parte, los países que más tienen en cuenta las demandas de los consumidores y de los ciudadanos que prefieren mayores niveles de seguridad y protección de la privacidad, incluidos los Estados europeos, se encuentran más rezagados en cuanto a la innovación en IA.

UN ENFOQUE REALISTA

La revolución de la IA es un fenómeno mundial en el que las oportunidades y los desafíos están íntimamente entrelazados y donde los avances tecnológicos están inmersos en el comercio mundial, las inversiones y las cadenas de valor. En este contexto, desarrollar procesos sostenibles y

legítimos para diseñar, consensuar, desplegar y actualizar regularmente la gobernanza global es clave si se desea controlar el auge de la IA en beneficio de la sociedad. La gobernanza global es necesaria para conformar un escenario competitivo que evite la carrera hacia el abismo que amenaza los valores humanos, la seguridad y la ética, estableciendo, al mismo tiempo, estándares para que las innovaciones en IA resulten beneficiosas. Si se pretende que un sistema eficaz de gobernanza de la IA se mantenga robusto y conserve su relevancia a lo largo del tiempo, tiene que estar basado en las realidades de la gobernanza mundial contemporánea y tener en cuenta el papel central de los Estados nación y de las normas jurídicas. No obstante, también tiene que ser capaz de adaptarse a las dinámicas cambiantes del poder, especialmente, al creciente influjo de actores transnacionales, como las multinacionales digitales, y al auge de la influencia de la legislación no vinculante (los códigos de conducta y de prácticas, las normas técnicas, etcétera).

Asimismo, tiene que estar configurado sobre la base de la convicción de que el surgimiento de las políticas de IA es el resultado de un sistema socio-técnico dinámico y complejo en el que la ciencia, la tecnología y las sociedades ejercen una influencia mutua e, incluso, se "coproducen" entre sí, tanto a nivel mundial como local (Jasanoff, 2004): las nuevas tecnologías y las innovaciones que se introducen en una sociedad la afectan continuamente y redefinen sus valores y sus normas, lo cual, a su vez, tiene un impacto sobre las políticas y la legislación tanto vinculante como no vinculante (o derecho blando y duro). Al mismo tiempo, la evolución de los valores, las normas y la gobernanza les van dando forma de manera constante a los desarrollos tecno-científicos (gráfico 3).

GRÁFICO 3
RETROALIMENTACIÓN EN EL NUEVO ORDEN MUNDIAL

Nota: Las dinámicas de los sistemas socio-técnicos, sus valores y su gobernanza ejercen efectos mutuos y se informan en un bucle de retroalimentación global continua constitutivo de un nuevo orden mundial emergente –aunque todavía fragmentario–.
Fuente: Nicolas Miailhe, The Future Society.

SECTORES INTERESADOS

Otro elemento clave es la capacidad de entender dónde y de qué modo las normas y los principios específicos –el derecho duro y el blando– deberían insertarse en los regímenes de gobernanza existentes (por ejemplo, los que regulan el comercio y las inversiones, el control de las armas, los derechos humanos, el cambio climático, la gobernanza de la internet y los datos) o si, en cambio, es necesario diseñar y desplegar nuevos procesos, regímenes o instituciones y, en tal caso, cuándo hacerlo.

Dados los intereses en juego y los desplazamientos del poder y de las identidades que podrían producirse desde los Estados nación hacia un constructo global transnacional más complejo, controlado por grandes empresas tecnológicas, la participación de diversas partes interesadas –incluidos los Gobiernos, la industria, los académicos, las organizaciones sin fines de lucro, las ONG y la sociedad civil– en la gobernanza de la IA resulta crucial. Un enfoque inclusivo, que tenga en cuenta a las múltiples partes interesadas en el descubrimiento, el debate y la redefinición de los valores y los principios éticos, y en el diseño de acuerdos internacionales, así como en su implementación y monitoreo, genera capacidades y compromiso político. También refuerza la legitimidad y la credibilidad entre el público, un aspecto clave, dada la crisis epistémica que atraviesan muchas sociedades actuales, por la cual los ciudadanos se han vuelto escépticos respecto del conocimiento experto, así como de los incentivos y las limitaciones de los Gobiernos o de la industria. El proceso debería ser profundamente interdisciplinario –más allá de la ciencia, la ingeniería y los negocios– e involucrar activamente a filósofos, artistas, sociólogos, politólogos, escritores y productores cinematográficos. En un mundo cada vez más definido por entretenimientos y medios masivos digitales, estos actores desempeñan un papel fundamental –muchas veces subestimado– en la construcción de la gobernanza, a través su capacidad para forjar los imaginarios colectivos o las narrativas que dan forma a la percepción del público y a los trayectos de evolución tecnológica.

UN IPCC PARA LA IA

En esta coyuntura, lo que parece una necesidad prioritaria es un proceso legítimo para llegar a un consenso entre las partes interesadas respecto de la naturaleza, la dinámica, los impactos y los desafíos relacionados con el auge de la IA. Lo difícil que resulta evaluar el cambio climático y sus causas de manera coordinada mundialmente constituye un ejemplo relevante. Como sucede con la miríada de elementos y factores determinantes que contribuyen al cambio climático, la IA es un fenómeno complejo que penetra y se distribuye en toda la sociedad y la economía. No se la puede atribuir a un conjunto finito de productores, sino que se encuentra ligada a intereses comerciales, relacionados con las inversiones y de política estratégica que atraviesan a todos los Estados. Por consiguiente, un modelo potencialmente relevante es el del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

Bajo los auspicios de las Naciones Unidas, el IPCC constituye un ejemplo ampliamente reconocido de plataforma inclusiva de múltiples partes interesadas para lograr un consenso respecto de la realidad atinente al cambio

climático. Dicho IPCC ha servido como base para diseñar, implementar y hacer cumplir políticas y un sistema de gobernanza global que concluyó con el Acuerdo de París.

El 29 de marzo de este año, al lanzar la estrategia nacional de Francia en materia de IA, el presidente Emmanuel Macron instó a reforzar la coordinación internacional y propuso la creación de "un IPCC para la IA". Un grupo numeroso y profundamente interdisciplinario de científicos y expertos en IA que lleve a cabo evaluaciones regulares basadas en procesos científicos sólidos podría desempeñar un papel fundamental para forjar un consenso mundial sobre los principales desafíos que hay que enfrentar respecto del desarrollo de la IA.

Asimismo, la apertura de la Mesa redonda global sobre IA ejemplifica un primer paso hacia un proceso tendiente a establecer un diálogo internacional con todas las partes interesadas sobre la gobernanza de la IA. Organizada por The Future Society, y con el Gobierno de los Emiratos Árabes Unidos como anfitrión durante la Cumbre Mundial de Gobiernos 2018, en Dubái, dio el puntapié inicial para llevar a cabo conversaciones entre expertos, usuarios, responsables de políticas y científicos de todo el mundo sobre los desafíos, las alternativas políticas y las posibles formas de gobernar el auge de la IA.

COMBINAR DERECHO BLANDO Y DURO

A partir de esta plataforma, un enfoque realista de la gobernanza puede, entonces, basarse en una combinación de derecho blando y duro para elevar el nivel en el desarrollo de una IA que sea segura y ética. Una amalgama de gobernanza blanda y dura combina gobernanza adaptable y flexible con mecanismos de ejecución legalmente vinculantes. En lugar de diseñar regímenes de gobernanza nuevos y que no estén comprobados, un enfoque pragmático es aplicar lo aprendido a partir de otros modelos exitosos de gobernanza de la tecnología. Como punto de partida, las normas técnicas y los códigos de conducta del IEEE y el Reglamento General de Protección de Datos (RGPD) de la UE brindan ejemplos de casos relevantes de gobernanza blanda y dura. Estos, entre otros, pueden orientar el desarrollo de una red mundial de gobernanza de la IA.

La gobernanza blanda, incluidas las normas para la industria y los códigos de ética, ofrece un enfoque muy prometedor para manejar la innovación en el campo de la IA. Dicha gobernanza debe ser flexible y adaptable, dado que las tecnologías y su impacto sobre la sociedad cambian a un ritmo cada vez más acelerado. Las reglamentaciones que son inamovibles muchas veces carecen de la agilidad necesaria para ser reactivas y adaptarse a una tecnología en constante evolución. Además, los valores y las preferencias de los ciudadanos respecto de la tecnología también evolucionan. El IEEE constituye un ejemplo sumamente relevante de normas para la industria destinadas a gobernar los sistemas inteligentes y autónomos para que sean éticos y seguros. Se basa en códigos de conducta y normas éticas para guiar el desarrollo de la tecnología. Las normas éticas pueden ir orientando el desarrollo de la IA desde dentro de la industria en lugar de descansar en regulaciones externas.

En el ínterin, la gobernanza dura, incluida la legislación vinculante, desempeña un papel crucial al nivelar el campo de juego y darle un anclaje al cambio tecnológico dentro de un sistema de valores dado. Un ejemplo relevante es el del RGPD, que crea un régimen legal riguroso aplicable a todas las organizaciones que recopilan, almacenan, procesan y distribuyen datos personales en Europa. Debido a la masa crítica del mercado digital europeo, con sus millones de consumidores, el RGPD puede convertirse en la regla de oro para el mundo entero. Al tener que adaptarse a sus exigentes normas y reglamentaciones para poder ejercer sus actividades empresariales en Europa, las multinacionales digitales pueden aspirar a estandarizar sus procesos operativos globales basándose en dicho régimen.

BENEFICIO SOCIAL AMPLIO

La inteligencia artificial transformará las sociedades rápida y significativamente. El auge de la IA involucra una combinación sin precedentes de muchos intereses en juego, una dinámica destructiva que incluye riesgos sociales muy importantes y una competencia estratégica entre los Estados y las firmas en una carrera global. En este contexto, es necesario contar con una gobernanza mundial que tenga en cuenta a todas las partes interesadas para coordinar el auge de la IA, a fin de elevar el nivel y orientar su desarrollo hacia un beneficio social amplio.

Una plataforma internacional inclusiva que siga el modelo del IPCC puede ayudar a lograr un consenso y sellar un acuerdo sobre los desafíos y los problemas clave que plantea la IA. Posteriormente, una combinación de gobernanza blanda y dura y de políticas que sigan el modelo de casos exitosos, como los del IEEE y el RGPD de Europa, constituyen ejemplos de abordajes pragmáticos y graduales de la gobernanza.

NOTAS

[1] Entrevista con el Dr. Roman V. Yampolskiy. Simulation, 3 de abril de 2018.

BIBLIOGRAFÍA

Armstrong, S., Bostrom, N. y Shulman, C. 2013. "Racing to the Precipice: A Model of Artificial Intelligence Development". FHI Technical Report No. 2013-1. Future of Humanity Institute, Oxford University.

Bostrom, N. 2006. "What is a Singleton?". *Linguistic and Philosophical Investigations*. 5 (2), 48-54.

Cerulus, L. "Macron: France to Invest Nearly ↓1.5B for AI until 2022". Politico. **29 de marzo, 2018**.

Chui, M., Manyika, J., Miremadi, M. *et al.* 2018. "Notes from the AI Frontier Insights from Hundreds of Use Cases". Discussion Paper, abril. McKinsey Global Institute.

Comisión Europea. "Artificial Intelligence: Commission Outlines a European Approach to Boost Investment and Set Ethical Guidelines". Comunicado de prensa, Comisión Europea. Bruselas, Bélgica, **25 de abril, 2018**.

Ding, J. 2018. "Deciphering China's AI Dream: The Context, Components, Capabilities, and Consequences of China's Strategy to Lead the World in AI". Reporte realizado para el Governance of AI Program. Future of Humanity Institute y Universidad de Oxford.

Goldfarb, A. y Trefler, D. 2018. "AI and International Trade". NBER Working Paper No. 24254. Cambridge: NBER.

Jasanoff, S. 2004. "Ordering Knowledge, Ordering Society". En: States of Knowledge: The Co-Production of Science and Social Order". Londres: Routledge.

McKinsey & Company. 2016. "Car Data: Paving the Way to Value-Creating Mobility: Perspectives on a New Automotive Business Model". McKinsey & Company, marzo.

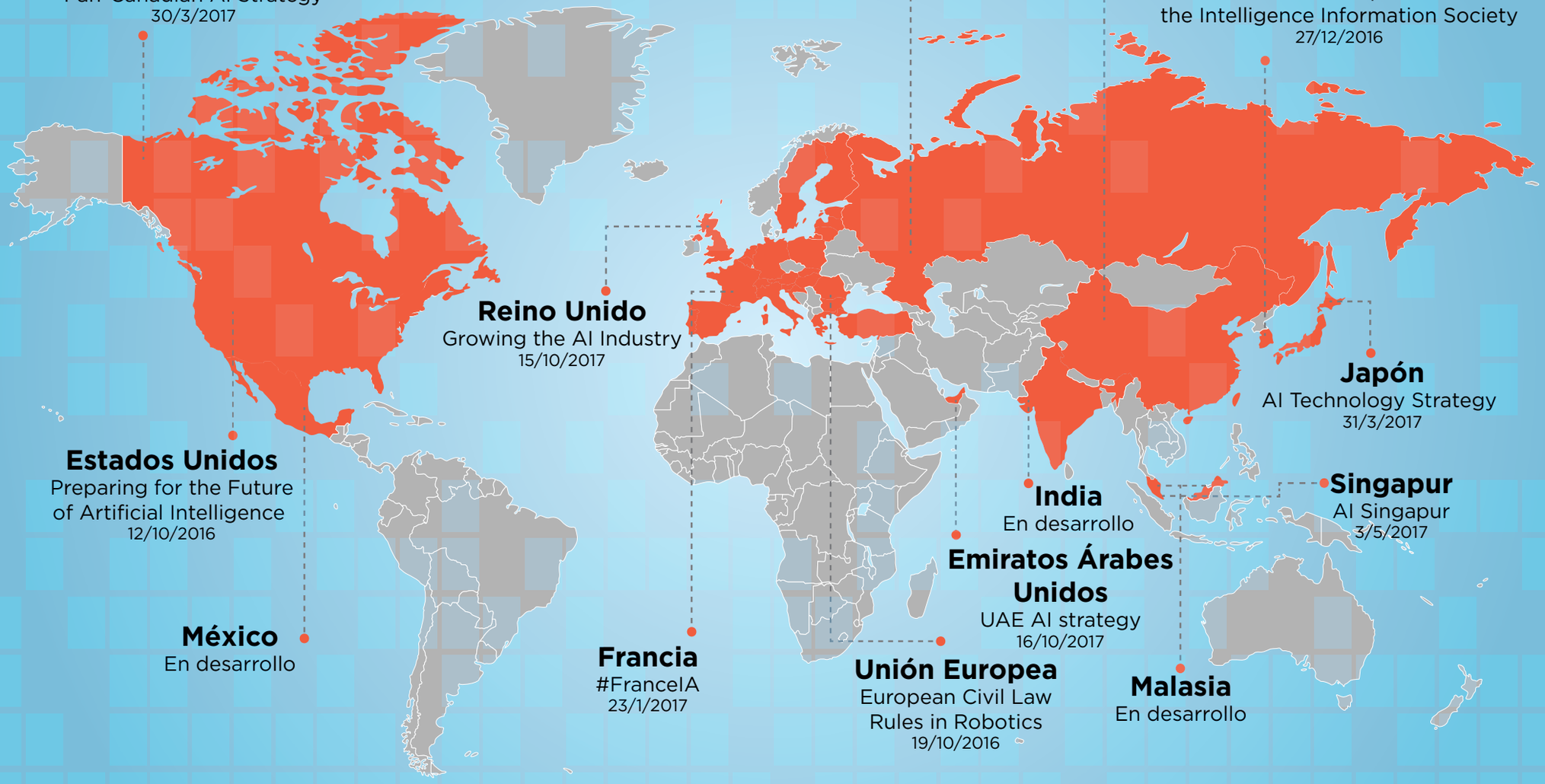
Miailhe, N. 2018. "Competing in the Age of Artificial Intelligence: The State-of-the-Art of AI & Interpretation of Complex Data". *Focus (SCOR Global P&C)*. Marzo: 11-14.

Russell, S. 2016. "Q & A: The Future of Artificial Intelligence". Consultado: 29 de mayo, 2018. http://people.eecs.berkeley.edu/~russell/temp/q-and-a.html.

Samuel, A. L. 1959. "Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers". *IBM Journal*. 3 (3): 210-229.

The Future Society. 2018. "Governing the Rise of Artificial Intelligence". Consultado: 29 de mayo. http://ai-initiative.org/ai-consultation/.

MAPA DE ESTRATEGIAS NACIONALES
Países con planes locales en IA



Canadá
Pan-Canadian AI Strategy
30/3/2017

Rusia
Scientific and Technological Development Strategy
1/12/2016

China
Next Generation AI Development Plan
20/7/2017

Corea del Sur
Master Plan in Preparation for the Intelligence Information Society
27/12/2016

Reino Unido
Growing the AI Industry
15/10/2017

Japón
AI Technology Strategy
31/3/2017

Estados Unidos
Preparing for the Future of Artificial Intelligence
12/10/2016

India
En desarrollo

Singapur
AI Singapur
3/5/2017

Emiratos Árabes Unidos
UAE AI strategy
16/10/2017

México
En desarrollo

Francia
#FranceIA
23/1/2017

Unión Europea
European Civil Law Rules in Robotics
19/10/2016

Malasia
En desarrollo

Los países enfocan sus recursos al desarrollo de IA y sus aplicaciones en áreas que consideran fundamentales para el desarrollo local (India en telecomunicaciones, Japón en economía del cuidado, China en energía, etcétera).

Otros países han dado a conocer reportes sobre los riesgos y oportunidades que presenta la IA sin establecer metas concretas de desarrollo (Estados Unidos y la Unión Europea, entre ellos).

Geoff Mulgan
University College London
y CEO de Nesta

“América Latina debe dejar de regalar sus datos”

COMO CEO DE LA PRESTIGIOSA NATIONAL ENDOWMENT FOR SCIENCE, TECHNOLOGY AND THE ARTS (NESTA) DEL REINO UNIDO, GEOFF MULGAN ES UN REFERENTE GLOBAL EN MATERIA DE NUEVAS TECNOLOGÍAS Y FOMENTO A LA INNOVACIÓN. EN ESTE REPORTAJE, SUGIERE QUE AMÉRICA LATINA DEBE TRABAJAR EN FORMA CONJUNTA EN PROYECTOS DE APLICACIONES DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA) EN SEGURIDAD, SALUD Y EDUCACIÓN, Y BUSCAR EFICIENCIA A PARTIR DE LOS BENEFICIOS DE UNA MAYOR ESCALA. TAMBIÉN RECOMIENDA A LA REGIÓN APROVECHAR LOS DESARROLLOS YA EXISTENTES Y LAS INVERSIONES EN I+D REALIZADAS EN OTRAS LATITUDES PARA RESOLVER PROBLEMAS PROPIOS.

¿Son fundadas las expectativas depositadas en la inteligencia artificial?

Hay mucho entusiasmo respecto de la IA y mucha propaganda con una buena cuota de confusión acerca de lo que realmente puede hacer. Algunas ideas provienen más de las películas de Hollywood que de la realidad. Por lo tanto, es importante encarar cualquier conversación sobre la IA con cierta dosis de escepticismo. A pesar de esto, creo que, a lo largo de los próximos 20 o 30 años, varios tipos de IA cambiarán todo lo que hacen los Gobiernos. Actualmente, ya están transformando ciertos procesos reiterativos cotidianos, como la recaudación de impuestos o el manejo de archivos o de aplicaciones. Los algoritmos predictivos se han venido utilizando desde hace algunos años para predecir, por ejemplo, quién tiene más probabilidades de ingresar a un hospital, qué reclusos van a reincidir o cuáles serán los mejores estudiantes de una clase. El uso de este tipo de IA se va a difundir aún más y sus predicciones de los comportamientos serán cada vez más precisas.

¿Cómo deben adaptarse a estos cambios las políticas públicas?

Hemos visto una rápida transformación de las interfaces entre el Gobierno y los ciudadanos a partir del uso de robots conversacionales o *chatbots* para mantener intercambios y responder preguntas y, de hecho, creo que, en unos pocos años, la principal interacción con el sistema de salud va a ser a través de *chatbots*, más que en la recepción de un hospital o dentro de un consultorio médico. También tiene muchos usos en educación, como en el caso de la personalización de la enseñanza de las matemáticas. E incluso, algún uso en la democracia, para mejorar las consultas públicas y facilitar la comunicación de las diferentes opiniones de los ciudadanos.

¿Cómo puede un gobierno aprovechar el potencial de la IA al máximo?

Sin dudas, la mayoría de los Gobiernos carecen del talento y los conocimientos básicos sobre cómo utilizar esto del modo apropiado. Lo que también falta en todas partes son buenos bancos de prueba. No necesitamos volver a inventar la rueda, la función de estos es más bien poner a prueba y adoptar estas herramientas para contribuir a que sean útiles. Y esta es una carencia bastante importante en todo el mundo, a pesar de que no es difícil de organizar

GEOFF MULGAN OBTUVO SU DOCTORADO EN TELECOMUNICACIONES EN LA UNIVERSIDAD DE WESTMINSTER. A PARTIR DE ALLÍ SE CONVIRTIÓ EN UN REFERENTE DE LA INNOVACIÓN EN EL REINO UNIDO Y PUBLICÓ UNA SERIE DE LIBROS QUE SON CENTRALES EN LA MATERIA. AQUÍ ALGUNOS DE ELLOS:

- *COMMUNICATION AND CONTROL: NETWORKS AND THE NEW ECONOMIES OF COMMUNICATION*. NUEVA YORK: GUILFORD PRESS. 1991.
- *POLITICS IN AN ANTIPOLITICAL AGE*. CAMBRIDGE: POLITY PRESS. 1994.
- *CONNEXITY: HOW TO LIVE IN A CONNECTED WORLD*. BOSTON: HARVARD BUSINESS SCHOOL PRESS. 1997.
- *GOOD AND BAD POWER: THE IDEALS AND BETRAYALS OF GOVERNMENT*. LONDRES: PENGUIN. 2006.
- *THE ART OF PUBLIC STRATEGY: MOBILIZING POWER AND KNOWLEDGE FOR THE COMMON GOOD*. OXFORD: OXFORD UNIVERSITY PRESS. 2009.
- *THE LOCUST AND THE BEE: PREDATORS AND CREATORS IN CAPITALISM'S FUTURE*. PRINCETON: PRINCETON UNIVERSITY PRESS. 2013.

ni tampoco se trata de algo tan costoso, ya sea que pensemos en la planificación del transporte o en el sistema educativo o en la seguridad social. Uno no necesita llevar a cabo investigaciones básicas; empresas como Amazon o Google y países como China ya están invirtiendo enormes cantidades en eso. Pero podemos hacer cosas más sencillas, como adaptar lo que ya está en la nube para resolver problemas cotidianos, y no sé si hay instituciones latinoamericanas que se estén enfocando seriamente a este trabajo.

> EL BID TIENE UN PAPEL CENTRAL PARA IDENTIFICAR ÁREAS CLAVE Y ALINEAR ESFUERZOS

¿Cuáles son los riesgos del uso generalizado de esta tecnología?

Ya podemos ver una enorme cantidad de usos asociados con riesgos, que derivan de los datos subyacentes de la IA, que pueden ser sesgados o distorsionados de distintas maneras. Hay grandes interrogantes respecto de quién debería ser el propietario de los datos, quién debería tener el control de los algoritmos o a quién echarle la culpa si algo sale mal. Por eso, probablemente, el principal desafío en esta materia en relación con los gobiernos sea mejorar las capacidades, convertirse en un usuario informado que no es vulnerable a las promociones exageradas o a las grandes campañas publicitarias, pero que tampoco se va al otro extremo y ve todo a través de una lente negativa. Tenemos que abordar la paradoja de cómo la IA, que proviene de inversiones públicas en las fuerzas armadas y en inteligencia o de las universidades, está todavía tan rezagada a la hora de experimentar para satisfacer sus propias necesidades de modo de mejorar, por ejemplo, los sistemas de seguridad social, los de transporte o el educativo. Esto representa una gran oportunidad para que organizaciones como el BID desempeñen un papel estratégico, identificando las principales áreas de necesidad y aunando esfuerzos para que las inversiones gubernamentales se apliquen a experimentos que pongan a prueba la IA en la práctica.

¿Cree que la automatización ocasionará un desempleo masivo?

Hicimos un estudio muy importante acerca del futuro del trabajo en el Reino Unido y en Estados Unidos. En estos países, las conclusiones tienen más que ver con el detalle de las habilidades que serán necesarias en los puestos de trabajo, y el corolario es que el impacto de la automatización será mucho menor de lo que los medios pregonan actualmente. En parte, porque muchos trabajos combinan elementos que no pueden ser automatizados. De hecho, nuestra conclusión fue que algunos empleos del sector público, como los de los docentes y los de los médicos, se incrementarán en número porque la automatización generará aumentos de productividad en otros sectores de la economía.

> LATINOAMÉRICA TIENE UN ENORME CAPITAL INTELECTUAL PARA USAR EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS LOCALES

¿Cómo será la dinámica en los países en desarrollo?

En esos países no está tan claro. Es probable que cada Gobierno tenga que asegurarse de, al menos, estar acelerando el proceso de reentrenamiento de los trabajadores para que puedan adaptarse a un mercado de trabajo muy impredecible. En algunos países, hemos estado promoviendo, por ejemplo, la enseñanza de adultos, ya que suponemos que, pase lo que pase, las personas necesitarán modificar sus carreras o su trabajo con mayor frecuencia a lo largo de la vida y necesitarán herramientas para transitar este camino, evaluando sus propias capacidades y con algunas capacidades extra que los hagan más resilientes al impacto de la automatización sobre el mercado de trabajo en el futuro. Este es un campo en el que el uso de herramientas de datos e IA puede empoderar a las personas para atravesar con éxito turbulencias. Hay una vía de acción relativamente sencilla para que los Gobiernos y las organizaciones hagan más inteligente el mercado de trabajo y no vean a estas herramientas únicamente a través de la lente del miedo.

¿De qué manera puede América Latina sacar ventaja de esta disrupción?

Yo formo parte del Consejo Directivo de un grupo muy interesante, del que participa el BID, sobre la educación en América Latina llamado SUMMA. Y veo a la educación como un campo propicio para dar un salto en términos de inteligencia colectiva a nivel continental. Todo este proyecto en el futuro podría reunir datos acerca de aquello que está funcionando y aquello que no está funcionando en las escuelas y movilizar a los docentes para que lleven a cabo experimentos de menor nivel relacionados con distintos métodos de enseñanza o con distintas formas de usar la tecnología. También a generar contenidos a medida que los bancos de prueba experimentan con soluciones como la IA para la enseñanza de las matemáticas. Si se lograra organizar estos esfuerzos en una escala mayor, por ejemplo, en toda América Latina, sería más eficaz. Tenemos que pensar, aprender, experi-

mentar juntos, en lugar de pensar que es algo que solo ocurre en las universidades, en los laboratorios o en las oficinas de instituciones aisladas. La integración y la colaboración son la clave.

¿Puede la IA contribuir a resolver los principales problemas de la región?

Tomemos el caso de la violencia ejercida con armas, donde ya tenemos herramientas que pueden predecirla, prever dónde se producirá. También podemos utilizarla para aunar los esfuerzos de las instituciones policiales y de los ciudadanos para encarar ciertos cursos, para reentrenar a las personas que abandonaron la actividad delictiva. Todo esto es posible, pero desde luego que el mismo campo también nos enfrenta a la situación de que, al recurrir a la inteligencia colectiva, habrá personas que tratarán de socavarla y de distorsionar la información y de sesgar algún comportamiento. Por eso es fantástico utilizar estas herramientas para reunir información y datos, pero hay que estar fortaleciendo constantemente el sistema, asegurarnos que sigue inmune a los enemigos de la inteligencia colectiva, que tratarán de desarticular el buen trabajo llevado a cabo por la sociedad. Por ejemplo, cuando introdujimos los datos abiertos para las actividades policiales aquí en el Reino Unido, era bastante obvio que los beneficiarios más directos serían, en principio, los delincuentes, porque podrían ver en qué lugares el control policial era más débil.

> DEBEMOS TOMAR RECAUDOS FRENTE A QUIENES INTENTAN SOCAVAR LA INTELIGENCIA COLECTIVA

¿Cuál es su propuesta para abordar el dilema de la privacidad de datos?

Estamos ingresando en una fase de competencia geopolítica en torno de la IA. Hay enormes inversiones por parte de China, de EE. UU. y, en menor medida, de Europa, que procuran estar a la vanguardia de esta revolución tecnológica. Con respecto a América Latina, la clave está en que se aseguren de no entregar sus datos libremente para alimentar una tecnología controlada por otros. Es decir, ser inteligentes en medio de este entorno. Los datos no son el nuevo petróleo, hay una metáfora engañosa al respecto, pero definitivamente constituyen un recurso enorme y valioso, y la mayor parte de las tecnologías de IA no pueden funcionar sin datos y, hasta ahora, América Latina ha venido regalando sus datos a empresas extranjeras. Tienen que trabajar juntos como región. Si no pueden colaborar en este plano, entonces no van a tener ninguna posibilidad de tomar la delantera en esta era radicalmente disruptiva de la historia. Latinoamérica tiene un enorme capital intelectual. La pregunta es cómo aprovechar este capital intelectual para resolver problemas reales.

¿Cree que el camino de mayor regulación que emprendió la Unión Europea es el adecuado?

La Unión Europea es un mercado muy rico y enorme que está teniendo dificultades con esto, y no van a dejar de luchar por que es obvio que Europa no puede seguir el modelo de los últimos 20 años. Lidiar con este problema no será fácil para ninguna nación. Tampoco resultará sencillo para América Latina, pero ustedes no tendrán ninguna chance si los países actúan de manera separada.

CASO DE ESTUDIO

El experimento Aadhaar en India

Samir Saran y Madhulika Srikumar
Observer Research Foundation

La historia de la tecnología en los países en desarrollo está plagada de fracasos –la falta de acceso a la infraestructura y la escasa capacidad técnica han dado lugar a la resistencia social a lo largo del tiempo–. No obstante, Aadhaar, el audaz experimento indio para volver a empoderar a su pueblo, está a punto de convertirse en la excepción. El proyecto de identificación biométrica nacional, que ha permitido el registro de más de 1.000 millones de personas, les ha proporcionado a los ciudadanos un número de identificación único –a muchos de ellos, por primera vez en su vida–.

Durante décadas, los ciudadanos indios han tenido numerosos problemas para probar su identidad oficialmente. Hasta el año pasado, apenas el 5,5% de la población tenía pasaporte y, si bien otras formas de identificación, como la tarjeta PAN (número de cuenta permanente) o la identificación del votante, se utilizaban también ampliamente, estas eran fácilmente duplicables. En la India, la ciudadanía suele considerarse un supuesto más que algo establecido. Este problema no es exclusivo de dicho país. Se estima que, en todo el mundo, hay 1.100 millones de personas sin identificar y, sorprendentemente, hay 2.000 millones de personas que no tienen cuenta bancaria ni acceso a ninguna institución financiera a través ni de su teléfono celular ni de ningún otro dispositivo.

Resulta crucial garantizar la identidad a gran escala. En el núcleo de la cuestión del acceso, se encuentra la imperiosa necesidad de proporcionarles una identidad que sea única, auténtica, confiable y digital. Y más importante aún es que la identidad es necesaria para ejercer una amplia gama de derechos. Aadhaar –que, literalmente, significa base o cimiento– se propone lograr precisamente esto: no solo verificar a los ciudadanos, sino también brindarles una base desde la cual interactuar con el Estado.

A través de la información biométrica –huellas digitales y reconocimiento del iris–, la tarjeta Aadhaar puede verificar y autenticar a una persona y, de ese modo, permitir la provisión de servicios de bienestar social de una manera eficiente y transparente. Este es el proyecto de identificación biométrica más grande del mundo, ya que, según los informes, un 99% de los ciudadanos indios de 18 años o más ya tienen número de Aadhaar. Este extraordinario proyecto de identificación ha creado una infraestructura pública única en su clase que rivaliza con los proveedores de servicios más importantes del mundo, como los FANG de EE. UU. –Facebook, Amazon, Apple, Netflix y Google– y los BAT de China –Baidu, Alibaba y Tencent–. Es la única plataforma digital del mundo que incluye a más de 1.000 millones de personas, pero cuya propiedad no es privada. Más de veinte países han expresado su interés en implementar un sistema de identidad digital similar a la infraestructura Aadhaar. La identidad digital, que es vista cada vez más como una herramienta para aliviar la pobreza y prestar servicios esenciales, puede ser el poder blando que la India podría exportar en este escenario mundial.

La identificación Aadhaar se compone de un número de 12 dígitos que puede obtener cualquier residente de la India que remita sus datos demográficos y biométricos; el programa está en funcionamiento desde 2009. La Autoridad Única de Identificación de la India (UIDAI), un órgano creado por ley bajo la órbita del Ministerio de Electrónica y Tecnología de la Información (MeitY), es la responsable de emitir los números de identificación y de recopilar los datos. Este programa nacional de identificación única, no obstante, recién recibió apoyo legislativo en 2016, cuando se aprobó la Ley Aadhaar (Distribución selectiva de subsidios, beneficios y servicios financieros y otros), aprobada ese año por la Cámara Baja o Lok Sabha.

Si bien la identidad única es un elemento facilitador muy poderoso, que introduce a todos los ciudadanos en la economía formal, Aadhaar también puede dejar gente fuera del sistema, como los ancianos y las personas con discapacidades que tuvieron problemas para registrarse y obtener un número de Aadhaar debido a que sus huellas digitales eran ilegibles.

Como sucede con la introducción de cualquier tecnología nueva, los individuos y los procesos constituyen una parte fundamental de la cadena de valor para proteger a los usuarios y sus datos. Aadhaar está atravesando un período inicial, durante el cual hubo instancias de accesos no autorizados que llevaron al almacenamiento y la difusión ilegal de datos de los ciudadanos. La Corte Suprema de la India actualmente está definiendo la constitucionalidad del programa. También se está redactando la primera ley de protección de la información de la India, después de una serie de consultas públicas. Algunas de las mentes más brillantes del país, tanto del sector empresario como del Gobierno, explorarán de qué modo se pueden utilizar datos anónimos para el bien común, utilizando aplicaciones de aprendizaje automático y por medio de la función que cumple la IA para asegurar la plataforma Aadhaar.

La identidad digital Aadhaar sirve como domicilio financiero único, que permite transferir los beneficios directamente a las cuentas de los beneficiarios a través de una autenticación en tiempo real. El sistema de pagos Aadhaar (AEPS) de la India es único en el mundo. Este servicio permite que las personas realicen transacciones de manera fluida y transparente, simplemente utilizando su número de Aadhaar.

El Gobierno indio está promoviendo la inclusión financiera conectando las Jan Dhan o cuentas bancarias re-

cientemente abiertas con la plataforma Aadhaar y con los números de teléfono celular (la llamada "trinidad JAM"), a fin de crear un espacio económico y financiero digital común. La infraestructura de pagos digitales de Aadhaar ha sido fundamental para permitirle al Estado transferir los beneficios a los ciudadanos: los informes indican que, en la actualidad, 900 millones de personas están recibiendo fondos a través de estas plataformas. En 2017, dos esquemas de asistencia social diferentes hicieron cada vez más transferencias por medio del sistema de puenteo de pagos Aadhaar (APBS): en mayo de 2017, más del 95% de las transferencias directas de efectivo para los cereales y el 82% de aquellas para el GLP se canalizaron a través del sistema APBS.

De los 600 millones de habitantes de la India que tienen teléfono, 300 millones utilizan teléfonos inteligentes. Debido a la falta de conectividad de última milla, una gran proporción de la población india permanece en las sombras desde el punto de vista financiero. Bancarizar aquello que no está en el sistema representa una tarea logística enorme para el Gobierno, que exige la apertura de numerosas sucursales bancarias físicas. Los responsables de políticas de la India astutamente eludieron esto por medio de la adopción de soluciones tecnológicas contextuales. El Gobierno ha aprovechado la creciente penetración de los teléfonos móviles en las zonas rurales de la India para brindar servicios bancarios y de otro tipo directamente a toda una población que había estado prácticamente aislada durante varias décadas. A través de sus soluciones digitales, Aadhaar ha superado los desafíos de la distancia, los costos y la alfabetización.

El sistema de transferencia directa de los beneficios ha eliminado a los intermediarios a nivel estatal, municipal y barrial, lo cual ha evitado fugas que, según los informes, alcanzaban montos cercanos a los US$ 500 millones hasta fines del año pasado. De este modo, se ha logrado una reducción de los costos totales de las transacciones. La identidad digital ha sido crucial para eliminar las identidades dobles y falsas. Desde su lanzamiento, Jan Dhan permitió la apertura de 300 millones de cuentas bancarias. Los registros indican que la cantidad de cuentas bancarias con balance nulo cayó del 60% en 2015 al 23% en 2017.

Para promover los pagos digitales, el Gobierno está tratando de lograr una transformación de su propio funcionamiento, que consiste en realizar electrónicamente todos los pagos mayores a las 5.000 rupias. Los datos indican que el Gobierno está recibiendo un 95% de su recaudación fiscal (de impuestos a la renta, al consumo y aduaneros) por vía electrónica. Asimismo, actualmente está tomando medidas para percibir todos los ingresos no arancelarios a través de pagos digitales.

El Gobierno ha estado tratando de promover los pagos digitales. Para ello, absorbió los costos de transacción de los intermediarios por medio de sus propias tecnologías a fin de incentivar a los receptores, a los bancos y a los usuarios otorgándoles reembolsos. Se creó una alícuota diferencial del impuesto a los ingresos –que redujo del 8% al 6%– para las pequeñas empresas que están atravesando la transición de los pagos en efectivo a los digitales.

Las billeteras virtuales constituyen el medio de pago más importante de la India –al margen de las tarjetas plásticas– y, hasta el año pasado, habían crecido un 300% desde la desmonetización. También se indicó que los pagos a través de UPI, USSD y AEPS crecieron más de 1.000%.

Al proporcionar servicios de autenticación, la base de datos Aadhaar también ha impulsado la creación de un ecosistema de aplicaciones para satisfacer las necesidades diarias de la población llamado IndiaStack. El conjunto de API IndiaStack les brinda una herramienta a las organizaciones para prestar servicios sin necesidad de efectivo, papeles, ni presencia física. Cualquier persona puede ahora suscribirse a un servicio utilizando simplemente su teléfono móvil con el servicio eKYC basado en Aadhaar, así como almacenar y verificar documentos en línea a través de DigiLocker y pagar servicios por medio de la interfaz de pagos unificados (UPI) –la infraestructura pública de pagos digitales interoperativa de la India–. Además de ir generando diversas capas para proporcionar estos servicios de manera transparente, IndiaStack también incorporó los derechos individuales por medio de un nivel que requiere el consentimiento, que permite que los usuarios controlen su información y el modo en que esta se comparte.

El ecosistema Aadhaar constituye una capa sobre la cual las empresas privadas pueden seguir construyendo. Los bancos privados de la India han adoptado el marco Aadhaar para verificar la identidad de los clientes que desean abrir una cuenta. La integración del WhatsApp con la interfaz de pagos unificados del Gobierno también es emblemática: representa la convergencia de una de las joyas de la corona del Silicon Valley con una arquitectura creada en el ámbito local.

Una de las ventajas más significativas del programa Aadhaar ha sido el bajo costo de ingreso al sistema, ya que se estima que otorgarle a cada individuo una identidad única e incorporarlo al seno de la economía formal cuesta cerca de US$ 1,2. No obstante, el verdadero costo reside en las inversiones a largo plazo que se han realizado en las instituciones públicas para salvaguardar los derechos individuales.

2 PUNTOS

MENOS ES LA ALÍCUOTA DIFERENCIADA DE IMPUESTO PARA PYMES DIGITALES

Además de impulsar la transición de la India a la economía digital, este programa también allanó el camino para una gobernanza participativa. La iniciativa del mercado electrónico del Gobierno o GEM facilita las compras públicas en línea de los bienes y servicios esenciales para los departamentos gubernamentales y promueve, de ese modo, la actividad empresarial. Cualquiera que tenga un teléfono puede acceder directamente a los departamentos gubernamentales y licitar proyectos con total transparencia –autenticados y verificados por la base de datos Aadhaar–. Esta gobernanza apoyada en la tecnología también permeó en otros servicios del Gobierno. A través del portal mygov.in, los programas gubernamentales se someten a consultas de opinión pública, en las que los ciudadanos pueden votar por distintas alternativas y aportar sus ideas al diseño de políticas. Actualmente, los ministros suben periódicamente borradores de políticas a esta plataforma para abrir dichas consultas. Esto representa un cambio importante de la India hacia la gobernanza participativa.

La revolución digital abre la oportunidad no solo de transferir las tecnologías, sino también de transferir las instituciones normativas que salvaguardan los derechos y los espacios abiertos. La India y las economías emergentes de América Latina pueden generar innovaciones para los próximos 6.000 millones.

El **riesgo moral** en el *aprendizaje automático*

Juan Miguel Lavista
Microsoft

DISCRIMINACIÓN, PREDICCIONES ESPURIAS, SISTEMAS FÁCILES DE ENGAÑAR. LA AUTOMATIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN TRAE CONSIGO NUEVOS DILEMAS ÉTICOS. CÓMO GARANTIZAR QUE LOS ALGORITMOS APRENDAN DEL COMPORTAMIENTO HUMANO SOLO AQUELLAS ACCIONES DIGNAS DE IMITAR.

Corría el verano de 2016 y, mientras la mayoría de los agricultores de la India empezaban a sembrar sus cultivos de maní, un pequeño grupo de 174 productores se quedaron expectantes, a la espera de un mensaje de texto que revolucionaría la industria agrícola.[1]

Durante siglos, los agricultores indios de Andra Pradesh y Karnataka utilizaron un método ancestral para predecir la fecha óptima de siembra de sus cultivos de maní. Según esta técnica, había que sembrar a principios de junio para aprovechar la temporada de los monzones. Pero los cambios producidos recientemente en los patrones climáticos generaron monzones impredecibles que redundaron en malas cosechas.

Chinnavenkateswarlu, un productor rural de la localidad de Bairavanikunta, era uno de esos 174 agricultores que esperaban el mensaje de texto que les diría cuándo sembrar.

Finalmente, el 28 de octubre, recibió en su teléfono celular el mensaje que le decía que había llegado el momento justo para iniciar el proceso. Este mensaje era el resultado de la aplicación de IA para determinar el momento de siembra Sowing App, desarrollada de manera conjunta por Microsoft y el Instituto Internacional de Investigaciones sobre Cultivos para los Trópicos Semiáridos (ICRISAT, por sus siglas en inglés). El ICRISAT es una organización apolítica sin fines de lucro que lleva a cabo investigaciones en el campo de la agricultura para su desarrollo en Asia y en el África subsahariana.

Para determinar el período de siembra óptimo, el sistema utiliza modelos de inteligencia artificial (IA)/aprendizaje automático (AA) que se construyen utilizando datos climáticos históricos, entre ellos, las precipitaciones diarias registradas en cada estación y el pronóstico del tiempo para la región.

A Chinnavenkateswarlu le dio resultado utilizar el sistema: su rendimiento por hectárea –al igual que el de los otros 174 agricultores– fue, en promedio, un 30% más alto.

La IA ya no puede ser considerada un nicho, como si formara parte de un futuro lejano. Este ejemplo es apenas uno de los muchos que demuestran el impacto que tiene la IA en el mundo actual. Cada mes, unos 2.000 millones de usuarios alrededor del planeta utilizan motores como Bing, Google o Baidu para realizar más de 180.000 millones de búsquedas. Los resultados de estas consultas los proporcionan los algoritmos de IA. Las publicaciones y las noticias que se les ofrecen a los más de 2.000 millones de usuarios de Facebook del mundo son seleccionadas por algoritmos de IA que se basan en las acciones de los individuos para aprender cuáles son sus intereses.

Desde la logística hasta la medicina, desde las tasas de interés personaliza-

das al solicitar una tarjeta de crédito hasta la traducción automática de Skype –que facilita la comunicación entre usuarios de todo el mundo–, nuestras vidas y decisiones se ven afectadas por los algoritmos de IA.

¿CÓMO LLEGAMOS HASTA AQUÍ?

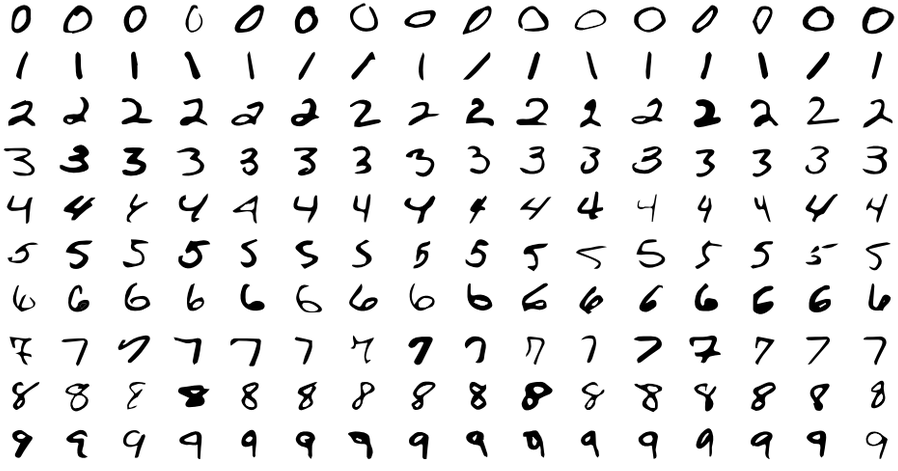
La mayor parte de los que hoy en día son considerados sistemas de IA están basados en algoritmos de AA. En la programación tradicional, los seres humanos traducen su conocimiento a algún lenguaje informático. En cambio, en el AA, hay algoritmos que utilizarán los datos para aprender de ellos y realizar predicciones.

El poder del AA es que, si tenemos los datos y los algoritmos correctos, no solo podemos resolver problemas que hubiesen resultado muy complejos para los humanos utilizando la programación convencional, sino que también podemos ser más eficientes.

En la década de 1990, había muchos programas de reconocimiento de escritura a mano. Estos productos requerían equipos de trabajo muy grandes y meses de desarrollo de *software* (Wikipedia 2017). Hoy en día, utilizando la base de datos MNIST[2] (una enorme base de datos de imágenes digitales de letras manuscritas; ver gráfico 1), un científico de datos puede entrenar una red neuronal convolucional que puede lograr resultados más precisos en menos de 100 líneas de código.

El AA no es un campo nuevo, de hecho, muchos de los algoritmos que usamos actualmente fueron creados entre 20 y 40 años atrás (Wikipedia 2018). Por lo tanto, debemos preguntarnos, ¿por qué ahora? Como mencionamos anteriormente, si bien los algoritmos son necesarios, un componente clave del AA son los datos y la capacidad de procesarlos.

GRÁFICO 1
MUESTRA DE IMÁGENES DEL CONJUNTO DE DATOS DE PRUEBA DE MNIST



Fuente: Josef Steppan.

El crecimiento extraordinario de internet y del universo en línea, sumado a la masificación de los teléfonos inteligentes, generó enormes cantidades de datos, un requisito clave para que los algoritmos puedan "aprender". Asimismo, el costo de almacenar y procesar estos datos se desplomó (ver gráfico 2).

El poder de cómputo y el costo unitario de la capacidad de almacenamiento han venido siguiendo la ley de Moore. Actualmente, una GPU de US$ 3.000 (NVIDIA TITAN V) tiene más poder de cómputo que la supercomputadora de US$ 500 millones construida en 2001 por NEC y llamada "Simulador de la Tierra", que era entonces considerada la computadora más poderosa del mundo (tabla 1). Diez *terabytes* de datos, que equivalen al tamaño de la colección impresa de la Biblioteca del Congreso de los EE. UU. (26 millones de libros), cuestan hoy US$ 180; en el año 2000, hubiesen costado más de US$ 200.000 (tabla 2).

Este fenómeno abrió un importante abanico de oportunidades para utilizar el AA en la resolución de problemas. Actualmente, la principal ventaja competitiva de las empresas que operan en este campo ya no son los programas o los algoritmos; de hecho, la mayor parte de estas utilizan las mismas soluciones de código abierto y los mismos algoritmos para desarrollar IA; el verdadero valor y el factor de diferenciación residen en los datos.

Poder aprender y generalizar a partir de los datos brinda un poder increíble. Día a día, los científicos de todo el mundo encuentran nuevas formas de resolver problemas utilizando datos e IA/AA. No obstante, es importante tener en cuenta que nuestras soluciones serán solo tan buenas como lo sean los datos. Si los datos tienen sesgos o problemas, el resultado de los algoritmos se verá afectado. Presentaremos aquí una serie de enseñanzas aprendidas del pasado y que tenemos que tener en cuenta cuando resolvemos problemas utilizando IA/AA.

LOS NÚMEROS PUEDEN ENGAÑARNOS

En 1991, la Dra. Diane F. Halpern (de la Universidad Estatal de California, San Bernardino) y el Dr. Stanley Coren (de la Universidad de Columbia Británica) publicaron un trabajo cuya conclusión era alarmante. Estos investigadores tomaron una muestra de individuos que habían muerto y les preguntaron a sus familiares si eran zurdos o diestros. El hallazgo fue muy perturbador: los zurdos se morían nueve años antes que los diestros (Coren y Halpern, 1991).

El trabajo fue publicado en el *New England Journal of Medicine*, que es una de las revistas médicas más prestigiosas del mundo. Si las conclusiones eran correctas, esto significaba que ser zurdo era tan malo como fumar 120 cigarrillos por día (Barnes, 7 de septiembre, 2013).

El problema de este estudio fue que los investigadores no tuvieron en cuenta que, durante gran parte de la historia, ser zurdo era percibido como algo malo y los padres forzaban a sus hijos a hacerse diestros. Con el tiempo, los padres dejaron de hacer esto y entonces se generó un incremento artificial de la población zurda. Este incremento artificial explica que se haya generado la ilusión de que las personas zurdas morían más jóvenes.

Desde la perspectiva del AA, el problema es que, si una empresa que vende seguros de vida utiliza el AA y si ser zurdo es uno de los atributos, entonces

el modelo de IA/AA utilizará esta información y predecirá, equivocadamente, que las personas zurdas mueren más jóvenes, lo que potencialmente podría dar lugar a primas más altas para los zurdos.

¿Qué enseñanza nos deja esto? La mayoría de los datos que recopilamos tiene algún sesgo. Es fundamental entenderlo y comprender sus potenciales efectos sobre los modelos de AA.

ALGORITMOS Y DISCRIMINACIÓN

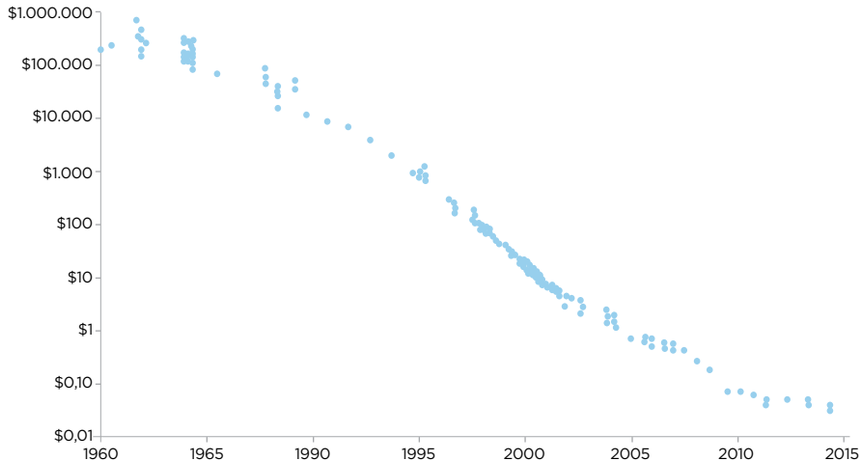
A principios de la década de 1980, los empleados del hospital universitario de St George de Londres, Inglaterra, decidieron utilizar un algoritmo para automatizar la primera etapa del proceso de admisión a la carrera de Medicina. El algoritmo se construyó sobre la base de datos históricos de solicitudes de admisión y tuvo una precisión del 90%-95% respecto de lo que hubiese decidido un panel integrado por seres humanos (Collier y Burke, 1986).

En 1986, se demostró que los algoritmos otorgaban puntajes mucho menores a las mujeres y a aquellos candidatos pertenecientes a las minorías raciales y reducían así sus posibilidades de ser entrevistados. El problema no era que el algoritmo estuviese introduciendo un nuevo sesgo por género o raza, sino que estaba aprendiendo este sesgo de los datos históricos y perpetuándolo (Lowry y Macpherson, 1988).

Como señaló claramente la Dra. Cathy O'Neil (2017), lo bueno de los algoritmos es que podemos interrogarlos fácilmente y detectar estos sesgos. Podemos probar los algoritmos para entender qué efecto tienen el género o la raza sobre el resultado, controlando al mismo tiempo por todos los demás factores, y podemos utilizar esta información para eliminar el sesgo por género/raza.

¿Qué enseñanzas nos deja esto? Los modelos de IA/AA aprenderán de los datos; esto significa que si entrenamos los algoritmos utilizando datos que contienen problemas de discriminación, los algoritmos también aprenderán a discriminar. Es fácil poner a prueba estos algoritmos para saber si están discriminando o no.

GRÁFICO 2
COSTO DEL DISCO RÍGIDO POR *GIGABYTE* (US$)



Fuente: National Human Genome Research Institute.

CORRELACIÓN NO IMPLICA CAUSALIDAD

En Estados Unidos, la esperanza de vida de quienes conducen un Mercedes-Benz es más alta que la de la población en general. Esta correlación no es falaz, puede explicarse por el hecho de que quien tiene un Mercedes también tiene un ingreso promedio significativamente más alto que el de la población en general, y hay una serie de variables de confusión relacionadas con los niveles de ingresos más altos que pueden explicar por qué, en promedio, estas personas viven más tiempo (Dickman, Himmelstein y Woolhandler, 2017).

Desde luego que si quienes no pueden acceder a un Mercedes tratan de comprarlo para aumentar su longevidad, el resultado perverso de esto será el opuesto, ya que exprimirá aún más sus presupuestos ya reducidos. Este ejemplo parece obvio, pero, lamentablemente, la mayoría de la gente no lo entiende así. Hace algunos años, Gallup realizó una encuesta en la que formulaba una pregunta muy directa: "¿Cree usted que la correlación implica causalidad?". Curiosamente, el 64% de los estadounidenses respondió que sí (Sobel y Shiraev, 2016).

El problema de confundir la correlación con la causalidad está tan extendido que, casi todos los días, encontramos artículos publicados en fuentes respetables que claramente mezclan estos dos conceptos. Unos meses atrás, la *Revista de la Asociación Médica Estadounidense* (*Journal of the Amercian Medical Association*, JAMA) publicó un artículo titulado "Inequalities in life expectancy among US counties, 1980 to 2014" (Las desigualdades en la expectativa de vida entre los condados de los Estados Unidos, 1980-2014) (Dwyer-Lindgren *et al*., 2017). Este trabajo tuvo una gran repercusión en la prensa y, cuando el *Miami Herald* publicó la nota que llevaba por título "¿Quiere vivir más de los 80,9 años de expectativa de vida que tiene en Miami? Múdese a Colorado" (Robertson, 17 de mayo, 2017), claramente estaba confundiendo correlación con causalidad.

¿Qué enseñanzas nos deja esto? Tenemos que recordar que correlación no implica causalidad. Los modelos de predicción no requieren que los datos

TABLA 1
COMPARACIÓN DE GPU Y SUPERCOMPUTADORA POR PODER DE CÓMPUTO Y COSTO

	NVIDIA TITAN V	SIMULADOR DE LA TIERRA NEC
RENDIMIENTO	110 TERAFLOPS	41 TERAFLOPS
PRECIO	US$ 2.999	US$ 530.000.000
AÑO DE FABRICACIÓN	2017	2001

Fuente: Elaboración propia.

estén basados en relaciones causales. Cuando presentamos los resultados del modelo, es fundamental dejar esto en claro, ya que gran parte de la población puede tratarlos como si fueran causales.

OBJETIVOS Y MEDIDAS

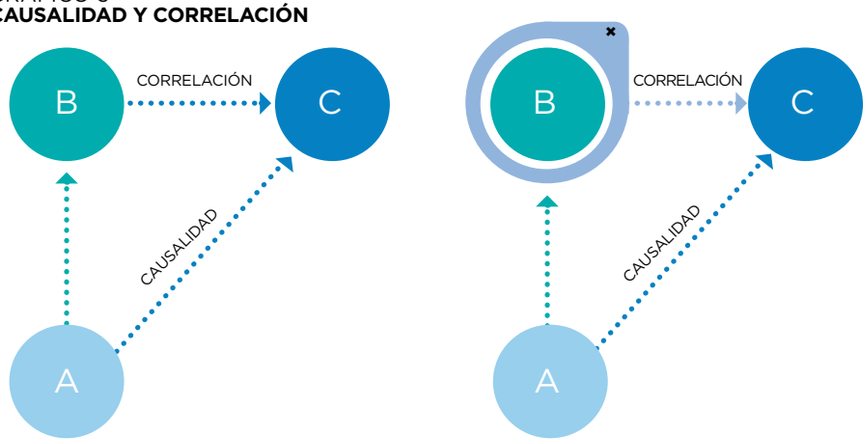
En los años 1800, el Gobierno colonial británico de la India estaba preocupado por la gran cantidad de personas mordidas por cobras en Deli (Dubner, 11 de octubre, 2012). En consecuencia, para hacer frente a este problema, tomaron la decisión política de ofrecer una recompensa por cada cobra muerta. Esta política dio muy buenos frutos durante los primeros meses: aumentó la matanza de cobras y, por ende, disminuyó la cantidad de cobras en la calle.

Sin embargo, a poco de la introducción de esta medida, empezó a suceder algo muy extraño. La cantidad de cobras muertas siguió en aumento, pero, por primera vez, también se incrementó la cantidad de personas mordidas por cobras. Matar cobras se había convertido en un negocio; entonces, hubo quienes empezaron a criar cobras para ganar dinero. La política pública no solo había fracasado, sino que, incluso, había exacerbado el problema que pretendía resolver.

En los años 1970, Charles Goodhart, exasesor del Banco de Inglaterra y profesor emérito de la Escuela de Economía de Londres, describió precisamente este problema: "Cuando una medida se convierte en objetivo, deja de ser una buena medida" (Strathern, 1997).

Los modelos de AA requieren que el conjunto de señales/características contenga información con poder predictivo. No obstante, la relación entre estas señales/características y el resultado no necesariamente tiene que ser causal. Esto significa que la característica puede ser indicativa/estar correlacionada con lo que tratamos de predecir aunque no sea necesariamente la causa.

GRÁFICO 3
CAUSALIDAD Y CORRELACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

Por ejemplo, supongamos que tenemos que predecir [C], pero la única característica que podemos medir es [B], y [B] no afecta a [C]. La causa real que afecta a [C] es [A], pero no podemos medir [A]. Por otra parte, [A] también afecta a [B], de modo que podemos usar [B] como forma de predecir [C] (ver gráfico 3).

Supongamos que estimamos este modelo y nos da muy buenas predicciones de [C]. Sin embargo, cuando luego difundimos el modelo entre el público que se beneficia con dicha información, este empieza a procurar cambios en [B] directamente. En este punto, la información que [B] le está proporcionando al modelo ya no está asociada solamente con [A], de modo que pierde capacidad para predecir [C].

Por ejemplo, PageRank ofrece una forma de ordenar sitios web por importancia según qué otros sitios web contienen vínculos a este sitio en particular (Page *et al*., 1999). La base de este modelo es que, si un documento es importante o relevante, otros sitios web harán referencia a dicho documento e incluirán vínculos que remitan a él; cuando esos vínculos se dan naturalmente, el *ranking* funciona. No obstante, una vez que esta relación pasa al dominio público, hay incentivos claros para burlar el sistema (como en el caso de las cobras de Deli). Los usuarios pueden tratar de manipular el sistema, por ejemplo, pagándoles a otros usuarios para que vinculen sus sitios a fin de mejorar su posicionamiento en los buscadores. En realidad, si incrementamos los vínculos a un sitio web de manera artificial, esto no hará que el sitio se vuelva más relevante.

Otro ejemplo son las calificaciones crediticias. El objetivo del diseño de la calificación crediticia FICO es predecir la probabilidad de que un consumidor se atrase 90 días (o más) en sus pagos durante los 24 meses siguientes al momento de calcular el puntaje. Las calificaciones crediticias son otro plano en el cual revelar las reglas termina dañando al propio modelo. Por ejemplo, myFICO (2018) señala: "Las investigaciones demuestran que abrir varias cuentas de crédito en un lapso breve representa un riesgo mayor, especialmente en el caso de las personas que no tienen una larga historia crediticia". Los estudios de este tipo muestran correlación, pero no causalidad. Estos hallazgos pueden ayudar a predecir el riesgo crediticio; no obstante, al revelar las reglas, la agencia crediticia corre el riesgo de que los usuarios aprendan a burlar el sistema y, de ese modo, dañen sus predicciones de riesgo.

¿Qué enseñanza nos deja esta situación? Si la relación entre la característi-

TABLA 2
COSTO DE ALMACENAMIENTO DE LIBROS DE LA BIBLIOTECA DEL CONGRESO DE LOS EE. UU.

AÑO	COSTO
2001	US$ 200.000
2017	US$ 180

Fuente: Lyman y Varian (2000).

ca y el resultado no es causal, especialmente si la señal/característica es fácil de cambiar –por ejemplo, comprando vínculos como en el ejemplo anterior– y si hay razones para que las personas se sientan incentivadas a afectar el resultado, entonces podemos estar ante el riesgo de que los usuarios burlen el sistema. Es importante entender y evaluar los riesgos, así como monitorear periódicamente los sistemas.

APRENDIZAJE ÉTICO

Los fenómenos de IA/AA ya están mejorando nuestras vidas en la actualidad y en el futuro cambiarán el mundo de maneras que hoy nos resultan inimaginables. El poder de la IA reside en los datos, y esperamos que los costos de almacenamiento y de poder de cómputo sigan la misma tendencia descendente, y que esto traiga aparejadas aún más oportunidades para resolver problemas utilizando datos.

Al mismo tiempo, resulta fundamental entender que el aprendizaje a partir de los datos entraña riesgos que deben ser tenidos en cuenta. Si estamos aprendiendo del comportamiento humano, tenemos que ser conscientes de que los modelos de IA/AA pueden aprender lo bueno y lo malo, incluida la capacidad de discriminar. Al mismo tiempo, los modelos de IA/AA tienen que, en primer lugar, tener la capacidad de mostrar que hay discriminación y, en segundo lugar, poder ofrecer una forma de resolverla.

NOTAS

[1] Sobre el tema, ver Microsoft (s/f).

[2] LeCun, Y., Cortes, C. y Burges, C. J. C. *The MNIST Database*.

BIBLIOGRAFÍA

Barnes, H. "Do Left-Handed People Really Die Young?". BBC News. **7 de septiembre, 2013**.

Collier, J. y Burke, A. 1986. "Racial and Sexual Discrimination in the Selection of Students for London Medical Schools". *Medical Education*. 20 (2): 86-90.

Coren, S. y Halpern, D. F. 1991. "Left-Handedness: A Marker for Decreased Survival Fitness". *Psychological Bulletin*. 109 (1): 90-106.

Dickman, S., Himmelstein, D. U. y Woolhandler, S. 2017. "Inequality and the Health-Care System in the USA". *The Lancet*. 389 (10077): 1431-1441.

Dubner, S. J. "The Cobra Effect: A New Freakonomics Radio Podcast". Freakonomics. **11 de octubre, 2012**.

Dwyer-Lindgren, L., Bertozzi-Villa, A., Stubbs, R. W. *et al*. 2017. "Inequalities in Life Expectancy Among US Counties, 1980 to 2014. Temporal Trends and Key Drivers". *JAMA Internal Medicine*. 177 (7): 1003-1011.

Lowry, S. y Macpherson, G. 1988. "A Blot on the Profession". *British Medical Journal*. 296 (6623): 657-658.

Lyman P. y Varian H. R. 2000. *How Much Information?*. Oakland: Regents of the University of California.

Microsoft. s/f. "Digital Agriculture: Farmers in India Are Using AI to Increase Crop Yields". Microsoft News Center India.

MyFICO. 2018. "What's in my FICO Scores". Consultado: 19 de marzo. https://www.myfico.com/credit-education/whats-in-your-credit-score/.

O'Neil, C. 2017. "The Era of Blind Faith in Big Data Must End". Charla TED. Abril.

Page, L., Brin, S., Motwani, R. *et* al. 1999. T*he PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web.* Informe técnico. Stanford InfoLab.

Robertson, L. "Want to Live Longer than the 80.9 Years of Your Life Expectancy in Miami? Move to Colorado". Miami Herald. **17 de mayo, 2017**.

Sobel, R. y Shiraev, E. B. 2016. *People and Their Opinions: Thinking Critically About Public Opinions*. Nueva York: Routledge.

Strathern, M. 1997. "'Improving ratings': audit in the British University system". *European Review*. 5 (3): 305-321.

Wikipedia. 2017. "Handwriting Recognition". Última modificación: 30 de noviembre. https://en.wikipedia.org/wiki/Handwriting_recognition

—. 2018. "Timeline of Machine Learning". Última modificación: 17 de febrero. https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_machine_learning

LA TECNO-INTEGRACIÓN DE AMÉRICA LATINA

INSTITUCIONES, COMERCIO EXPONENCIAL Y EQUIDAD EN LA ERA DE LOS ALGORITMOS

BID Banco Interamericano de Desarrollo

INTAL

LATINOBARÓMETRO

Descargala en www.iadb.org/intal

CASO DE ESTUDIO

IA-Procurement

Criterios para compras públicas

Doaa Abu Elyounes
Universidad de Harvard

Cada vez existe más consenso en Europa respecto de que el Gobierno puede utilizar las compras públicas para potenciar la inteligencia artificial (IA). En el Reino Unido, por ejemplo, el Comité Especial de la Cámara de los Lores sobre IA publicó un informe en el que insta al Gobierno británico a invertir en IA para impulsar la economía, ayudar a resolver problemas sociales y ahorrar recursos asignados a bienes y servicios en los ámbitos gubernamentales.

Entre otros beneficios, el informe estima que el uso de agentes virtuales basados en IA en el ámbito gubernamental puede implicar ahorros de hasta 4.000 millones de libras por año. Asimismo, el uso de la IA podría transformar el modo de funcionamiento de muchos organismos estatales y permitirles tomar decisiones más informadas en materia de políticas públicas. Sin embargo, reconoce también el hecho de que las empresas grandes que desarrollan y utilizan vastas cantidades de datos suponen riesgos que el Gobierno debería controlar y, quizás, regular. Por lo tanto, cualquier compra de herramientas de IA por parte del Gobierno tiene que apoyar el uso de la IA para el bien social y, en particular, prohibir la utilización de tecnologías poco transparentes.

Una iniciativa interesante del Gobierno del Reino Unido es la creación de una nueva unidad en el ámbito del sector público llamada "The GovTech Catalyst" (el catalizador de las tecnologías del Gobierno). Esta unidad les proporcionaría a las empresas un punto de acceso directo al Gobierno y apoyará a los organismos públicos en la compra de productos innovadores.

Otra forma de invertir en IA es a través de la asignación de fondos gubernamentales para apoyar las investigaciones relacionadas con esta tecnología, que incluya las investigaciones en el campo de las ciencias sociales que evalúan no solo las innovaciones técnicas en sí mismas, sino también el impacto social del producto esperado. Una etapa de complejidad en este contexto surge cuando las empresas privadas que el Gobierno contrata incluyen acuerdos de confidencialidad que impiden el acceso al código patentado. Las empresas justifican este pedido alegando que es necesario contar con leyes de propiedad intelectual, en general, y secretos industriales, en particular, para proteger el código de los competidores y de presuntos delincuentes que podrían modificar su funcionamiento y burlar la tecnología. Es entonces clave desarrollar un marco regulatorio que brinde transparencia a este intercambio de información.

Otro ejemplo interesante se describe en un estudio llevado a cabo por investigadores de la University College de Londres, quienes desarrollaron un algoritmo de aprendizaje automático que puede predecir el resultado de las causas tramitadas ante el Tribunal Europeo de Derechos Humanos (Wakefield, 23 de octubre, 2016). Los investigadores analizaron cientos de casos juzgados por este tribunal e identificaron los patrones subyacentes en dichas decisiones judiciales (Aletras *et al*., 2016). El algoritmo analizó los casos y buscó patrones que puedan ayudar a realizar la clasificación final entre violación y no violación de un artículo particular de la Convención Europea de Derechos Humanos. El modelo pudo predecir con un 79% de exactitud el resultado de los casos.

Tanto en Estados Unidos como en Europa, muchos departamentos policiales de ciudades grandes ya están utilizando cámaras corporales o planean adoptarlas en el futuro cercano. Los contratos que firman los organismos gubernamentales con las empresas que desarrollan las herramientas pueden asegurar la incorporación dentro del producto de ciertos valores básicos que son importantes para el Gobierno. Estos valores pueden incluir la privacidad, la seguridad, la rendición de cuentas y la transparencia.

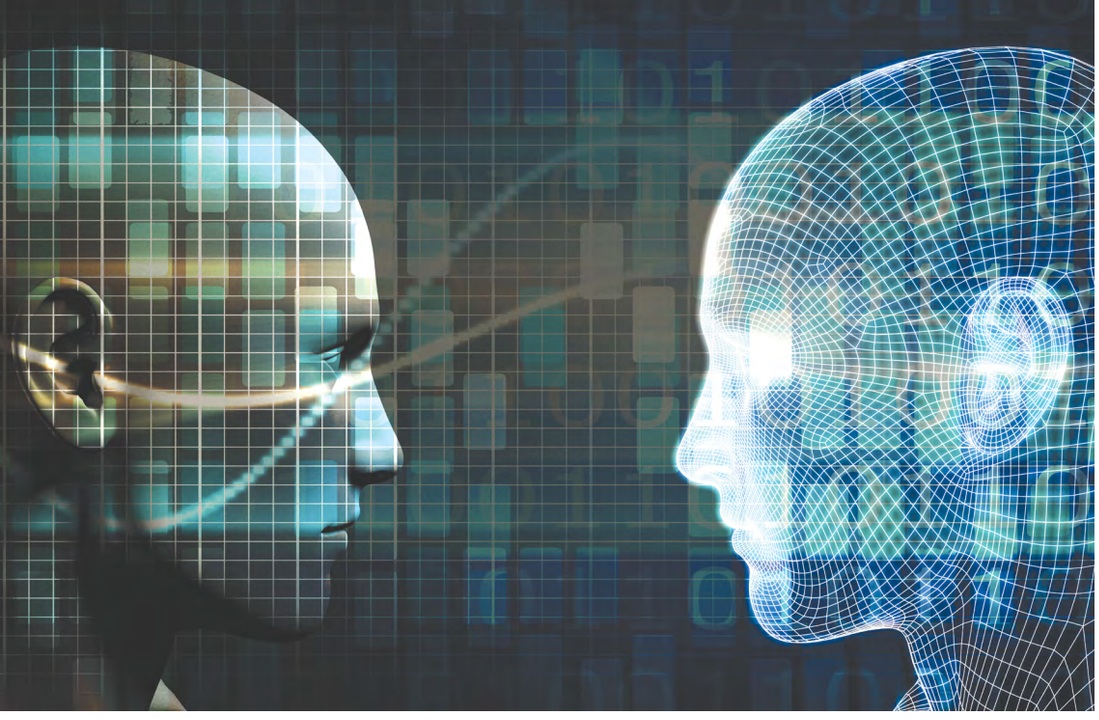
Los responsables de políticas tienen a su disposición cada vez más ofertas de algoritmos avanzados. La decisión de favorecer un grupo de factores por sobre el otro es una decisión política y afectará los resultados que arrojará el algoritmo. En el aprendizaje automático, una mayor cantidad de datos suele implicar una mejor predicción. Cuando se recopilan datos de todos los factores de riesgo posibles, los análisis estadísticos pueden revelar cuál es la combinación de factores que, evaluados en conjunto, son los predictores más exactos.

Desarrollar cualquier algoritmo basado en IA no solo requiere profesionales de la estadística con los conocimientos y la experiencia adecuados, sino también contar con acceso a una base de datos de alta calidad. No obstante, no hay ningún protocolo acerca de la recopilación y el mantenimiento de datos de alta calidad, y este es uno de los principales obstáculos. Dado que los algoritmos están basados en entrenamiento y validación, la calidad de los datos se reflejará en la calidad de los resultados. Otro riesgo es que los datos de entrenamiento que se utilicen sean discriminatorios, en cuyo caso, los resultados también lo serán, y el algoritmo que supuestamente era neutral reforzará los sesgos en nombre de la ciencia.

Quienes se oponen al uso de las herramientas algorítmicas alegan que es una herramienta de caja negra que produce un resultado que puede entrar en conflicto con estos requisitos de transparencia. Pero los algoritmos asisten a quienes toman las decisiones, no los reemplazan por completo. En cualquier caso, el objetivo de la transparencia quedará más próximo si los organismos gubernamentales hacen valer sus preferencias durante las negociaciones con las entidades privadas proveedoras de servicios de IA.

BIBLIOGRAFÍA

Aletras, N., Tsarapatsanis, D., Preotiuc-Pietro, D. *et al*. 2016. "Predicting Judicial Decisions of the European Court of Human Rights: A Natural Language Processing Perspective". *PeerJ Computer Science* 2:e93.
Wakefield, J. "AI Predicts Outcome of Human Rights Cases". BBC News. **23 de octubre, 2016.**



Estados **eficientes**

La **productividad** del **sector público** bajo la lupa

Juan Gustavo Corvalán
Universidad de Buenos Aires

EL MODELO DE GOBIERNO INTEGRADO Y UNIFICADO PERMITE MEJORAR LA EFICIENCIA DEL SECTOR PÚBLICO A PARTIR DE APLICACIONES DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y REDUCIR ASÍ LOS COSTOS DE TRANSACCIÓN BUROCRÁTICOS. LA IMPORTANCIA DE LA OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS ESTATALES ESTÁ EN LÍNEA CON LAS RECOMENDACIONES DE LA OCDE. EL CASO DEL SECTOR JUDICIAL PERMITE COMPROBAR QUE ES POSIBLE REDUCIR EN MÁS DE 75% EL TIEMPO INVERTIDO EN TRÁMITES ADMINISTRATIVOS.

La inteligencia artificial (en adelante, IA) es la tecnología de la información y de la comunicación (en adelante, TIC) más disruptiva de la historia humana. El ser humano, a partir del desarrollo de algoritmos inteligentes, por primera vez es capaz de igualar o superar cada vez más actividades que antes solo podían ser realizadas por nuestros cerebros. Esta innovación, en esencia, se caracteriza por el aumento radical de tres grandes factores interrelacionados: 1) capacidad de almacenamiento; 2) velocidad de procesamiento de los datos e información (*big data*); y 3) desarrollo progresivo de múltiples sistemas de IA que reconocen patrones para resolver problemas y alcanzar objetivos. En otras palabras, los algoritmos inteligentes serán cada vez más determinantes para simplificar los entornos, optimizar las actividades del ser humano y maximizar resultados u obtener otros que, sin IA, serían imposibles de conseguir a partir de nuestras capacidades cognitivas.

En este contexto, la tarea que tenemos por delante es monumental, porque el avance de la IA se da en un escenario de crecimiento exponencial[1] que potencia tres notas características de nuestra era: complejidad, incertidumbre e imprevisibilidad[2]. Diagnosticar enfermedades, realizar mediciones o predicciones económicas, diseñar estrategias para promover políticas públicas, proteger el empleo, prevenir delitos, entre muchísimas otras actividades y objetivos, encuadran en esos fenómenos. A estos escenarios, el premio nobel Daniel Kahneman (2012) los llama "entornos de baja validez".[3]

A través de sistemas de IA se tienden a reducir o a eliminar los juicios distorsionados, inexactos, las interpretaciones ilógicas o irracionales que se verifican cuando los cerebros humanos procesan datos e información. Se trata, en esencia, de gestionar complejidad e incertidumbre, a partir de reducir sesgos cognitivos y optimizar el manejo (reducir tiempos-costos) de los datos-información-patrones que sustentan actividades y decisiones humanas.[4]

Ahora bien, la última parte del siglo XX y la primera década del siglo XXI se caracterizaron por la transición de la identidad impresa hacia la identidad digital, en donde el desarrollo económico, social y cultural resultó atravesado por el uso masivo de las modernas TIC (ordenador, internet, motores de búsqueda, etcétera). Actualmente, estamos en los albores de otra transición que se da en el marco de la Cuarta Revolución Industrial. Vamos hacia un paradigma en donde la IA potenciará la inteligencia humana y dará paso a la inteligencia híbrida. El reconocimiento de patrones, las predicciones de los oráculos artificiales, la mutación radical de las nociones de espacio-tiempo y los principios de optimización y simplificación transformarán las estrategias y políticas públicas que

92%
DE PRECISIÓN
TIENE UN ALGORITMO
QUE PREDICE
CRÍMENES

se habían diseñado para un mundo sin sistemas de IA. Por eso hay que repensar el desarrollo económico y sostenible en clave de inteligencia híbrida.

DESARROLLO SOSTENIBLE

Desde hace varios años, la ONU[5], la OEA[6], la OCDE[7] y otros organismos internacionales resaltan que las TIC son un instrumento indispensable frente a la necesidad de brindar nuevas soluciones a los problemas de desarrollo, crecimiento económico, erradicación de la pobreza y desarrollo sustentable en diversos niveles.[8] Sobre esta base, la compatibilidad de las TIC con el desarrollo sostenible presupone abordar cuatro grandes postulados: 1) reducción de la brecha digital; 2) promoción de entornos propicios; 3) el fenómeno vinculado a la preparación tecnológica; y 4) adopción de medidas específicas para conjugar tres nociones clave: inclusión digital, alfabetización digital e innovación inclusiva. Sobre esta base, en los últimos años, muchos Estados han redefinido su enfoque.[9]

Ahora bien, por un lado, todas estas cuestiones pueden ser potenciadas exponencialmente a partir de los sistemas de IA; por otro, también podrían eventualmente redefinirse o transformarse las estrategias que hay detrás de las acciones planteadas para el mundo digital. Aquí es donde podremos mostrar, a partir de organizaciones públicas concretas –Ministerio Público Fiscal de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires/ Corte Interamericana de Derechos Humanos–, cómo es posible cambiar drásticamente la lógica de los procesos y procedimientos estatales basados en sistemas digitales, para dar paso hacia otros que combinen IA con inteligencia humana. Esto, sin dudas, representa un salto cualitativo para optimizar derechos y maximizar las posibilidades de impulsar el desarrollo de los países. En resumen, como bien lo demuestra la CEPAL (2018), la IA también puede utilizarse para el desarrollo económico y social, a partir de los objetivos para el desarrollo sostenible adoptados por la ONU en el año 2015 (Agenda 2030 para el desarrollo sostenible).[10]

EL SECTOR PÚBLICO EN LA ERA DIGITAL

Con el uso generalizado y la evolución de la imprenta, se comenzó a gestar la identidad impresa del ser humano y, consecuentemente, los Estados modernos progresivamente comenzaron a diseñar sus organizaciones basadas en papeles, registros, oficinas, etcétera. La dualidad espacio-tiempo de un modelo burocrático basado en el papel y en la imprenta es radicalmente diferente a la que se da en el ámbito digital a través de la gestión de identidades digitales. Por ejemplo, el Registro Industrial de la Nación (RIN) en Argentina se creó en 1972 para medir el sector industrial y mejorar el diseño de las políticas públicas. Este organismo abarca aproximadamente 1.700 empresas, cuando en realidad hay más de 110.000 en el país. Pero además, existen múltiples trabas burocráticas o mecanismos complejos para industrias que pretenden acceder a ciertos beneficios del Estado (bono de bienes de capital o el Programa de Desarrollo de Proveedores, entre muchos otros). El propio Estado argentino reconoció que el trámite duraba 8 meses y no tenía ninguna utilidad.[11]

Frente a esta realidad que se multiplica de manera exponencial, la transición hacia los sistemas digitales, que todavía está en curso, presupone otros enfoques y herramientas para potenciar el desarrollo y optimizar los derechos de los ciudadanos. La ventanilla única digital y presencial (que unifica los canales de acceso al Estado por parte de sus ciudadanos)[12], la promoción de estructuras organizacionales simples,[13] las buenas prácticas en materia de simplificación, entre muchas otras acciones, se orientan a cambiar el modelo de organización de propósito único y descentralizado, por un modelo de gobierno integrado, unificado y de conjunto.[14]

El sector público digital, en síntesis, tiende a transformarse con una lógica que en esencia está presente en el sector privado: la gestión y organización a partir de plataformas digitales que se construyen a partir de las personas, sus costumbres y preferencias individuales (por ejemplo, en el ámbito de las compras y ventas –Amazon, Mercado libre–, en el transporte –Uber–, en el ámbito gastronómico –PedidosYa–, etcétera).

En este escenario, aparecen numerosos principios nuevos o que no tenían un papel preponderante en el ámbito de una burocracia estatal impresa: optimización, actualización, simplificación, reducción –costos, complejidad, cargas, tiempos, etcétera–, agilización, robustez, perdurabilidad, facilitación, flexibilidad, coordinación, armonización, interoperabilidad, usabilidad, escalabilidad, trazabilidad, cooperación, etcétera; poner en el centro al ciudadano –principio de centralidad del usuario–, a partir de facilitar su vida, y así tornar más accesible e incluyente la prestación de los servicios.[15] En lo que va de este siglo, la gran mayoría de los Estados transitan hacia un modelo burocrático digital, basado en cuatro grandes grupos de acciones: 1) modificación de la gestión documental y de los expedientes hacia formatos electrónicos o digitales; 2) diseño e implementación de sistemas de gestión basados en plataformas digitales; 3) trámites a distancia y servicios digitales; y 4) las múltiples modificaciones vinculadas con la organización administrativa.[16]

INTELIGENCIA HUMANA POTENCIADA

En el sector público, los datos y la información suelen estar dispersos, incompletos, inconsistentes, no disponibles o no interoperables. Incluso, en muchos casos no se registran o almacenan. Es decir, no agregan valor y tampoco se pueden extraer patrones relevantes que permitan optimizar y simplificar la gestión estatal. El ejemplo que mostramos del RIN es una suerte de regla en lo que se refiere a las organizaciones públicas de Latinoamérica. Solo en Argentina, hay más de 3 millones de trabajadores en el sector público (Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social, 2018) que gestionan millones de documentos y expedientes vinculados a diversos derechos económicos, sociales, culturales, entre muchos otros. El desarrollo productivo y sustentable, en gran medida, está vinculado a la transformación de esa mezcla letal de datos, oficinas, papel, tinta, espacio y tiempo.

Un sector público inteligente presupone adoptar un nuevo paradigma: de un modelo digital hacia uno de inteligencia híbrida, que combine inteligencia humana con IA. Esto implica un doble desafío vinculado a una doble transición para los Estados. Mientras se va hacia un gobierno integrado y digital, hay que repensar las estrategias para vincular

20
SEGUNDOS
TARDA PROMETEA
EN RESOLVER UN
EXPEDIENTE
JUDICIAL

los datos, la información y los patrones de información con los sistemas de IA y, las de estos, con la inteligencia humana. La clave de esta última transición hacia Estados inteligentes viene dada por la gobernanza de los datos y de la información.

Por ejemplo, a partir de garantizar un flujo de datos e información interoperable al que le aplicamos un sistema de IA, podemos cambiar radicalmente la política de prevención del crimen. Actualmente existen varios sistemas como KDE (*Kernel density estimation*), el denominado ProMap o el sistema PredPol (aunque este último ha recibido críticas de organizaciones civiles en varios países por el uso sesgado de datos). En el Reino Unido, se ha implementado un proyecto con soporte de la empresa Accenture, que utiliza un sistema de IA predictivo para realizar un mapeo del delito y concentrar los recursos policiales. El proyecto se encuentra orientado a reducir el robo de viviendas urbanas. Lo relevante del uso de estos algoritmos inteligentes es que permiten ubicar las áreas de una ciudad en la que se concentra el mayor riesgo de delincuencia. Por ejemplo, utilizando los datos de enero de 2016, se pronosticó que en enero del 2017 se iban a cometer 248 hechos delictivos. Cuando se analizó el resultado, el sistema de IA acertó con una precisión casi perfecta: finalmente se cometieron 268. El oráculo artificial solo falló por 20 crímenes.[17]

Este breve ejemplo evidencia que el flujo de datos e información es el oxígeno de la IA. Es clave organizar y gestionar los datos e información, establecer ciertos patrones de información a partir de la inteligencia humana, para que luego los sistemas de IA puedan optimizar o simplificar el objetivo o resultado buscado.

En definitiva, si los Estados comienzan a desarrollar un modelo de inteligencia híbrida basado en sistemas de IA, se potenciarán exponencialmente las capacidades del sector público para desarrollar las recomendaciones de la OCDE. Hablamos de promover facilidad de acceso e interfaz amigable, de favorecer los procesos de toma de decisiones basada en evidencia, de reducir costos de transacción, de realizar evaluaciones de impacto y de costos *ex ante* y *ex post*, de identificar/eliminar/remplazar regulaciones o cargas administrativas innecesarias, obsoletas, insuficientes o ineficientes.[18]

IA AL SERVICIO DEL ESTADO

Servirá un ejemplo para ilustrar el potencial de este enfoque. Prometea es una IA creada en Argentina, en el ámbito del Ministerio Público Fiscal de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. El sistema fue ideado e implementado pensando en la optimización del servicio de justicia, con el fin de agilizar exponencialmente los procesos judiciales en beneficio del ciudadano. A partir del aprendizaje automático supervisado, su desarrollo constituye un avance tecnológico altamente disruptivo, cuya implementación parte de la necesidad de que sea el propio Estado quien brinde medios eficaces e innovadores, que sean idóneos para generar un impacto en la sociedad en su conjunto.

Este sistema de IA no aprende derecho en sentido humano, pero es capaz de realizar algo imposible para una persona; esto es, lee, predice, escribe y resuelve un expediente judicial en 20 segundos –en promedio– y con una tasa de acierto del 96%. En este sentido, funciona de una manera similar a como lo hacen otros sistemas de IA, como el traductor de Google (aunque este sistema usa redes neuronales artificiales y Prometea, no). En este último caso, los diferentes algoritmos inteligentes del traductor no aprendieron –en el sentido humano de la palabra– la estructura gramatical de los diferentes idiomas para realizar traducciones, sino que aprenden de los patrones que extrae de la información y de los datos, procesando el lenguaje a una velocidad inalcanzable para un cerebro humano. Algo similar podemos decir de Prometea. Aunque no sabe de leyes ni de jurisprudencia, lo cierto es que resuelve el 52% de los casos menos complejos que llegan a la Fiscalía General Adjunta en lo Contencioso Administrativo y Tributario de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Hay tres aspectos que resumen cómo funciona esta IA predictiva e inédita y, en esencia, explican las razones por las cuales la lógica de este sistema se puede extrapolar a muchas actividades burocráticas del Estado (trámites,

EL CASO PROMETEA

Cuando la Corte de Justicia de la Ciudad de Buenos Aires (Tribunal Superior de Justicia local) remite un expediente a la Fiscalía para que dictamine, una persona accede al sistema de IA Prometea e ingresa el número de caso en la IA. El sistema de IA en pocos segundos busca la carátula del expediente en el sitio web de consulta de expedientes del Tribunal Superior de Justicia de la Ciudad. Una vez que lo encuentra, lo asocia con otro número (vinculado a las actuaciones previas de ese mismo caso) y, a partir de ese número, accede a la página del Poder Judicial de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (juscaba.jusbaires.gov.ar). En esta página, busca entre más de 300.000 documentos jurídicos y está entrenada para detectar cuáles de esos documentos son resoluciones de menor interés (por ejemplo, la que indica agregar un determinado documento o conceder una autorización) y cuáles de esas resoluciones son las sentencias definitivas de los jueces de primera y segunda instancia que resolvieron diversos temas.

Una vez que las localiza, las lee y las compara con más de 1.400 dictámenes emitidos durante 2016 y 2017 por la Fiscalía. Luego de todo esto, en un promedio de 15 a 20 segundos, arroja la predicción y nos ofrece la solución escrita. Los temas que abarcan el 52% –con una tasa de acierto de 96%– sobre los que predice son algunas cuestiones vinculadas a derecho a la vivienda, derecho al trabajo y cuestiones de remuneraciones de empleados públicos. Posteriormente, el sistema le hace una serie de preguntas al usuario que solo surgen del expediente en formato papel (por ejemplo: en qué hoja se encuentra un determinado escrito o documento). Esto sucede porque aún la Corte de Justicia remite los expedientes en formato papel. Todo el proceso, de manera íntegra, se realiza a través de la IA. Desde un "Hola", hasta que Prometea determina que el dictamen está completo. Una vez finalizado el proceso, el usuario puede ordenarle a Prometea a través de comandos específicos que imprima el documento o lo descargue en su ordenador.

consultas, permisos, licencias, registros, compras, otorgamiento de subsidios, mecanismos de resolución de conflictos, etcétera).

1. Prometea está en pleno funcionamiento y ha resuelto 96 casos judiciales que, luego de ser controlados por personas humanas, se han firmado y presentado ante la Corte de Justicia de la Ciudad de Buenos Aires. Pero ¿qué la hace tan disruptiva? La clave viene dada por innovaciones que se solapan y que, analizadas de forma integral, reducen dramáticamente tiempos, errores y costos. Pero a la vez, aumentan exponencialmente los beneficios para los ciudadanos y para los trabajadores del Estado. Según nuestras mediciones, sobre las áreas del derecho en las que ha sido entrenada, las personas humanas tardan aproximadamente 172 días en resolver 1.000 casos judiciales de baja complejidad. Con Prometea se pueden realizar 1.000 casos en 42 días sin tener que revisar errores de ortografía, de gramática o contar plazos y chequear que se acompañen ciertas copias de documentos, según lo exigen las normas (ver tabla 1).

2. Además, Prometea innova en dos grandes aspectos. Por un lado, se desarrolla bajo un modelo de pantalla integrada en el que no hace falta cambiar de ventana para buscar información o acceder a documentos existentes. Se la puede entrenar para que sea una suerte de sabueso artificial (por ejemplo, mediante comando de voz se le pide que busque una ley y la trae). Por otra parte, optimiza radicalmente la usabilidad del sistema a través de la llamada "inteligencia en la interfaz". Aquí el usuario simplemente interactúa, hablando (estilo Siri de Apple) o chateando (como si fuera WhatsApp), y la tecnología resuelve los problemas mediante conexiones con diferentes sistemas que pueden responder a las necesidades del usuario y a partir del aprendizaje[19]. Prometea también está entrenada para controlar plazos y requisitos básicos que se exigen a los escritos judiciales.

TABLA 1
DÍAS DE TRABAJO PARA REALIZAR 1.000 EXPEDIENTES / PROCESOS

	SIN PROMETEA	CON PROMETEA	PORCENTAJE DE EFICIENCIA
FISCALÍA GENERAL ADJUNTA EN LO CONTENCIOSO, ADMINISTRATIVO Y TRIBUTARIO DE CABA			
Amparo habitacional - no autosuficiente	160	38	323
Amparo habitacional - persona con discapacidad	174	45	289
Amparo habitacional - persona sola	164	45	263
Amparo habitacional - citación de tercero	190	42	357
FISCALÍA PENAL, CONTRAVENCIONAL Y DE FALTAS Nº12 DE CABA			
Proceso de probation	110	26	318
Proceso de juicio abreviado	145	33	336
Proceso de requerimiento a juicio	167	38	338

Nota: Cada día de trabajo está conformado por 7 horas. En los procesos de probation, juicio abreviado y requerimiento de juicio no se utilizó inteligencia predictiva sino inteligencia de máquina en la arquitectura de los precesos decisionales.
Fuente: Fiscalía General Adjunta en lo Contencioso, Administrativo y Tributario de CABA (2018).

3. Por último, hay dos grandes aspectos que advertimos en la aplicación de Prometea. El primero se vincula con la previsibilidad, la seguridad jurídica y la igualad. Reducir la tasa de error y asignar a las mismas circunstancias las mismas respuestas estatales (en este caso de la justicia) son tareas clave para generar entornos propicios para el desarrollo. Tanto una persona que reclama derecho a la vivienda o una empresa que requiere una habilitación para ejercer el comercio aspiran a que los tiempos de respuesta sean breves y similares entre los mismos casos, que las respuestas sean equitativas frente a supuestos análogos y, a la vez, esto supone que la estandarización de patrones es un punto de partida más idóneo para que el Estado diseñe estrategias que reduzcan costos de transacción directos e indirectos.

El segundo aspecto que evidencia Prometea se vincula con el rol de las personas humanas. Podemos decir que la aplicación de este sistema de IA es automatización que humaniza. Además de agilizar la respuesta estatal de cara al ciudadano, libera a las personas de realizar tareas esencialmente rutinarias o mecánicas, para que puedan volcar su inteligencia humana a los casos más complejos (además de seguir ayudando o entrenando a los sistemas de IA para aumentar su productividad). Cuando hablamos de oficinas gubernamentales, una porción significativa de las tareas estatales viene dada por copiar y pegar textos, números, etcétera, para dar respuestas estandarizadas o soluciones simples que se piensan una vez y luego se repiten cientos o miles de veces, completar pliegos de condiciones generales y particulares, establecer en documentos requisitos y exigencias para trámites vinculados a licencias, habilitaciones, registros, subsidios, etcétera.

Por ejemplo, en ciertos procesos penales (casos de conducir en estado de ebriedad) en la Fiscalía, 39 datos hay que ingresarlos o copiarlos 111 veces (edad, domicilio, marca del vehículo, etcétera). Con Prometea, cada dato se extrae del sistema o, en el peor de los casos, se carga una sola vez y el sistema lo replica automáticamente en todas las partes del texto, según qué documento legal aplica en cada caso. Además, el flujo decisional está diseñado en forma concatenada, de manera tal que si trabajamos en una misma causa, el dato ingresado en un documento es trasladado automáticamente a los documentos siguientes. Este diseño inteligente, además de comprimir ostensiblemente los tiempos de elaboración, reduce sustancialmente la cantidad de errores.

En otras palabras, una de las paradojas de las organizaciones públicas viene dada porque muchos recursos humanos se destinan a tareas mecánicas y rutinarias y, frecuentemente, no hay tiempo para poner el máximo de los recursos disponibles para los problemas más complejos que no pueden ser resueltos –al menos por ahora– por sistemas de IA. Al igual que el ordenador, internet y los procesadores de texto nos ayudaron a liberar tiempo para dedicar a otras tareas, los sistemas de IA débil serán clave para humanizar los servicios públicos clásicos.[20]

La evaluación de Prometea, en síntesis, puede hacerse en los términos de la OCDE. Es decir, por sus resultados y por los efectos que tiene en la sociedad.[21] Es aquí donde se vuelve evidente el lado luminoso de la IA combinado con la inteligencia humana. A modo prospectivo, puede decirse que sistemas como Prometea serán clave para comenzar a transitar un paradigma de inteligencia híbrida que promueva un Estado inteligente para el desarrollo sostenible.

NOTAS

[1] Sobre todas estas cuestiones, ampliar en Mumford (1992, 72), Kurzweil (2012, 33-77; 2013, 3 y 235),Bostrom (2016, 2), Mlodinow (2016, 14-17) y Barrat (2014, 155-169); sobre el efecto arrastre, ver Svante (2015, 281).

[2] Ampliar en Luhmann (2006, 131).

[3] Ampliar en Kahneman (2012, pp. 27, 223, 230, 291-292, 542-543).

[4] Ver Luhmann (2005, 10; 2007, 100-108; 2010, 220-225).

[5] Desde el año 2000 hasta la actualidad, la ONU reconoció el potencial de las tecnologías de la información y comunicación en el desarrollo en diez resoluciones de la Asamblea General: Res. A/72/130, 13 de julio de 2017; Res. A/RES/71/212, 18 de enero de 2017; Res. A/RES/70/184, 4 de febrero de 2016; Res. A/RES/69/204, 21 de enero de 2015; Res. A/RES/68/198, 15 de enero de 2014; Res. A/RES/67/195, 5 de febrero de 2013; Res. A/RES/66/184, 6 de febrero de 2012; Res. A/RES/65/141, 2 de febrero de 2011; Res. A/RES/64/187, 9 de febrero de 2010; Res. A/RES/63/202, 28 de enero de 2009 .

[6] Ver el considerando 1 de la resolución AG/RES. 2905 (XLVII-O/17) en OEA (2017) y OEA y AWS (2018, 8).

[7] Este organismo recomienda "Aprovechar las oportunidades de la tecnología de la información y las ventanillas únicas de trámite de licencias, permisos y otros requerimientos con el propósito de volver más simple la prestación de servicios y orientarla al usuario". Ver punto 5.5 de la OCDE (2012, 12).

[8] Ver el considerando 46 de la resolución AG/RES. 2880 (XLVI-O/16) en OEA (2016).

[9] Sobre estas cuestiones en Argentina, ver PNUD (2017, 93).

[10] Ampliar en Naciones Unidas (2012, 45) y el considerando 31 de Naciones Unidas (2016).

[11] Ver Decreto 27/2018 del Poder Ejecutivo Nacional de la Argentina.

[12] Ver Comunicación A 6043 del Banco Central de la República Argentina.

[13] Decreto 434/2016, Plan de Modernización del Estado, Ministerio de Modernización, Argentina.

[14] Ver Naciones Unidas (2012, 85).

[15] Ampliar en Corvalán (2017a).

[16] Ampliar en Corvalán (2017b).

[17] Ver Gakrelidz (14 de enero, 2017).

[18] Ampliar en OCDE (2012).

[19] Sobre la inteligencia en la interfaz, ampliar en Gruber (2008) y en http://tomgruber.org/technology/intraspect.htm.

[20] Existe una distinción entre sistemas de IA débil e IA fuerte, según la capacidad que presenten en comparación con las habilidades humanas cognitivas. Ampliar en Kurzweil (2012, 300 y ss).

[21] La OCDE (2012) en el punto 6.4 recomienda: "Los programas de simplificación y reforma deben evaluarse a partir del valor público que producen con base en los recursos requeridos. La evaluación debe concentrarse en primer lugar en los resultados y los efectos que tienen en la sociedad antes de la cuantificación de las cargas administrativas reducidas".

Bibliografía

Barrat, J. 2014. *Nuestra invención final. La inteligencia artificial y el fin de la era humana*. Barcelona: Paidós.

Bostrom, N. 2016. *Superinteligencia. Caminos, peligros, estrategias*. Madrid: Teell.

CEPAL. 2018. *Datos, algoritmos y políticas: la redefinición del mundo digital*. Santiago: UN-CEPAL.

Corvalán, J. G. 2017a. "¿Qué hay de nuevo, viejo? Reformas al procedimiento administrativo nacional (Decretos nros. 891/17 y 894/17 (Parte I)". *DPI Cuántico, Diario Administrativo*. 176.

—. 2017b. "Hacia una Administración Pública Digital". *Temas de Derecho Administrativo*. 2: 621-645.

Gakrelidz, N. "Predicting London Crime Rates Using Machine Learning". Dataiku. **14 de enero, 2017**.

Gruber, T. 2008. "Intelligence at the Interface: Semantic Technology and the Consumer Internet Experience". Presentación en Semantic Technologies conference.

Kahneman, D. 2012. *Pensar rápido, pensar despacio*. Madrid: Debate.

Kurzweil, R. 2012. *La singularidad está cerca. Cuando los humanos trascendamos la biología*. Berlín: Lola Books.

—. 2013. *Cómo crear una mente. El secreto del pensamiento humano*. Berlín: Lola Books.

Luhmann, N. 2005. *Confianza*. México: Universidad Iberoamericana.

—. 2006. *Sociología del riesgo*. México: Universidad Iberoamericana.

—. 2007. *La sociedad de la sociedad*. México: Herder.

—. 2010. *Organización y decisión*. México: Herder.

Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social. 2018. *Reporte del trabajo registrado*. 25 de abril.

Mlodinow, L. 2016. *Las lagartijas no se hacen preguntas*. Barcelona: Crítica.

Mumford, L. 1992. *Técnica y civilización*. México: Alianza.

Naciones Unidas. 2012. *Estudio de las Naciones Unidas sobre el Gobierno Electrónico, 2012. Gobierno electrónico para el pueblo*. Nueva York: Naciones Unidas.

—. 2016. "Foro de múltiples interesados sobre la ciencia, la tecnología y la innovación en pro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible: resumen de los Copresidentes". Res. E/HLPF/2016/6, 24 de junio.

OCDE. 2012. *Recomendación del Consejo sobre Política y Gobernanza Regulatoria*. París: OECD Publishing.

OEA. 2016. *Cuadragésimo sexto período ordinario de sesiones. Santo Domingo, República Dominicana. Del 13 al 15 de junio de 2016. Actas y documentos, Volumen I*. Washington DC: OEA.

—. 2017. *Cuadragésimo séptimo período ordinario de sesiones. Cancún, Quintana Roo, México. Del 19 al 21 de junio de 2017. Actas y documentos, Volumen I*. Washington DC: Secretaría General OEA.

—. 2018. *Un llamado a la acción para proteger a ciudadanos, sector privado y gobierno*. White Paper Series Edición 1. Washington DC: Secretaría General OEA y AWS.

PNUD. 2017. *Informe Nacional sobre Desarrollo Humano 2017. Información para el desarrollo sostenible: Argentina y la Agenda 2030*. Buenos Aires: PNUD.

Svante P. 2015. *El hombre de neandertal. En busca de genomas perdidos*. Madrid: Alianza.

INTEGRACIÓN DIGITAL

La región muestra un estado de avance disímil en materia de acuerdos sobre comercio electrónico. Mientras que países como Chile, Colombia, Costa Rica, Panamá y Perú avanzan en primera fila, activos en la negociación de acuerdos bilaterales y regionales con provisiones relacionadas al comercio electrónico y la economía digital, los países del Mercosur aparecen algo más rezagados. No obstante, también en este bloque se dieron avances, para acercar posiciones y consolidar la integración digital.

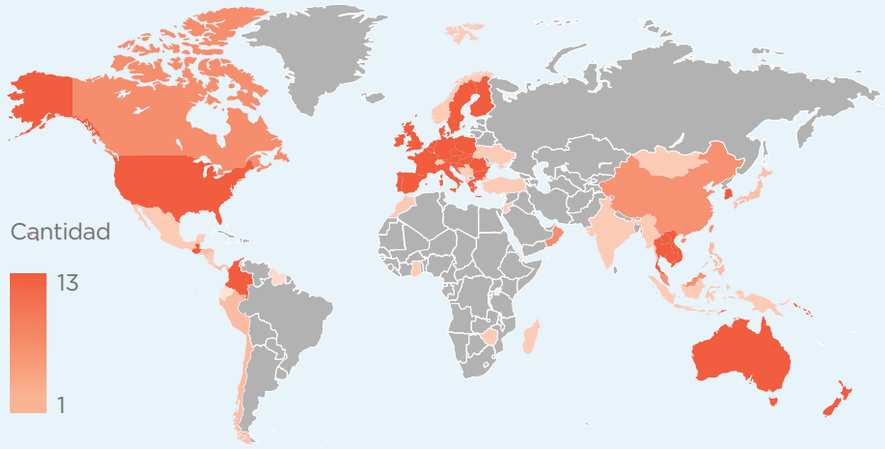
x45
creció el intercambio de información global desde 1980

90
restricciones hay en el mundo al flujo de datos

70
países de la OMC negocian un acuerdo sobre *e-commerce*

El acuerdo de libre comercio entre Chile y Uruguay, firmado en 2016, y el nuevo acuerdo de libre comercio entre Chile y Argentina, firmado a fines de 2017 –ambos a la espera de aprobación parlamentaria– son algunos antecedentes positivos de integración digital en el Mercosur. La creación el año pasado del Grupo Agenda Digital para elevar una propuesta de "Agenda Digital del MERCOSUR" es otra señal positiva, aunque tardía, frente a iniciativas como el Plan de Trabajo para el Espacio Único TIC en CARICOM y los avances de la agenda digital de la Alianza del Pacífico.

Cantidad de acuerdos de libre comercio con provisiones de comercio electrónico



CONEXIÓN **INTAL**
Mejor conectados / Mejor integrados

Actualización permanente sobre integración, comercio y nuevas tecnologías

conexionintal.iadb.org

CASO DE ESTUDIO

Cuando el gobierno innova

Un laboratorio para diseñar políticas

La investigación en inteligencia artificial (IA) avanza a un ritmo vertiginoso. Todos los años, nuevos algoritmos rompen récords de desempeño y conquistan nuevas habilidades. Estos avances abren oportunidades y plantean desafíos. Para los gobiernos, el reto es doble: deben mantenerse actualizados tanto en su rol de usuarios como de reguladores de esta tecnología. Natalia Sampietro, directora de Datos Públicos, y Martín Elias Costa, científico del Ministerio de Modernización argentino, comentan la experiencia de LabGobAr, un laboratorio desde donde se utilizan algoritmos para mejorar el diseño de políticas públicas.

¿Cuál es el objetivo del Laboratorio de Gobierno del Ministerio de Modernización?

Los laboratorios de innovación gubernamental son espacios dinámicos donde se promueve la creatividad para el diseño de nuevas políticas públicas. Usualmente, estos espacios se caracterizan por la multisectorialidad de sus miembros y el abordaje colaborativo de los problemas. En medio de los organismos públicos tradicionales –en los que el cambio de procesos y políticas implica riesgos y dificultades importantes–, los laboratorios de gobierno irrumpen en la escena política global como entidades cuya labor es asumir esos riesgos y estimular el dinamismo. Algunas de estas unidades ensayan sus innovaciones mediante experimentos y evalúan rigurosamente sus impactos, y se consolidan como espacios de testeo controlado de innovaciones de gestión. Otras se esfuerzan por fortalecer el ecosistema para la innovación en el resto de la Administración Pública. Argentina, a través de la Subsecretaría de Innovación Pública y Gobierno Abierto del Ministerio de Modernización, institucionalizó su Laboratorio de Gobierno Nacional, LabGobAr. En el actual proceso de modernización y reforma del Estado argentino, el Laboratorio nace como un equipo interdisciplinario y transversal a las diferentes áreas de Gobierno, y tiene tres ejes de trabajo. 1) Consultoría: aborda problemas complejos con nuevas metodologías y procesos de trabajo. Uso de IA, evidencia y diseño centrado en las personas son algunas de las metodologías que utiliza. 2) Academia de diseño: construye capacidades, conocimiento y comunidad para equipos de Gobierno incorporando nuevas lógicas de gestión, colaboración y tecnología del siglo XXI. Entrenamientos en ciencia de datos, IA y agilidad son algunas de las temáticas que aborda. 3) Comunidad: para romper los silos del Estado y trabajar de forma colaborativa en la resolución de desafíos públicos.

¿Qué implicancias tienen los avances en IA en el ámbito de Gobierno?

El beneficio en el uso de IA no está solo en la escala sino, fundamentalmente, en la calidad. En el gobierno también aparecen estas dos variables. La posibilidad de aplicar procesos a escala es, por demás, la que mayor cantidad de ramificaciones prácticas tiene. Y los ejemplos son incontables. Dentro del procesamiento del lenguaje natural encontramos posibles aplicaciones, como la conversión de información no estructurada (textos) en estructurada (tablas), la clasificación automática de documentos y motores de búsqueda con información contextual. En el área de visión computacional aparece el monitoreo automático de imágenes satelitales, que permite realizar registros catastrales, registros impositivos y seguimientos de obras; detectar automáticamente accidentes viales en cámaras de vigilancia; validar la identidad a partir de registros biométricos; y digitalizar registros en papel. En aprendizaje estadístico, están los modelos predictivos para estimar la demanda futura de una prestación estatal y planificar un uso de recursos acorde. También la detección de anomalías y fraudes, para fiscalizar subsidios a la industria, y las técnicas de *clustering*, para encontrar patrones de comportamiento o características comunes en distintos grupos con el fin de diseñar políticas públicas que se ajusten a las necesidades individuales de los ciudadanos. Con relación a la obligación de regular el uso de estas nuevas tecnologías, con sus consecuentes posibilidades y potenciales riesgos, el Estado debe asegurar que la aplicación no resulte en prácticas discriminatorias o amplifique la desigualdad.

¿Pueden brindar ejemplos concretos en Argentina y cuáles fueron los resultados?

Hay dos ejemplos recientes de aplicaciones de IA que llevamos adelante desde el Laboratorio de Gobierno LabGobAr del Ministerio de Modernizacion de la Nación, ambos de código abierto y disponibles para su reutilización y mejora por parte de la comunidad. El primero es un proyecto dentro del área de visión computacional, que realizamos en conjunto con las autoridades de salud del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (GCBA). El Gobierno utiliza sensores de ovipostura para monitorear la presencia del mosquito *Aedes aegypti* en la ciudad. Esta tarea involucra analizar, todas las semanas, fotografías de los sustratos de los sensores de toda la ciudad para decidir si allí hay o no huevos de mosquito. El proceso insume mucho tiempo de trabajo para la persona que debe etiquetar las fotos todas las semanas y, a la vez, representa un cuello de botella que limita la cantidad de sensores que pueden ser colocados. Para resolver esta problemática, desarrollamos un paquete de *software* de visión computacional que permite etiquetar las imágenes automáticamente. El segundo ejemplo se enmarca en el campo del procesamiento del lenguaje natural y fue un proyecto

llevado adelante junto con la Jefatura de Gabinete de Ministros. Todos los meses, el equipo de la Secretaría de Relaciones Parlamentarias y Administración recibe las preguntas que los legisladores hacen en el Congreso de la Nación, las clasifica y, finalmente, se las envía a la persona más adecuada dentro de la Administración Pública Nacional para responderlas. Este equipo tiene apenas cinco días para procesar unas mil preguntas. Nuestra intervención consistió en el desarrollo de un motor de búsqueda de textos por similitud semántica que, además, ofrece la posibilidad de etiquetar automáticamente las preguntas. Esta herramienta le permitió mejorar tanto la capacidad de respuesta como el seguimiento de temáticas frecuentes, aun cuando la pregunta pueda estar formulada de muchas maneras distintas.

¿Qué potenciales riesgos éticos hay que tener en cuenta en políticas públicas basadas en IA?

A la hora de implementar modelos predictivos o de segmentación que tengan impacto directo en la forma o el contenido de los servicios que reciben los ciudadanos, hace falta prestar mucha atención a la posibilidad de que se introduzcan sesgos en los modelos; es decir, que los algoritmos desfavorezcan inadvertidamente a un sector particular de la población. A diferencia de cualquier algoritmo clásico en el que las reglas de funcionamiento son creadas y codificadas por un programador, los algoritmos de IA infieren estas reglas a partir de ejemplos. Por eso se suele decir que un modelo solo podrá ser tan bueno como los datos con los que haya sido entrenado. Entonces, si los datos son un reflejo de la realidad tal cual es hoy, incluirán todos los prejuicios y comportamientos discriminatorios existentes en la sociedad y, por lo tanto, de alguna manera estos formarán parte del algoritmo final. Imaginemos que queremos generar un algoritmo que, a partir de un currículum, nos sugiera un sueldo estimado para ofrecer a un potencial postulante. Para esto entrenamos el modelo con una gran cantidad de currículums y sueldos reales. El algoritmo intentará usar todas las regularidades presentes en los datos para hacer la estimación; y, en particular, notará que el género es un excelente predictor del salario, porque a igualdad de tareas y responsabilidades, una mujer cobra un 20% menos que un hombre. Si utilizamos dicho algoritmo para realizar ofertas iniciales, estaremos actuando de manera sesgada, amplificando una brecha que en realidad estamos intentando cerrar. Por otro lado, los algoritmos más sofisticados (por ejemplo, las redes neuronales profundas) son aún objetos activos de investigación y su funcionamiento no está del todo claro. Muchas veces funcionan como cajas negras que reciben un *input* y arrojan un *output* sin que sea posible conocer las razones. Es inadmisible que un Estado tome la decisión de ofrecer o quitar una determinada prestación a un ciudadano sin explicarle cómo fue tomada esa decisión. Finalmente, es importante entender que estos algoritmos requieren de grandes volúmenes de datos para ser entrenados. La tentación para usar datos personales es grande y los estados poseen datos privados de sus ciudadanos que son muy sensibles. Es imprescindible tomar en cuenta la dimensión de la privacidad antes de plantear cualquier proyecto.

UN CONSEJO DE EXPERTOS EN IA PODRÍA DELINEAR UNA ESTRATEGIA PARA GARANTIZAR QUE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL AGREGUE VALOR Y GENERE NUEVOS EMPLEOS.

Dividendos digitales

La automatización aparece como una amenaza para el empleo. Cuáles serán los trabajos del futuro y cómo preparar a los más jóvenes para el mercado laboral del mañana. Los desafíos de educación, salud y distribución del ingreso.

Nuevas **ocupaciones**

Latinoamérica y el **espejo** de ***Australia***

Kate Pounder y Geoffrey Liu
AlphaBeta

EN LA BÚSQUEDA DE DESARROLLO ECONÓMICO, ESTIMULAR INVERSIONES NUEVAS Y EFICIENTES DEBE SER PRIORITARIO PARA AMÉRICA LATINA (CAVALLO Y POWELL, 2018). LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL PODRÍA SER CLAVE EN ESTE SENDERO, AL IGUAL QUE EL INCENTIVO A LA PRODUCCIÓN Y EXPORTACIÓN DE SERVICIOS. ESTE ARTÍCULO ANALIZA EL IMPACTO DE LA AUTOMATIZACIÓN EN EL EMPLEO AL MAYOR GRADO DE DETALLE POSIBLE: EXAMINANDO LAS HORAS TRABAJADAS POR EMPLEADO. DESCRIBE EL CASO DE AUSTRALIA, DONDE HUBO UN DESPLAZAMIENTO DE LAS HORAS TRABAJADAS A ACTIVIDADES QUE GENERAN MAYOR VALOR AGREGADO Y REALIZA, A LA LUZ DE ESTA EXPERIENCIA, RECOMENDACIONES DE POLÍTICA PARA LA REGIÓN.

Invertir en inteligencia artificial (IA) y en tecnologías de automatización podría formar parte de la solución para el crecimiento a largo plazo de América Latina y ofrecer la posibilidad de impulsar la productividad y la competitividad, ayudar a las empresas existentes y a las industrias en la transición y, potencialmente, generar nuevas oportunidades de mercado. No obstante, la adopción de estas tecnologías también podría exacerbar las presiones sobre el empleo en la región: el McKinsey Global Institute (2018) estima que, solamente en cinco países latinoamericanos, la automatización podría afectar a más de 100 millones de puestos de trabajo. En una región donde el desempleo promedio rondaba el 8,1% en 2017 y el desempleo regional entre los jóvenes alcanzaba el 19,5% (OIT, 2017), resulta fundamental comprender y manejar cuidadosamente las transiciones del empleo relacionadas con la adopción de tecnología.

Para ayudar a encuadrar las alternativas que enfrenta América Latina, este artículo repasa los posibles efectos económicos de la IA y de la automatización, así como los enfoques políticos que están asumiendo otros países para tratar de maximizar los beneficios sociales y económicos de estas tecnologías. El trabajo parte de un análisis de Australia como caso de estudio y examina si la IA y la automatización finalmente terminan planteando una oportunidad económica o una amenaza para el empleo y la subsistencia. A continuación, considera de qué modo los países de todo el mundo se están preparando para los cambios provocados por las tecnologías de IA y de la automatización, y las lecciones y oportunidades que dejan para los países latinoamericanos.

El ejemplo australiano demuestra que los cambios que la IA y la automatización traen aparejados pueden dar lugar a beneficios sociales y económicos netos. Una mayor automatización de las tareas rutinarias puede hacer que el trabajo se torne más seguro, más satisfactorio y mejor pago. Las nuevas tecnologías de IA y automatización también pueden aumentar la productividad en el lugar de trabajo. Pueden asimismo crear mercados internos y de exportación para productos y servicios y, a través de estos, aumentar el empleo y el ingreso nacional. No obstante, el caso australiano también pone de relieve que dichas transformaciones no están exentas de costos. La resignación

80%
DE AUSTRALIANOS ESTÁ EMPLEADO EN EL SECTOR SERVICIOS

de tareas puede desplazar puestos de trabajo e incrementar la cantidad y la frecuencia de las transiciones laborales. La automatización del trabajo rutinario está cambiando los tipos de aptitudes que necesitan los empleados y está haciendo cada vez más imperiosa la necesidad de recapacitarse y aumentar los niveles de calificación a lo largo de la carrera. Australia no tiene buenos antecedentes en el manejo de las transiciones del trabajo y las calificaciones en el pasado, particularmente, en cuanto al ingreso de los jóvenes al empleo de tiempo completo y a la reubicación laboral o la recapacitación de los trabajadores varones menos calificados, a medida que fueron desapareciendo ciertos trabajos tradicionales. Este caso demuestra que mejorar la velocidad y la facilidad con la que los australianos cambian de trabajo y de calificación fue un factor crítico para minimizar los efectos negativos de los *shocks* económicos y tecnológicos.

Si bien el impacto de las transiciones asociadas con la IA y la automatización a veces se refleja de un modo fatalista, los países de América Latina y sus pares del resto del mundo no están indefensos ante estos cambios. Los Gobiernos, las empresas y los ciudadanos pueden optar por ciertas alternativas para optimizar las oportunidades y manejar los *shocks* negativos. Los países necesitan comprender las distintas dimensiones del cambio y desarrollar una estrategia nacional para afrontarlo, de modo de influir positivamente sobre las transformaciones que se avecinan, particularmente en el caso de economías como las latinoamericanas, que ya están atravesando dichas transiciones.

TRANSICIONES TECNOLÓGICAS

Australia representa un caso de estudio muy ilustrativo de los efectos del cambio tecnológico sobre una economía. A lo largo del siglo XIX y de la primera mitad del XX, la economía australiana dependía de la minería y los recursos naturales, la agricultura, las manufacturas y la construcción para alcanzar sus niveles de empleo y crecimiento. Sin embargo, en los últimos 70 años, este país progresivamente fue atravesando una transición hacia una economía basada en los servicios, con cerca de un 80% de los australianos actualmente empleados en dicho sector, aunque otros sectores, como la minería y la agricultura, sigan dominando las exportaciones. Durante las últimas tres décadas, la economía también sufrió cambios estructurales significativos, motivados por cambios en la política económica y comercial, así como por cambios globales, tanto económicos como tecnológicos. En general, estos cambios vinieron acompañados por un período de 26 años de crecimiento económico sostenido, pero, a lo largo del proceso, algunos trabajadores, especialmente los trabajadores varones de cuello azul y de mayor edad, perdieron sus empleos y nunca volvieron a trabajar.

En este contexto, Australia está asistiendo a un debate acerca del surgimiento de una nueva ola de tecnologías –simbolizadas por la automatización, los robots y la IA– y acerca de los beneficios económicos y sociales potenciales de estas tecnologías y de los riesgos que pueden entrañar para el empleo. Si bien se trata de un país que está bien posicionado para beneficiarse de estos cambios, su historia reciente está despertando cierto malestar en la comunidad respecto de los efectos de la IA y planteando interrogantes acerca de qué tan lejos y qué tan rápido Australia debería impulsar las innovaciones relacionadas con esta.

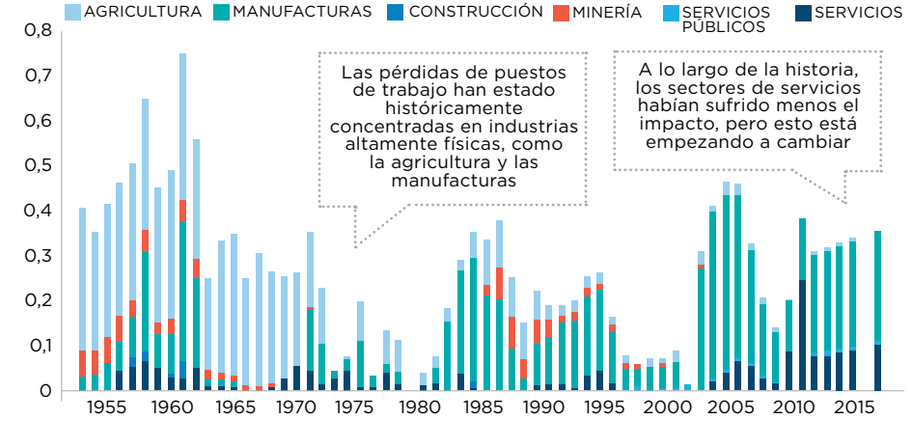
Estos debates no son nuevos. A lo largo de los siglos, las máquinas progresivamente han ido reemplazando a los trabajadores humanos en los distintos sectores, incluidos los de la agricultura, las manufacturas y la administración. Estas transiciones tecnológicas estuvieron también acompañadas por preocupaciones políticas y de la comunidad acerca de los efectos económicos del cambio tecnológico. Las revueltas luditas en Inglaterra durante la Revolución Industrial se transformaron en sinónimo de resistencia al cambio tecnológico. En 1895, *La máquina del tiempo* de H. G. Wells se hizo célebre por imaginar un mundo económicamente fragmentado y distópico, en el que las máquinas habían despojado a las personas de la necesidad de trabajar y habían, por tanto, generado una diferenciación de clase entre ricos y pobres.

En la práctica, las olas de automatización anteriores no habían causado un desempleo masivo. Por el contrario, habían aumentado la prosperidad, la productividad y el empleo, y favorecido la creación de nuevos puestos de trabajo e industrias, y no un simple desplazamiento de las personas, como muchas veces se temía en el momento en el que se produjo el cambio. Esto no significa que las transiciones tecnológicas hayan sido indoloras para quienes perdieron su trabajo, sino que, en realidad, este dolor se concentró en áreas en las que era más eficiente reemplazar el trabajo, pero no fue generalizado.

Los datos de EE. UU. también muestran que la automatización tiene una influencia duradera sobre la economía y que las tasas actuales de pérdida de puestos de trabajo por culpa de la au-

GRÁFICO 1
LA TASA DE AUTOMATIZACIÓN ACTUAL NO ES MÁS ALTA QUE LA REGISTRADA EN LOS PICOS DE LOS ÚLTIMOS 50 AÑOS, PERO LOS SECTORES AFECTADOS CAMBIARON

PÉRDIDA DE PUESTOS DE TRABAJO DEBIDO A MEJORAS DE PRODUCTIVIDAD POR SECTOR
% DE EMPLEO PERDIDO POR AÑO, DATOS PARA EE. UU.



Nota: 2011 en adelante sobre la base de la tendencia lineal para cada sector desde 1990.
Fuente: Groningen Growth and Development Centre. Base de datos World - KLEMS.

tomatización no son más altas que en el pasado. Por el contrario, son comparables a los picos de pérdidas de puestos de trabajo motivadas por la tecnología registrados en el pasado y se encuentran por debajo de los picos de la década de 1970 (ver gráfico 1). El rasgo más distintivo de la ola actual de automatización no es que esta se esté produciendo a mayor velocidad, sino que se produjo un desplazamiento hacia el sector de los servicios.

Durante los últimos 25 años, se produjo un desplazamiento significativo de trabajadores australianos desde las industrias tradicionales hacia las emergentes (Lowe, 2017). A lo largo del proceso, tres cuartos de un total de un millón de puestos de trabajo de obreros y operarios de máquinas desaparecieron, pero se creó más de un millón de puestos de trabajo en los servicios profesionales y asistenciales. Algunos cambios fueron impulsados por la adopción de tecnologías digitales, automatización y TIC. La introducción de los cajeros automáticos y de la banca electrónica, por ejemplo, provocó la pérdida de 40.000 puestos de cajero de banco entre los años de la década de 1990 y 2014. Si bien la transición no ha sido siempre indolora, el efecto neto generalmente fue más una creación de empleo que una pérdida de puestos de trabajo. En el mismo período en el que se perdían los puestos de cajero de banco, surgían 60.000 puestos de asesor financiero, una ocupación menos susceptible de automatización porque requiere un pensamiento más creativo y habilidades interpersonales (Hajkowicz *et al*., 2016).

La lección que nos dejan los procesos de cambio anteriores es que invertir en nuevas tecnologías y adoptarlas es mejor para el crecimiento y para el empleo a largo plazo, pero también que, a lo largo del proceso, la transición probablemente genere ganadores y perdedores en el mercado de trabajo. Cuántas personas caerán en el grupo de los ganadores y cuántas en el de los perdedores durante la próxima transición a las tecnologías de IA dependerá de la facilidad con la que la economía cree nuevos puestos de trabajo y de la medida en que los trabajadores adquieran las aptitudes y cuenten con las oportunidades necesarias para lograr la transición hacia esos nuevos puestos.

LA EXPERIENCIA AUSTRALIANA

Las innovaciones digitales generan valor en la economía porque dan lugar a nuevas fuentes de crecimiento y a aumentos de productividad. Las nuevas fuentes de crecimiento provienen de ingresos generados por las industrias digitales, tanto internos como provenientes de las exportaciones. Las mejoras a la productividad se originan en las inversiones en activos digitales que permiten mejorar la producción, así como en las mejoras que se logran en la calidad y eficiencia del proceso productivo.

La perspectiva de desarrollar nuevas fuentes de valor a partir de la comercialización de tecnologías y servicios de IA está impulsando mayores inversiones en IA a nivel global, tanto por parte del sector privado como del público. El entusiasmo respecto de esta posibilidad se origina, en parte, en las olas anteriores de cambio digital y TIC, cuando pudo verse cómo los países y las empresas que crearon las tecnologías y aquellos que las comercializaron tuvieron una participación desproporcionada en los nuevos puestos de trabajo y en las ganancias que trajeron aparejadas. Durante los períodos anteriores, Australia demostró ser mejor como adoptante de las TIC que como creador o exportador. Si bien, entre 2000 y 2017, los flujos comerciales relacionados con las TIC se incrementaron unos US$ 5.700 millones, Australia siguió siendo un importador neto de TIC durante ese período (Australian Computer Society, 2017). Además, aún muestra cierto rezago respecto de los líderes tecnológicos mundiales de la actualidad. En Australia, las empresas tecnológicas dan cuenta de apenas el 3% de las 200 firmas más importantes del país, y el crecimiento de la capitalización en el mercado de las TIC está significativamente atrasado en relación con el de Estados Unidos, que, desde 2011, muestra un incremento del 168% en el índice mensual de empresas tecnológicas, comparado con el índice australiano, cuyo incremento fue del 68%.[1]

No obstante, las inversiones públicas y privadas a largo plazo en capacidades de investigación básica relacionada con IA y automatización –como aquellas en robótica, sistemas autónomos, aprendizaje automático y computación cuántica– demuestran que Australia se introdujo en esta nueva ola de innovación tecnológica mejor posicionada para ser un creador de tecnología que en épocas anteriores. En 2001, el Gobierno australiano creó un instituto nacional de investigaciones sobre TIC, que actualmente aporta sus capacidades investigadoras de primer nivel mundial en áreas clave, como los sistemas cíber-físicos, la analítica de datos y la optimización, y la ciberseguridad. En el año 2000, se fundó el ARC Centre of Excellence for Quantum Computation and Communication Technology (Centro de Excelencia en Computación Cuántica y Tecnología de la Comunicación del Consejo de Investigaciones Australiano), en la Universidad de Nueva Gales del Sur, el cual ha logrado una serie de avances recientes fundamentales en su campo de estudio. En 2016, el *ranking* mundial de universidades por materia (QS World Rankings for Universities) clasificó a cuatro universidades australianas entre las primeras 50 del mundo en las áreas de informática y sistemas de información (QS World University Rankings by Subject, 2016).

Australia también está mejor posicionada para comercializar la próxima ola de tecnologías digitales. Su composición económica es la apropiada para los tipos de tecnologías y aplicaciones que surgen de los avances en IA y automatización. Si bien la última revolución digital, producida en la década de 2000, se centró principalmente en aplicaciones y tecnologías para el consumidor, esta ola de IA tiene muchos usos industriales, que encajan más naturalmente en la composición económica interna australiana –más orientada a las finanzas, los recursos, la industria y la energía– y en sus fortalezas como exportador. El país ya demostró en algunas industrias, como la minería, los equipos, la tecnología y los servicios, que puede ofrecer estas tecnologías y estos servicios al nivel de un líder mundial. Con su programa Mine of the Future (La mina del futuro), en Australia Occidental, Rio Tinto (2018) es el propietario y operador más grande de sistemas de transporte autónomo del mundo, y el 60% del *software* de minería a nivel mundial es creado por empresas de servicios mineros australianas (Austrade, 2013).

2 HORAS
POR SEMANA DE TAREAS RUTINARIAS LABORALES REDUCE LA AUTOMATIZACIÓN

Australia emprende este camino desde un punto de partida muy fuerte y tiene potencial para beneficiarse del nuevo valor generado por las tecnologías de automatización e IA. El desafío yace en que Australia no es la única que está tratando de desarrollar estas capacidades de investigación y estos sectores. El valor que se acumulará a partir de la comercialización de nuevas tecnologías y servicios ha dado lugar a una carrera global por la in-

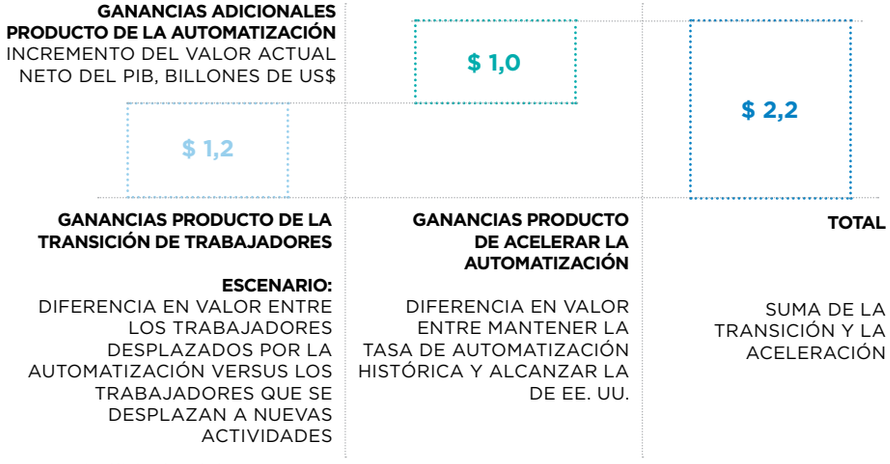
novación y la inversión, en la que Australia ya se está quedando atrás. En particular, el nivel de inversión empresaria en investigación y desarrollo permaneció estancado durante la última década, en oposición a la tendencia global de que el creciemiento del gasto empresarial en investigación y desarrollo (BERD, por sus siglas en inglés) supere al crecimiento del PIB (Innovation and Science Australia, 2017).

AUTOMATIZACIÓN Y CRECIMIENTO

Las innovaciones que la IA y la automatización permiten también pueden brindarle beneficios en términos de productividad a la economía australiana. Hay mucho margen para incrementar las ganancias derivadas de la automatización si las firmas australianas profundizan sus inversiones en tecnologías que mejoren la productividad. Si se mantienen las tendencias históricas, en Australia, la automatización incrementará la productividad del trabajo un 8% en el transcurso de los próximos 15 años. Esto significa que la automatización aportaría cerca de un tercio del incremento total de la productividad del trabajo que se espera para Australia de aquí a 2030. Sin embargo, las firmas australianas se encuentran rezagadas respecto de sus pares del resto del mundo en cuanto a la adopción de automatización. Si las empresas australianas incrementan sus inversiones en automatización para igualar a las de los países líderes –como EE. UU.–, a lo largo de los próximos 15 años, podrían acrecentar el producto económico australiano en aproximadamente US$ 1 billón (gráfico 2).

Una segunda fuente de valor podría provenir de asegurar que las horas desplazadas por las máquinas se reinvierten en otras tareas o en empleo nuevo para las minorías de trabajadores desplazados. Si el tiempo que ahorran los trabajadores de aquellas tareas automatizadas, que pasaron a estar en manos de las máquinas, se aplicara a actividades de alto valor agregado durante los próximos 15 años (en lugar de simplemente reducir la jornada laboral dos horas por semana), la economía australiana podría recibir un impulso de hasta US$ 1,2 billones en valor a lo largo de dicho período.

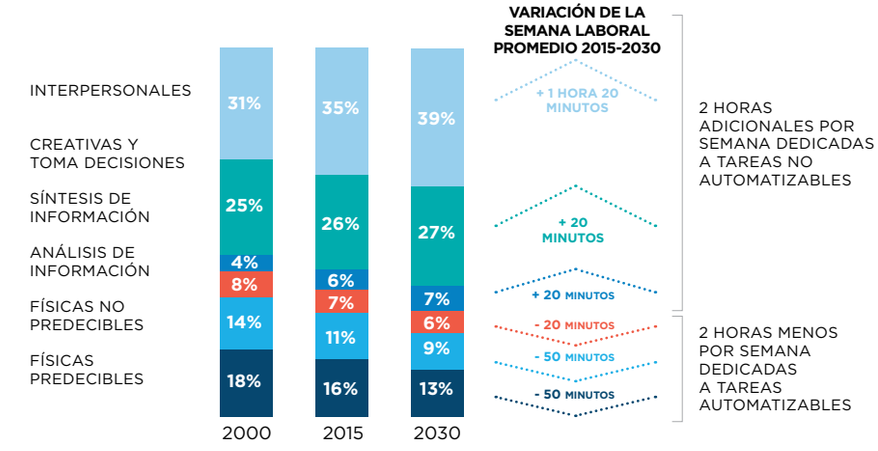
GRÁFICO 2
LA AUTOMATIZACIÓN PODRÍA APORTARLE A AUSTRALIA DIVIDENDOS POR US$ 2.200 BILLONES SI LOS TRABAJADORES LOGRAN UNA TRANSICIÓN EXITOSA Y SE ACELERA LA ADOPCIÓN DE AUTOMATIZACIÓN



Fuente: Análisis de AlphaBeta

GRÁFICO 3
LA AUTOMATIZACIÓN ESTÁ CAMBIANDO EL MODO EN QUE TRABAJAMOS, REDUCIENDO EN HASTA DOS HORAS POR SEMANA LA CANTIDAD DE TIEMPO QUE UN TRABAJADOR DEDICA A TAREAS RUTINARIAS

CAMBIO EN LOS TIPOS DE TAREAS REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES AUSTRALIANOS
PARTICIPACIÓN PROMEDIO DEL TIEMPO DEDICADO A ACTIVIDADES LABORALES



Fuente: ONET. Análisis de AlphaBeta.

El impacto sobre el empleo a medida que la automatización y la IA reemplazan el trabajo humano es central en la ecuación para definir si las tecnologías de IA constituyen esencialmente una oportunidad o una amenaza.

Las investigaciones llevadas a cabo por AlphaBeta (2017) indican que la mayor parte del impacto de la automatización sobre el empleo implicará un aumento de este, más que un reemplazo. El impacto primario cambiará la combinación de tareas desempeñadas dentro de los puestos de trabajo, en vez de la combinación o la cantidad de puestos de trabajo de la economía. Un análisis de las tendencias del mercado laboral muestra que, entre 2000 y 2015, la automatización redujo dos horas por semana el tiempo que un trabajador promedio australiano dedica a tareas rutinarias automatizables. Estas incluyen tareas físicas, como levantar o trasladar productos, y tareas cognitivas, como el análisis de información básica –por ejemplo, la interpretación de mapas para ir de un destino a otro o el análisis de tendencias de los informes empresariales de rutina–. Si se mantiene el ritmo actual de automatización, es probable que los trabajadores dediquen dos horas menos por semana a tareas rutinarias automatizables antes de 2030 (ver gráfico 3).

Esto sugiere que el 71% del cambio esperado en el empleo se producirá dentro del puesto de trabajo. Es decir, la mayor parte de esta reducción de dos horas semanales de trabajo rutinario estará motivada por el hecho de que las personas desarrollarán su trabajo de otra manera,

por ejemplo, pasando de realizar tareas manuales repetitivas a tareas más complejas e interactivas. El otro 29% del cambio esperado en el empleo para 2030 se deberá a que los trabajadores cambiarán de puesto, allí donde la automatización de tareas signifique que se necesitan menos personas para realizar un trabajo (AlphaBeta, 2017).

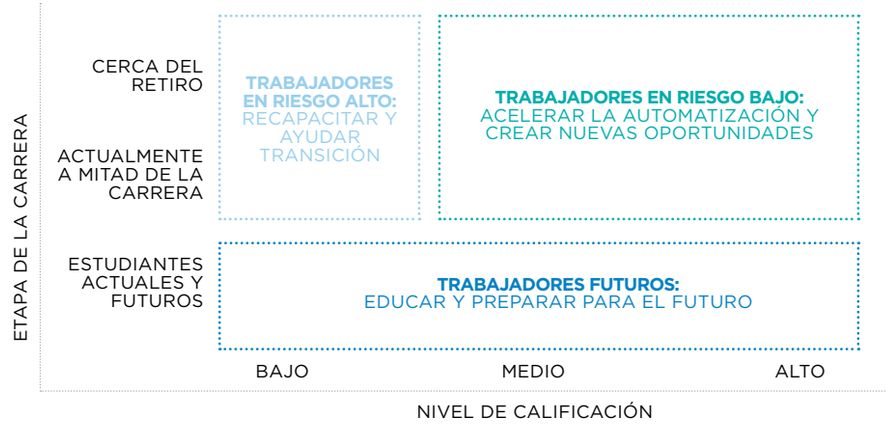
La maximización de los beneficios económicos de la automatización depende de si los trabajadores desplazados logran una transición exitosa hacia un nuevo empleo. Manejar adecuadamente las transiciones de la fuerza de trabajo es crucial, ya que, cuando los trabajadores son desplazados durante períodos de tiempo prolongados, esto resulta costoso para los individuos y para la economía (porque incrementa los costos de la asistencia social, devalúa sus habilidades y puede causar estrés social y económico en los trabajadores afectados). No obstante, como los trabajadores experimentarán distintos efectos a partir de la automatización, estas transiciones también se darán en distintas formas (gráfico 4).

Para muchos trabajadores, los cambios provocados por la automatización serán positivos. Estos trabajadores (gráfico 4, arriba a la derecha) dedicarán más tiempo a la resolución de problemas, al pensamiento estratégico y creativo y a la interacción con sus colegas, con los clientes y con otras personas. Su trabajo será más satisfactorio y mejor pago, ya que una hora de trabajo no automatizable percibe salarios un 20% más altos que una hora de trabajo automatizable. Los trabajos también se tornarán más seguros, ya que la automatización los libera de las tareas manuales rutinarias, donde la incidencia de accidentes de trabajo es mayor (AlphaBeta, 2017).

Sin embargo, es probable que aquellos trabajadores de mayor edad y menor calificación que pierdan sus trabajos se encuentren entre los más vulnerables a los efectos negativos de la transición (gráfico 4, arriba la izquierda). Australia no tiene buenos antecedentes en cuanto a haber ayudado a estos trabajadores a

GRÁFICO 4
LA RESPUESTA POLÍTICA DE AUSTRALIA A LA AUTOMATIZACIÓN DEBERÁ ADAPTARSE ESPECÍFICAMENTE A LOS DISTINTOS GRUPOS DE INDIVIDUOS

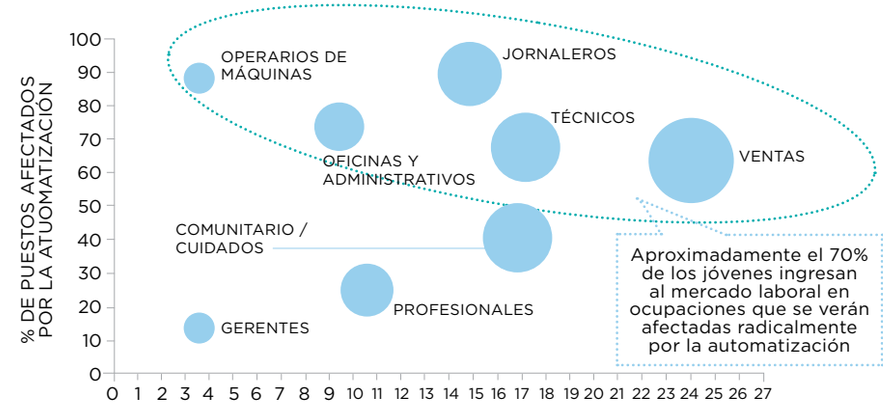
GRUPOS AFECTADOS POR LA AUTOMATIZACIÓN



Fuente: Análisis de AlphaBeta.

GRÁFICO 5
EL 70% DE LOS JÓVENES ACTUALMENTE INGRESAN AL MERCADO LABORAL EN PUESTOS QUE SE VERÁN AFECTADOS RADICALMENTE POR LA AUTOMATIZACIÓN

TAMAÑO DE LA BURBUJA = % DE JÓVENES EMPLEADOS (15-24 AÑOS) EN ESA OCUPACIÓN



Fuente: CEDA (2015), ABS y análisis de AlphaBeta.

asumir nuevos roles cuando se perdieron sus anteriores puestos de trabajo. Entre 1990 y 2015, casi uno de cada diez hombres de bajo nivel de calificación que había perdido su empleo no volvió a formar parte de la fuerza de trabajo. Hoy en día, más de uno de cada cuatro hombres menos calificados no participa del mercado laboral (FYA, 2015).

Los futuros trabajadores, como los estudiantes que actualmente son alumnos de las escuelas y de la educación terciaria, necesitan estar bien equipados para el trabajo del futuro y motivados para capacitarse y procurarse trayectorias relacionadas con las industrias en franco crecimiento y las ocupaciones menos expuestas a la automatización. Si bien esto parece sencillo, una gran cantidad de jóvenes actualmente se está capacitando para tareas que están en riesgo de automatización o, incluso, ingresando a puestos de trabajo que lo están. Cerca del 60% de los estudiantes australianos (el 70% de los que reciben capacitación y formación profesional) está estudiando o capacitándose para ocupaciones en puestos que involucran una parte sustancial de tareas que podrían automatizarse antes de 2030. Aproximadamente el 70% de los jóvenes australianos está accediendo a su primer empleo en puestos que o bien serán muy diferentes o se perderán por completo debido a la automatización a lo largo de los próximos 10 a 15 años (gráfico 5) (FYA, 2015).

Los jóvenes australianos enfrentan un segundo desafío cuando transitan hacia empleos de tiempo completo. Esta modalidad de trabajo –definida como realizar trabajos pagos durante al menos 35 horas por semana, ya sea en un empleo o en varios– es un potenciador fundamental de los ingresos a largo plazo, así como de la salud y de las posibilidades de ascenso en la carrera. Sin embargo, es cada vez menos común entre los jóvenes. Las tendencias laborales muestran que a los jóvenes les resulta mucho más difícil conseguir empleos de tiempo completo.

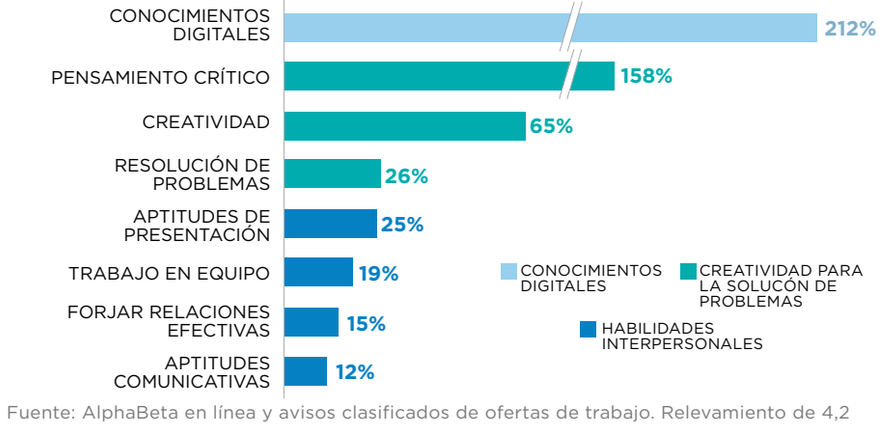
La participación de jóvenes australianos (de entre 15 y 24 años de edad) en puestos de jornada completa cayó sustancialmente –del 53% en 1980 a cerca del 26% en 2015–.[2] La proporción de empleados a tiempo completo de 25 años de edad se redujo del 57% al 51% a lo largo del decenio que finalizó en 2016 (Australian Bureau of Statistics, 2006, 2011, 2016). En otras palabras, solo uno de cada dos jóvenes australianos de 25 años está trabajando a tiempo completo, el resto está principalmente en empleos de tiempo parcial, desempleados o fuera del mercado de trabajo.

La facilidad con la que los trabajadores puedan atravesar la transición hacia nuevos empleos dependerá de sus aptitudes. A medida que los trabajos que desempeñan los australianos cambian, estos necesitan distintas combinaciones de habilidades para desarrollarlos. El cambio más significativo en este sentido es la creciente importancia de las competencias empresariales y de aquellas relacionadas con los datos y lo digital. Las necesidades de capacitación también evolucionarán, ya que muchas personas necesitarán recapacitarse e incrementar sus niveles de calificación en medio de su carrera para llevar a cabo las nuevas tareas requeridas por sus puestos de trabajo y maximizar su capacidad de manejar estas transiciones laborales sin contratiempos. Una estrategia para ayudarlos en este recorrido es comprender de qué modo los nuevos trabajos se pueden agrupar en torno de conjuntos de aptitudes comunes, que nos permitan determinar la trayectoria de capacitación más eficiente para que una persona pueda trasladarse a un nuevo puesto de trabajo.

En los distintos empleos y sectores, las habilidades que más se demandan son las empresariales, que incluyen la resolución de problemas, la comunicación y el pensamiento creativo (ver gráfico 6). Estas aptitudes son esenciales

GRÁFICO 6
LOS EMPLEADOS YA DEMANDAN DISTINTAS APTITUDES: HAY UN RÁPIDO INCREMENTO DE LA DEMANDA DE HABILIDADES DIGITALES, CREATIVIDAD PARA LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS Y HABILIDADES INTERPERSONALES

AUMENTO DE LOS REQUERIMIENTOS DE HABILIDADES EN LOS AVISOS DE OFERTA EMPLEO. % DE CRECIMIENTO EN RELACIÓN CON LOS TRABAJOS DE "INICIO DE CARRERA" QUE REQUIEREN ESTAS HABILIDADES, 2012-2015



Fuente: AlphaBeta en línea y avisos clasificados de ofertas de trabajo. Relevamiento de 4,2 millones de avisos de oferta de empleo en Australia llevado a cabo por FYA (2016) .

para los trabajos creativos inteligentes en rápido crecimiento entre los servicios profesionales y empresariales, y para los trabajos interactivos de trato personalizado en los servicios domésticos y de cuidado de la salud.

La demanda de habilidades empresariales se incrementará a medida que lo hagan la complejidad y la rutina del trabajo. Para 2030, los trabajadores pasarán el doble de su tiempo resolviendo problemas y le dedicarán un 41% más al pensamiento crítico y al razonamiento. Utilizarán la comunicación verbal y las habilidades interpersonales un 17% más frecuentemente por semana y necesitarán desarrollar una mentalidad emprendedora más fuerte (FYA, 2017a). La creciente demanda de habilidades empresariales en los trabajadores ya es evidente (ver gráfico 6). Entre 2012 y 2015, la cantidad de avisos de oferta de empleo que pedían "pensamiento crítico" se incrementó más de un 150%. La demanda de trabajadores con "habilidades interactivas", como las de exposición, comunicación y trabajo en equipo, también se incrementó significativamente a lo largo de dicho trienio. Las habilidades empresariales están tan demandadas que los empleadores están dispuestos a pagar US$ 8.000 por estas en empleos iniciales (FYA, 2017b).

Contar con habilidades empresariales también influye en la velocidad con la cual un joven australiano puede pasar a tener un trabajo de tiempo completo. El análisis longitudinal muestra que los cursos centrados en las habilidades empresariales pueden acortar significativamente el tiempo que transcurre entre la educación con dedicación exclusiva y el empleo de jornada completa. Un joven de 25 años que finalizó una carrera de estudios que desarrolla la resolución de problemas, la comunicación y el trabajo en equipo obtiene un empleo de tiempo completo, en promedio, 17 meses antes que otro que no recibió el mismo tipo de capacitación (AlphaBeta, 2018).

Una segunda área de desarrollo de competencias es aquella de las habilidades digitales y relacionadas con los datos. La alfabetización digital fue el área de habilidades demandadas por los empleadores que más creció para los trabajos iniciales de la carrera entre 2012 y 2015 (ver gráfico 6). Para 2020, el 92% de los trabajadores australianos necesitará contar con algún grado de competencia digital en su trabajo. Más de la mitad de estos trabajadores necesitará conocimientos avanzados. Cerca del 8% necesitará tener la capacidad de crear tecnología; un elemento crítico es que el 46% –o casi la mitad de la fuerza de trabajo– tendrá que contar con aptitudes de alto nivel para utilizar y configurar herramientas digitales y *software*, así como para analizar datos (FYA, 2015).

Es probable que la recapacitación a mitad de la carrera aumente a medida que más trabajadores se trasladen de un puesto a otro, y que la mayoría de los puestos sufran una transición en cuanto a las tareas requeridas para desempeñarse en ellos. La fuerza de trabajo de 2017 recibió el 80% de la capacitación antes de los 18 años. Para 2040, apenas el 62% de la capacitación se impartirá antes de esa edad (AlphaBeta, 2018).

Afortunadamente, muchos trabajos se superponen en cuanto a los conjuntos de habilidades en los que se basan, lo cual significa que las habilidades que se utilizan en un puesto de trabajo muchas veces son transportables a otros. El análisis de los anuncios de oferta de empleo en Australia muestra que, en promedio, aquellos que adquirieron las aptitudes necesarias para desempeñarse en un puesto ya tienen las suficientes para trabajar en otros 13 puestos (FYA, 2016). Estas aptitudes se pueden agrupar y, a partir de dichos conjuntos, se puede realizar un diseño más informado de los cursos, así como de los servicios de ase-

soramiento sobre carreras y cursos, para ayudar a los trabajadores a pasar de una ocupación a otra.

Queda claro que Australia tiene muchas características que la diferencian de los países y de las economías de América Latina, y que la experiencia australiana no se puede interpolar directamente al contexto latinoamericano. No obstante, la experiencia australiana puede servir como guía para que los países de América Latina encuentren el mejor modo de atravesar estas transiciones en sus propios mercados. Esto incluye el diseño de respuestas al cambio económico y tecnológico en una economía en transición y también enseñanzas para invertir en la nueva ola de cambios impulsados por la IA y la automatización y para saber gestionarla.

ESTRATEGIAS COMPARADAS

Como les sucede a América Latina y a Australia, muchos otros países se están preguntando de qué modo deberían responder al advenimiento de la IA y la automatización. Un número creciente de países han desplegado estrategias nacionales integrales para hacer frente a estos fenómenos, lo cual permite un análisis comparativo de distintos enfoques y de lo que esto significa para las regiones emergentes, como América Latina, comparadas con las economías avanzadas, como Australia.

Durante los últimos 18 meses, Estados Unidos, China, Japón, el Reino Unido, Francia y Canadá lanzaron sus estrategias nacionales en relación con la IA, en las cuales persiguen objetivos económicos, sociales y de investigación (ver gráfico 7). Estas estrategias explican el modo en que cada país optimizará los beneficios de estas tecnologías y limitará su impacto negativo. Establecen planes ambiciosos para construir, fortalecer e invertir en áreas de investigación estratégicas; para desarrollar marcos regulatorios y éticos que se adecúen a cuestiones complejas planteadas por las capacidades de la IA; y para minimizar los efectos negativos sociales y económicos, incluso aquellos que afectan

GRÁFICO 7
LOS PAÍSES ESTÁN DESARROLLANDO MARCAS Y FORTALEZAS DIFERENCIADAS EN IA

REINO UNIDO

Propuesta de valor: Capacidad de investigación en IA líder a nivel mundial y publicación de vastos conjuntos de datos de capacitación.

Ejemplo: Deep Mind de Google se asoció con la Universidad de Oxford para capacitar a los expertos en IA.

ALEMANIA

Propuesta de valor: Experiencia industrial avanzada, fuerza de trabajo calificada y fuertes asociaciones entre la investigación y la industria.

Ejemplo: Amazon abrió un importante centro de investigaciones sobre IA en Tubinga.

CHINA

Propuesta de valor: Fuerza de trabajo capacitada en IA numerosa y en rápido aumento, significativas inversiones y ambición manifiesta del gobierno de transformarse en un líder mundial en IA.

Ejemplo: Se propuso como meta crear una industria de la IA de US$ 150.000 millones que sea líder mundial para 2030[1].

CANADÁ

Propuesta de valor: Capacidad nacional agregada fuerte.

Ejemplo: Fundó tres institutos nacionales de investigación en IA que concentran su actividad en áreas estratégicamente valiosas.

JAPÓN

Propuesta de valor: Implementar tecnologías confiables y avanzadas.

Ejemplo: Tercero en el *ranking* detrás de Estados Unidos y China por generar investigaciones innovadoras en IA[3].

ESTADOS UNIDOS

Propuesta de valor: Empresas privadas grandes con iniciativas de IA altamente desarrolladas.

Ejemplo: Más allá de las principales firmas, como Amazon, Google y Apple, tiene más de 1.000 *start-ups* en IA[2].

FRANCIA

Propuesta de valor: foco puesto en lo social y lo medioambiental y en los mayores talentos.

Ejemplo: Estrategia nacional para la IA basada en el informe Villani.

SINGAPUR

Propuesta de valor: Apoyo gubernamental para las iniciativas y la experimentación relacionadas con las "ciudades inteligentes".

Ejemplo: Iniciativa "Nación inteligente".

Notas: [1] Gobierno de China, "A Next Generation Artificial Intelligence Development Plan" (2017). [2] Venture Scanners, "Artificial Intelligence Sector Overview - Q1 2018". [3] *Times Higher Education* (sobre la base de datos de Elsvier), "Which Countries and Universities Are Leading on AI research" (2017).
Fuente: Análisis del equipo y examen documental.

GRÁFICO 8
LAS NACIONES PUEDEN DETERMINAR QUÉ SIGNIFICAN IA Y AUTOMATIZACIÓN PARA SU PAÍS

	ALTERNATIVAS CLAVE	OPTIMIZADAS POR MEDIO DE...	GESTIONADAS POR MEDIO DE...
VISIÓN Y VALORES	¿Cuál es la visión del país sobre la IA y la automatización en la economía y la sociedad? ¿Qué valores definirán el enfoque del país respecto de la IA y la automatización? ¿Cuál es la propuesta singular del país o su marca para las actividades relacionadas con la IA?	Crear una estrategia nacional con una visión clara e integral. Definir valores nacionales para moldear el desarrollo y el uso de la IA y la automatización en el país. Desarrollar una oferta de IA y marca nacional distintiva con la participación de las empresas, el Gobierno y los investigadores, y promoverla.	Utilizar sus valores y una estrategia nacional para anticipar los efectos negativos, como los *shocks* en el empleo, y prevenirlos o manejarlos. Desarrollar narrativas públicas que aborden y reduzcan los temores relacionados con los cambios motivados por las transiciones tecnológicas.
OPORTUNIDADES ECONÓMICAS	¿Qué oportunidades hay para mejorar la productividad adoptando IA y automatización? ¿Cómo puede el país generar nuevas fuentes de crecimiento a partir de la IA y la automatización aprovechando sus ventajas comparativas? ¿Cómo y dónde pueden crearse nuevas empresas y puestos de trabajo? ¿Cuáles son los efectos económicos negativos y los riesgos?	Identificar oportunidades económicas prioritarias en sectores clave y realizar pruebas tecnológicas piloto especialmente dirigidas hacia estos. Identificar oportunidades de mercado clave para exportaciones e IED y diseñar programas de atracción del comercio y las inversiones específicos. Utilizar nuevas fuentes de datos para crear indicadores económicos en tiempo real para una toma de decisiones y evaluación económica más informada e inmediata.	Rever y rediseñar los programas de apoyo a los ingresos, el empleo y el bienestar, y los marcos regulatorios para adaptarlos a las nuevas realidades del mundo del trabajo.
OPORTUNIDADES SOCIALES	¿Cómo pueden los gobiernos adoptar y acelerar la adopción de IA y automatización? ¿En qué sectores pueden la automatización y la IA mejorar los resultados sociales, por ej. salud, seguridad pública, protección del medioambiente? ¿Cuáles son los impactos sociales potencialmente negativos?	Desarrollar una hoja de ruta tecnológica para la adopción de IA y automatización por parte del Gobierno. Utilizar las compras del Gobierno para apoyar a las empresas y aplicaciones innovadoras en áreas prioritarias. Financiar los imperativos nacionales centrando actividades y talentos en resolver los problemas económicos y sociales más acuciantes.	Desarrollar estrategias para la transición de la fuerza de trabajo en el sector público. Desarrollar una capacidad de revisión de la ética relacionada con la IA para identificar y manejar sus efectos sociales.

Fuente: Elaboración propia.

al empleo. Si bien hay muchos elementos comunes en dichas estrategias, cada una refleja el contexto económico, social y cultural distintivo en el cual fue creada, y las fortalezas y oportunidades singulares de cada país en relación con la IA y la automatización.

Al desarrollar estas estrategias, los gobiernos están reconociendo que pueden tomar sus propias decisiones respecto de los valores que quieren consagrar en sus actividades de investigación en IA y de desarrollo de tecnologías, en lugar de simplemente reaccionar a los *shocks* económicos o sociales.

Estos enfoques ponen de relieve que los países tienen cierto grado de autonomía respecto de las decisiones que definen el modo en que la IA y la automatización se desarrollan y se utilizan dentro de su propia nación. Estas decisiones determinan aquello que los países pretenden lograr a partir de la creación o de la adopción de tecnologías de automatización e IA, y el modo en el cual desean optimizar las oportunidades y manejar los riesgos.

Los países pueden asumir un enfoque que tenga sentido para su propio contexto a partir del estudio de estas estrategias alternativas y pueden planificar las intervenciones necesarias para optimizar las oportunidades o manejar las amenazas.

Un análisis comparativo de las estrategias globales en materia de IA y de los enfoques adoptados en el mundo muestra que hay tres maneras diferentes en las que los países definen las oportunidades de la IA y las optimizan para aprovechar al máximo sus ventajas (ver gráfico 8). Estas son las visiones y los valores que el país define para la IA y la automatización; las oportunidades y las ventajas económicas a las que puede acceder sobre la base de su composición y su estructura sectorial; y las oportunidades para mejorar los resultados sociales y medioambientales.

Australia ya está optimizando las oportunidades en estas tres dimensiones. Su composición económica encaja con una ola de cambios tecnológicos centrada en el sector empresarial, y ha demostrado que puede desarrollar e implementar sistemas autónomos a escala. Sus investigaciones médicas líderes a nivel mundial y sus capacidades científicas en materia medioambiental también posicionan muy bien al país para desarrollar aplicaciones sociales a partir de las tecnologías de IA.

La brecha más inmediata que tiene que atender se encuentra en la falta de una estrategia nacional integral para las tecnologías de IA y automatización, que defina los objetivos que pretende alcanzar Australia a partir de estas tecnologías, las ventajas comparativas que implica alcanzarlos y su plan para manejar los aspectos negativos de la transición económica. Si bien algunas de estas áreas ya están cubiertas por otras estrategias nacionales, no fueron integradas dentro de una estrategia con una visión única y coherente. Esto llevó tanto al Gobierno Federal como a los Gobiernos estatales a encargar investigaciones o llevar a cabo consultas para informar el enfoque estratégico de Australia respecto de estas tecnologías.

América Latina tiene la oportunidad de definir sus propósitos y decidir de qué modo las inversiones en estas tecnologías podrían servirle para afrontar los desafíos actuales, como el lento crecimiento a largo plazo y sus menores y menos eficientes niveles de inversión, así como determinar las áreas en las que los países latinoamericanos tienen ya una ventaja comparativa que la IA o la automatización podrían realzar. También tienen la oportunidad de definir objetivos y valores más amplios, que sean relevantes para el contexto latinoamericano, de modo de delinear las mejores estrategias para las inversiones y la adopción de tecnología.

La experiencia de otros países también demuestra de qué modo se pueden identificar las oportunidades que les permitirían mejorar su preparación para los cambios provocados por la IA. Una revisión de las estrategias nacionales sugiere que hay cuatro elementos facilitadores que son insumos clave para todos los países que pretendan convertirse en líderes en la creación y adopción de IA y evitar los *shocks* negativos provocados por los cambios que la IA trae aparejados. Estos elementos son los individuos y sus aptitudes; los resultados de la investigación y el desarrollo y el acceso al financiamiento; los activos de datos e infraestructura; y los marcos regulatorio y ético (ver gráfico 9).

El empleo y las aptitudes son prioritarios para Australia. En particular, existen

GRÁFICO 9
LAS NACIONES PUEDEN DETERMINAR CÓMO CAPTURAR LAS OPORTUNIDADES DE LA IA Y LA AUTOMATIZACIÓN

	ALTERNATIVAS CLAVE	OPTIMIZADAS POR MEDIO DE...	GESTIONADAS POR MEDIO DE...
INDIVIDUOS Y APTITUDES	¿Tiene el país la combinación apropiada de talentos y aptitudes para los trabajos del futuro? ¿Qué significarán las transiciones laborales para los distintos tipos de trabajadores? ¿Pueden los sistemas educativos atender a necesidades de capacitación cambiantes?	Desarrollar habilidades digitales empresariales en todos los niveles educativos. Vincular mejor las trayectorias laborales y de aprendizaje, especialmente para los jóvenes. Capacitar sobre las innovaciones para formar a los trabajadores a lo largo de sus carreras.	Desarrollar una estrategia económica y de transición de los RRHH basada en información de las áreas de crecimiento del empleo y las aptitudes. Incentivar la capacitación en áreas donde hay escasez de habilidades. Utilizar datos comparativos sobre las aptitudes para ayudar a los trabajadores en la transición hacia nuevos puestos.
I + D Y COMERCIALIZACIÓN	¿Qué fortalezas de investigación clave son necesarias para ser competitivo en el campo de la IA? ¿Puede el país fortalecerlas o adquirirlas? ¿Qué tan fuertes son las vías de comercialización y los vínculos colaborativos entre los sectores público, privado y de investigación? ¿Hay suficiente acceso al financiamiento?	Crear una estrategia nacional de investigación que identifique áreas prioritarias y necesidades de infraestructura y financiamiento. Sumar investigaciones en campos estratégicos a través de institutos nacionales o centros de excelencia. Retener los principales talentos investigadores con financiamiento, infraestructura y oportunidades únicas.	Atraer la inyección temporaria de talentos siendo sede de conferencias mundiales. Utilizar programas de migración altamente calificada dirigidos a repatriar o atraer a los talentos más importantes del mundo. Incentivar la investigación aplicada y las becas doctorales en campos estratégicamente significativos.
ACTIVOS DE DATOS E INFRAESTRUCTURA	¿Qué activos de datos tiene el país? ¿Son accesibles para la audiencia indicada? ¿Tiene el país la infraestructura de datos apropiada? ¿Hay un marco regulatorio de normas y gobernanza de los datos?	Hacer disponibles los datos recopilados a través de iniciativas gubernamentales e investigaciones con financiamiento público. Generar estándares para los datos. Invertir en infraestructura de datos.	Incorporar reglamentaciones que rijan el uso, el intercambio y la privacidad de los datos.
MARCOS REGULATORIO Y ÉTICO	¿Pueden los marcos regulatorios abordar las tecnologías de IA y automatización? ¿Con qué procesos cuenta el país para plantear y resolver las cuestiones éticas?	Crear un Consejo Nacional para identificar proactivamente cuestiones éticas y regulatorias relacionadas con la IA y brindar asesoramiento. Facilitar el acceso de los reguladores a conocimientos especializados en IA. Generar *sandpits* y bancos de prueba regulatorios.	Crear mecanismos para involucrar a la industria y a los ciudadanos en la ética para la toma de desiciones. Asegurar que las medidas y las desiciones de los sistemas de IA sean atribuibles de manera justa y clara a personas jurídicas.

Fuente: Elaboración propia.

oportunidades para preparar mejor a los trabajadores actuales y futuros para este mercado laboral cambiante. Esto significa utilizar nuevos datos y técnicas analíticas para lograr una comprensión más inmediata y cabal de las tendencias del empleo y para generar más opciones de capacitación durante la carrera de un trabajador. Quienes brindan la capacitación pueden ayudar a los estudiantes a maximizar los resultados del aprendizaje y de su trabajo diseñando cursos que incorporen las aptitudes empresariales más demandadas, de modo de ayudarlos a ingresar más rápido y de manera más exitosa a empleos de tiempo completo.

En otras áreas, ya está obteniendo beneficios promisorios. Tiene fortalezas importantes en investigación y desarrollo en campos críticos de IA y automatización, y el Gobierno de Australia (8 de mayo, 2018) recientemente anunció que financiará el desarrollo de un marco ético nacional para generar estándares y códigos de conducta que rijan el desarrollo de tecnologías de IA. A nivel estatal, los Gobiernos están evaluando entornos de prueba regulatorios flexibles o *sandpits*, incluso en áreas como la de los vehículos autónomos.

Para América Latina, la cuestión de cómo manejar las transiciones en los empleos y las aptitudes también es importante. Un punto de partida útil puede ser analizar la oferta de trabajadores existente y la futura para determinar cómo pueden sufrir el impacto de la IA y la automatización y segmentarla en función de esto. Comparar la base actual de aptitudes con el empleo futuro proyectado y las habilidades que serán necesarias permitiría asimismo identificar las áreas en las que la región tiene fortalezas comparativas en el mercado de talentos y las áreas donde hay brechas por cubrir. Ambos trabajos permitirían el desarrollo de estrategias con diferentes matices y el análisis del modo en que la región podría adecuar la capacitación para un futuro marcado por la tecnología, aprovechando sus significativos avances en términos de logros educativos y aptitudes desarrolladas a lo largo de las últimas décadas.

Otra área en la que los países latinoamericanos podrían centrarse son sus capacidades cada vez más fuertes en el campo de la investigación. La región de América Latina y el Caribe incrementó la participación de sus gastos en investigación y desarrollo en el PIB del 0,56% al 0,77% entre 1996 y 2014, pero esta todavía sigue siendo significativamente más baja que el promedio mundial, que se ubica en el 2,15% (Banco Mundial, 2018). Si se priorizara la estrategia de I+D, esta podría identificar las áreas que ofrecen oportunidades económicas, las áreas de investigación en IA y automatización más relevantes para las anteriores y el nivel de las capacidades regionales en ellas. Esto permitiría el desarrollo de estrategias orientadas específicamente a atraer y retener talentos, así como inversiones en organizaciones de investigación, infraestructura de investigación y aplicaciones piloto utilizando una combinación de medidas transitorias y a largo plazo. Dados los hallazgos del BID que señalan que los menores niveles y la menor eficiencia de las inversiones constituyeron un freno al crecimiento a largo plazo de América Latina, esta estrategia también podría evaluar las brechas de financiamiento para la investigación, para la comercialización de tecnología y para las inversiones empresariales en nuevas tecnologías.

CAPACIDAD INDUSTRIAL Y COMPETITIVIDAD

La experiencia australiana indica que hay más por ganar de la adopción de IA de lo que hay que temer. Sus capacidades industriales y sus investigaciones de primer nivel mundial en campos de gran importancia relacionados con la creación o la utilización de nuevas tecnologías, como la automatización, el aprendizaje automático, la robótica, la computación cuántica, la genética y las investigaciones médicas, significan que puede ser competitiva globalmente en la comercialización y la adopción de estas tecnologías. La IA y la automatización también ofrecen nuevas oportunidades para mejorar la productividad, lo cual podría agregarle hasta US$ 2,2 billones a la economía. No es un hecho que estos beneficios se vayan a materializar. Requerirá una mejor preparación de los trabajadores para atravesar la transición, incluso a través de la mejora de sus niveles de calificación. Australia también puede darles más coherencia a su visión y estrategia nacionales para la IA y a la coordinación de los actores que intervienen en el ecosistema de la IA. No obstante, si comienza ahora mismo, Australia puede incrementar las probabilidades de que la transición sea menos problemática y de que las oportunidades económicas y sociales para la nación sean mayores.

Si bien los países latinoamericanos parten de una situación diferente, hay algunas enseñanzas que extraer de la experiencia reciente, en cuanto a los enfoques asumidos por otras naciones que también lidiaron con los beneficios y los desafíos del cambio tecnológico, y que pueden serles de gran ayuda a los países de América Latina a la hora de delinear su propio futuro.

NOTAS

[1] AlphaBeta, análisis de ASX y NASDAQ.

[2] Los términos "jóvenes", "jóvenes trabajadores", "persona joven" y "juventud" utilizados a lo largo de este trabajo se refieren a quienes tienen entre 15 y 24 años de edad. Las tendencias del empleo joven pueden consultarse en la Oficina Australiana de Estadística, Australian Bureau of Statistics (1978-2015), Labour Force, cat. no. 6291.0.55.001.

BIBLIOGRAFÍA

AlphaBeta. 2017. The Automation Advantage: How Australia Can Seize a $2 Trillion Opportunity from Automation and Create Millions of Safer, More Meaningful and More Valuable Jobs. Sídney: Alpha Beta.

—. 2018. Análisis no publicado.

Austrade. 2013. *Mining Software and Specialised Technologies*. Sídney: Commonwealth of Australia.

Australian Bureau of Statistics. 2006. Census Table Builder (cuadros interactivos del censo).

—. 2011. Census Table Builder (cuadros interactivos del censo).

—. 2016. Census Table Builder (cuadros interactivos del censo).

Australian Computer Society. 2017. *Australia's Digital Pulse: Policy Priorities to Fuel Australia's Digital Workforce Boom*. Deloitte Access Economics.

Banco Mundial. 2018. "Gasto en investigación y desarrollo (% del PIB)". Consultado: 10 de junio. https://datos.bancomundial.org/indicador/GB.XPD.RSDV.GD.ZS.

Cavallo, E. A. y Powell, A., coordinadores. 2018. *Informe macroeconómico de América Latina y el Caribe 2018: La hora del crecimiento*. BID.

FYA. 2015. *The New Work Order: Ensuring Young Australians Have Skills and Experience for the Jobs of the Future, Not the Past*. Melbourne: The Foundation for Young Australians.

—. 2016. *The New Work Mindset: 7 New Job Clusters to Help Young People Navigate the New Work Order*. Melbourne: The Foundation for Young Australians.

—. 2017a. *The New Work Smarts: Thriving in the New Work Order*. Melbourne: The Foundation for Young Australians.

—. 2017b. *The New Basics: Big Data Reveals the Skills Young People Need for the New Work Order*. Melbourne: The Foundation for Young Australians.

Gobierno de Australia. "Budget 2018 - New Opportunities and Jobs for Australian Industry". **8 de mayo, 2018**.

Hajkowicz, S. A., Reeson, A., Rudd, L. *et al.* 2016. *Tomorrow's Digitally Enabled Workforce: Megatrends and Scenarios for Jobs and Employment in Australia over the Coming Twenty Years*. Brisbane: CSIRO.

Innovation and Science Australia. 2017. *Australia 2030: Prosperity through Innovation*. Canberra: Australian Government.

Lowe, P. 2017. "Speech: The Labour Market and Monetary Policy". Sídney: Reserve Bank of Australia.

McKinsey Global Institute. 2018. "Where Machines Could Replace Humans — And Where They Can't (Yet)". Tableau Public. Consultado: 9 de junio. https://public.tableau.com/s/gallery/where-machines-could-replace-humans.

OIT. 2017. *2017 Labour Overview of Latin America and the Caribbean: Executive Summary*. ILO.

QS World University Rankings by Subject. 2016. Consultado: 9 de junio, 2018. https://www.topuniversities.com/university-rankings/university-subject-rankings/2016/computer-science-information-systems.

Rio Tinto. 2018. "Mine of the Future™". Consultado: 10 de junio. http://www.riotinto.com/australia/pilbara/mine-of-the-future-9603.aspx

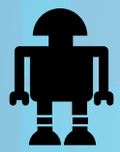
COBOTIZACIÓN EN RETROSPECTIVA

1941
Isaac Asimov formula las 3 leyes en robótica

1) Un robot no debe dañar a un humano
2) Un robot debe obedecer órdenes (sin romper la regla 1)
3) Un robot debe proteger su propia existencia (sin romper reglas 1 y 2)

1950
Alan Turing publica su artículo sobre máquinas que piensan y la famosa Prueba de Turing

1921
El témino "robot" es creado por el novelista checo Karel Čapek



1958
IBM produce el primer disco rígido de la historia con capacidad para 5 MB

1974
INTEL produce la generación de chips 8080

1986
Honda crea el primer humanoide capaz de caminar erguido

1988
El primer robot se incorpora al servicio del Hospital Danbury

1997
DeepBlue derrota a Gary Kasparov, campeón del mundo de ajedrez

1998
Se crea el primer robot que puede interactuar emocionalmente con los humanos

2005
Un automóvil autónomo de Stanford conduce solo 130 millas

2006
IBM presenta Watson, soluciones basadas en inteligencia artificial

2011
Apple crea Siri

2015
Amazon crea el asistente virtual Alexa que se conecta con otros dispositivos hogareños

2016
Amazon hace el primer envío a través de un dron

2017
Google Deep Mind y AlphaGO crean una IA que aprende sin ayuda humana

2018
Uber y Embraer presentan el primer taxi volador

¿Micro o macrodatos?

Una *medida alternativa* del riesgo de automatización del empleo

Santiago Chelala
INTAL-BID

LAS ESTIMACIONES EXISTENTES DEL RIESGO DE AUTOMATIZACIÓN DEL EMPLEO UTILIZAN MICRODATOS Y ESTIMAN PROBABILIDADES SOBRE LA BASE DE UNA SELECCIÓN SUBJETIVA DE LAS TAREAS MÁS SUSCEPTIBLES DE SER AUTOMATIZADAS. ESTE ARTÍCULO ANALIZA LAS DISTINTAS METODOLOGÍAS EXISTENTES Y PROPONE UNA MEDIDA COMPLEMENTARIA: UN ÍNDICE COMPUESTO QUE AGREGUE SERIES MACROECONÓMICAS Y PERMITA UN MONITOREO CONTINUO.

Nunca en la historia de la humanidad han faltado pronósticos apocalípticos. Desde las profecías de Nostradamus hasta el cambio de milenio, el fin de los tiempos se predijo en innumerables ocasiones por razones bien distintas. Y, sin embargo, aquí estamos.[1]

En la actualidad, los anuncios del fin del trabajo provocan pánicos similares a los que generaban los antiguos profetas. La automatización de las tareas por las cuales los trabajadores reciben un salario a manos de máquinas más eficientes y, a la larga, más baratas, asoma en el horizonte como un sismo ineludible en la historia de la humanidad.

Este tipo de literatura, usualmente, intenta responder dos preguntas: ¿podrá un robot hacer nuestro trabajo? y ¿qué haremos si eso ocurre? Es evidente que ninguno de los dos interrogantes tiene una respuesta sencilla. La primera cuestión se enfrenta a problemas metodológicos fundamentales asociados a la dificultad natural de predecir con información incompleta. La segunda cuestión abarca aspectos de diseño de políticas socioeconómicas complejas, como la generación de nuevas capacidades, la regulación de nuevos mercados de trabajo o los mecanismos de distribución del ingreso, entre otros.

Este artículo se enfoca en un aspecto específico del primer problema: la necesidad de contar con mejores métricas que permitan, en el mejor de los casos, realizar mediciones anticipatorias y evaluaciones de impacto y, como segundo-mejor, monitorear tendencias del impacto del cambio tecnológico en nuestras economías.

El desempleo tecnológico no es nuevo. Keynes (1930) advirtió: "Estamos siendo afectados por una nueva enfermedad de la que algunos lectores pueden no haber escuchado el nombre todavía, pero de la que escucharán mucho en los años por venir, y esta es el desempleo tecnológico".

Pero el ritmo actual de la innovación y la expansión de las aplicaciones tecnológicas a diferentes aspectos de la vida económica sitúan al fenómeno en otra dimensión. Brynjolfsson y McAfee (2014) denominan a esta nueva etapa "La segunda era de las máquinas". Schwab (2016) prefiere el nexo histórico al denominarla "Cuarta Revolución Industrial", una línea iniciada por Rifkin (1995). Planes gubernamentales de diversos países describen el fenómeno simplemente como industria 4.0.[2] En todos los casos se trata de lo mismo: internet de las cosas, ciudades inteligentes, *big data*, autos autónomos, inteligencia artificial, impresión 3D, *blockchain*, etcétera. Nuevas tecnologías se amalgaman a la estructura productiva, crean nuevos bienes y servicios y nuevos métodos productivos, pero no necesariamente nuevos empleos.

La ley de tránsito o ley de transfor-

mación sostiene que la acumulación de cambios cuantitativos graduales, imperceptibles, conduce de manera necesaria a cambios esenciales y cualitativos. Un cambio radical que ha afectado al mundo del trabajo es el aumento de la población. En el año 1800 había 1.000 millones de personas en el mundo y se había tardado 300 años en duplicar la cantidad de habitantes desde los 500 millones existentes en el siglo XVI. En 1920, la población mundial era de 2.000 millones, solo hicieron falta 120 años para una nueva duplicación. En la actualidad, la población global se duplica aproximadamente cada 40 años, se estima que ronda los 6.000 millones y que llegará a 9.000 millones en 2025. ¿Tienen nuestras economías la capacidad de generar la misma cantidad de empleos en proporción? ¿Qué tipo de empleos se crearán y qué profesiones se volverán obsoletas? Según el Banco Mundial (2016), en las últimas décadas hubo un incremento de la participación en el empleo de las ocupaciones intensivas en habilidades cognitivas y socioemocionales (*soft skills*), mientras que las ocupaciones intensivas en habilidades rutinarias disminuyeron.[3]

Desde que Frey y Osborne (2013) estimaron que el 47% de los empleos en Estados Unidos corren riesgo de ser automatizados en los próximos veinte años, proliferaron una serie de estudios que intentan estimar la cantidad de trabajos que podrían perderse, los sectores más vulnerables, las profesiones menos susceptibles a desaparecer, etcétera.

Quienes utilizan la metodología empleada por los especialistas de Oxford consideran que el mismo riesgo de automatización de una ocupación particular puede trasladarse a otros países. De esta forma, como aclaran Arntz, Gregory y Zierahn (2016), la diferencia entre países surge entonces exclusivamente debido a las diferencias en la estructura ocupacional de cada uno. A modo de ejemplo, si el 100% de los empleos de un país estuviera asociado a la profesión de bibliotecario, que a su vez tiene 99% de riesgo de desaparecer, el riesgo de automatización del empleo en ese hipotético país sería de al menos 99%. En una estructura ocupacional más compleja o diferente, simplemente se realizan los ajustes proporcionales.

Bajo esta metodología, Pajarinen y Rouvinen (2014) estimaron un riesgo de automatización de 35% en Finlandia, y Brzeski y Burk (2015), de 59% en Alemania, para citar algunos ejemplos. En América Latina, el MECON (2016) estimó el riesgo de 62% en Argentina y Aboal y Zunino (2017), de 66% para Uruguay. En una extensión del trabajo mencionado de Frey y Osborne, el Banco Mundial (2016) estimó, con esa misma metodología, el riesgo para otros países, como China (77%) o Ecuador (68%).

Estos estudios, lejos de ser inmunes a las críticas, suscitaron una serie de observaciones que pueden dividirse en tres grupos. En primer lugar, las críticas metodológicas de quienes sugieren, como Autor (2015), que la automatización impacta generalmente sobre una tarea específica, en lugar de una ocupación completa. Es decir, una ocupación, como podría ser la de vendedor minorista, implica la realización de una diversa cantidad de tareas que van desde la modificación de las etiquetas de los precios hasta la gestión de cobranza o el intento de persuasión del cliente.[4] Este enfoque reduce las estimaciones de riesgo calculadas por Frey y Osborne (2013) y es adoptado en Arntz *et al*. (2016) para países de la OCDE; los autores observan que incluso la misma ocupación, realizada en un lugar de trabajo distinto, requiere de diferentes tareas.[5]

Una segunda ola de críticas apunta a la visión estática, en lugar de dinámica, del estudio del fenómeno. Las nuevas tecnologías también darán lugar a procesos de cobotización (convivencia humano-robots en las fábricas), enfrentarán impedimentos regulatorios o institucionales para automatizar puestos de trabajo (sindicatos y uniones de trabajadores) y darán vida a nuevas ocupaciones que surgirán con las nuevas tecnologías, como sucedió con los científicos de datos o los arquitectos de realidad virtual. Al calcular la probabilidad de riesgo de automatización del trabajo sin tener en cuenta la creación de nuevos empleos (y los límites a la eliminación de los viejos), se estaría sobredimensionando el efecto negativo sin su correspondiente contrapeso.[6] En esta misma línea, Moretti (2012) destaca que cada empleo tecnológico genera un efecto multiplicador de cuatro nuevos puestos de trabajo, el doble de la industria tradicional, debido al mayor salario y a la propensión de las empresas tecnológicas de agruparse en *clusters*, una realidad que vuelve esencial al estudio de la dinámica en cualquier análisis prospectivo.

La tercera fuente de crítica es la histórica. Gregory, Salomons y Zierahn (2016) señalan que el trabajo, en lugar de jugar una carrera contra las máquinas, lo hace con las máquinas, en el sentido de que la evidencia muestra beneficios asociados al aumento de la demanda y derrames de conocimiento que generan nuevos empleos (*spillovers*). Mientras que Mokyr (2017) observa que, si bien el pasado es una guía pobre para predecir el futuro, y que las nuevas tecnologías "liderarán mejoras continuas en el bienestar económico, aunque esto no siempre se mida en las cuentas nacionales". La dificultad de contar con una medición precisa de este fenómeno es considerable. Ni siquiera una cuenta satélite para la innovación podría dar cuenta de fenómenos probabilísticos como ocurre con las tecnologías exponenciales antes

TABLA 1:
METODOLOGÍA Y RESULTADOS DE TRABAJOS SELECCIONADOS SOBRE RIESGO DE AUTOMATIZACIÓN DEL EMPLEO

	FREY Y OSBORNE (2013)	OCDE (2016 Y 2018)	WEF (2016)	BANCO MUNDIAL (2016)	MANYIKA *ET AL*. (2017)
METODOLOGÍA	Énfasis en ocupaciones. Base de datos O*NET para Estados Unidos.	Énfasis en tareas. Base de datos PIAAC para países de la OCDE.	Encuesta a empresas de 15 países en 9 sectores económicos.	Extensión de Frey y Osborne a otras economías y ajuste por retardo en adopción tecnológica.	Desagregación de 18 habilidades usadas en 2.000 actividades de 800 ocupaciones. Estimación según horas utilizadas en cada actividad.
RESULTADOS	47% de trabajos en riesgo de automatización en Estados Unidos.	9% de riesgo de automatización el promedio de 21 países OCDE.	5,1 millones de empleos perdidos.	66% de los empleos en países en desarrollo son susceptibles a automatización. El resultado es menor si se ajusta por adopción tardía de tecnología.	Menos de 5% de las ocupaciones son totalmente automatizables, pero el 60% tiene al menos 30% de actividades que lo son.

Fuente: Elaboración propia con base en Manyika *et al*. (2017).

de su adopción generalizada.[7]

La llamada paradoja de la productividad expuesta por Roach (1987) muestra que las inversiones en innovación y tecnología de la información no mueven el amperímetro de la productividad. En resumen, más tecnología, igual productividad por trabajador. Estos resultados reflejan el panorama en los albores de la revolución de las tecnologías de la información, una fotografía previa a la generalización del uso de internet. En el primer cuarto del siglo XXI, en los albores de la era de la automatización, podríamos estar ante la presencia de una nueva paradoja. Pero esta vez ya no por los resultados no deseados en materia de productividad, sino de bienestar. La automatización puede traducirse en un empeoramiento de la calidad de vida de la población, mayor exclusión y desempleo. ¿Para qué ganar productividad si esta ganancia conduce a una sociedad más inequitativa? ¿Cómo distribuir los dividendos digitales para evitar la fragmentación de las sociedades del futuro? Ante este panorama incierto, cualquier diseño de política pública que brinde alternativas de acción debe contar con la mejor información disponible sobre la evolución del proceso de automatización y sus consecuencias.

UNA ENSALADA METODOLÓGICA

El deseo de medir un fenómeno brumoso dio origen a una variedad de metodologías, muy diversas entre sí, que ofrecen resultados también distintos. El trabajo pionero de Frey y Osborne (2013) sostiene que existen tres cuellos de botella de tareas que no pueden ser aún automatizadas: tareas creativas, tareas sociales y tareas de precepción o manipulación. Esos tres cuellos de botella son desagregados en nueve tipos de tareas (negociación, persuasión, creación original, etcétera) que se utilizan en 702 ocupaciones provistas por la base de datos de empleos en Estados Unidos (O*NET). A un subconjunto de 70 ocupaciones, los autores asignan probabilidad 1 si pueden ser automatizadas o 0 si no pueden automatizarse. La asignación de ceros y unos surge de la consulta con un grupo de expertos en *machine learning* (una asignación subjetiva y *ad hoc*). El último paso es generar un algoritmo que predice, para las 632 ocupaciones restantes, la probabilidad de automatización según el grado de utilización de los nueve tipos de tareas que componen los cuellos de botella.

El Banco Mundial (2016) estiliza el estudio de Frey y Osborne para realizar cálculos de automatización en diferentes países, según su estructura de ocupaciones. Es decir, ponderadas por el nivel de empleo de cada país para cada ocupación. A estos resultados los llama "no ajustados", y realiza también un cálculo ajustado a las diferencias en el ritmo de adopción tecnológica en los países pobres utilizando el retardo de adopción de tecnologías de Comin y Mestieri Ferrer (2013).

El trabajo de Arntz *et al*. (2016) utiliza datos de la base de datos PIAAC (Programme for the International Assessment of Adult Competencies) para 21 países de la OCDE y diferencia el análisis con un enfoque basado en tareas, en el sentido de desagregar aún más las habilidades propuestas por Frey y Osborne. Incorporan así microinformación de cada empleo con tareas tales como trabajo en grupo o interacción cara a cara. Las diferencias con el enfoque anterior resultan sustanciales en materia de resultados. Para el empleo de vendedor minorista, al que Frey y Osborne asignan una probabilidad de automatización de 92%, Arntz *et al*. (2016) asignan apenas 4%. La diferencia no está solo en el enfoque, sino en las características de los datos utilizados. PIAAC permite un nivel de desagregación de la información que no tiene O*NET.

WEF (2016) realiza una encuesta en 9 sectores industriales de 15 países. Un total de 371 empresas con un total de 13 millones de empleados fueron encuestadas. A nivel agregado, el análisis muestra que las nuevas tecnologías destruirán un neto de 5,1 millones de empleo.

Con un método más parecido al de Arntz *et al*. (2016), Manyika *et al*. (2017), en un trabajo para McKinsey Global Institute, encuentran 2.000 actividades posibles según estadísticas de la Oficina de Estadísticas Laborales de EE. UU., que relaciona 800 ocupaciones con 18 habilidades humanas. El trabajo fue realizado para 46 países que concentran el 80% de la fuerza laboral global. A su vez, se identificaron 5 grupos de capacidades (que agrupan las 18 habilidades): percepción sensorial, capacidades cognitivas, procesamiento natural de lenguaje, capacidades sociales-emocionales y capacidades físicas, lo que da lugar al esquema del gráfico 1.

Luego se calificó de 1 a 4 el nivel de desempeño requerido por cada habilidad para cada una de las 2.000 tareas, donde 1 es desempeño nulo (o nula habilidad humana requerida); 2, desempeño bajo; 3, desempeño medio y 4, desempeño alto (o máxima habilidad humana requerida). Esta clasificación se hizo a partir de criterios subjetivos del grupo investigador (al igual que Frey y Osborne). La última etapa de la estimación consistió en asignar una cantidad determinada de horas trabajadas para cada actividad en cada ocupación, de modo de incluir en el cálculo probabilístico de riesgo de automatización las horas efectivamente destinadas.[8] El resultado es que menos del 5% de las ocupaciones son 100% automatizables, pero al menos un 60% de las ocupaciones tienen al menos un 30% de actividades con potencial técnico de automatización.[9]

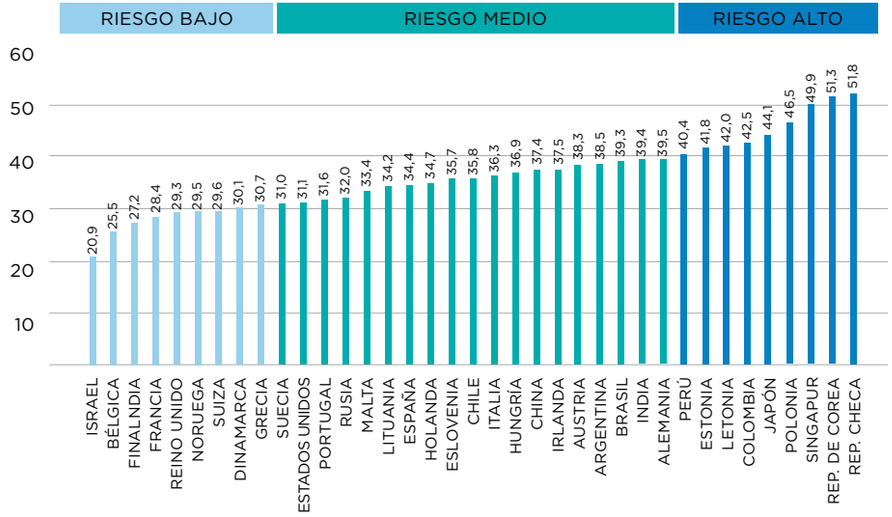
La disparidad de las mediciones resulta significativa (ver gráfico 1). Para el caso de Estados Unidos, el 47% de riesgo de automatización de Frey y Osborne (2013) y Frey *et al*. (2016) contrasta con el 10% de Arntz *et al*. (2016) y el 14% de Nedelkoska y Quintini (2018), ambos estudios de la OCDE, solo para citar el ejemplo más conocido. Un ejercicio simple de correlaciones entre las distintas estimaciones muestra incluso resultados negativos (correlación de -0,35) entre los valores obtenidos por Manyika *et al*. (2017) y Arntz *et al*. (2016) para los 15 países coincidentes en ambas muestras.

Estas mediciones suman dos problemas adicionales. Por un lado, no permiten la comparación periódica, salvo recalculando los riesgos de automatización para cada actividad según los avances tecnológicos (no lineales). Por otro lado, todas las estimaciones ponen énfasis en el impacto de las tecnologías sobre cierta ocupación/tarea/actividad específica y dejan de lado otros factores relevantes que forman parte del riesgo de automatización del empleo desde una perspectiva más amplia. Nos referimos al nivel educativo de la población, la estructura económica de un país o su canasta exportadora, todos factores relevantes a la hora de identificar los riesgos potenciales.

UN ÍNDICE COMPUESTO DE RIESGO DE AUTOMATIZACIÓN

Existen otros fenómenos relacionados a la automatización que no son tomados en consideración en el cálculo de la probabilidad de computarizar tal o cual tarea. A modo de ejemplo, si bien la automatización es un riesgo para tareas de todo tipo, las tareas rutinarias son

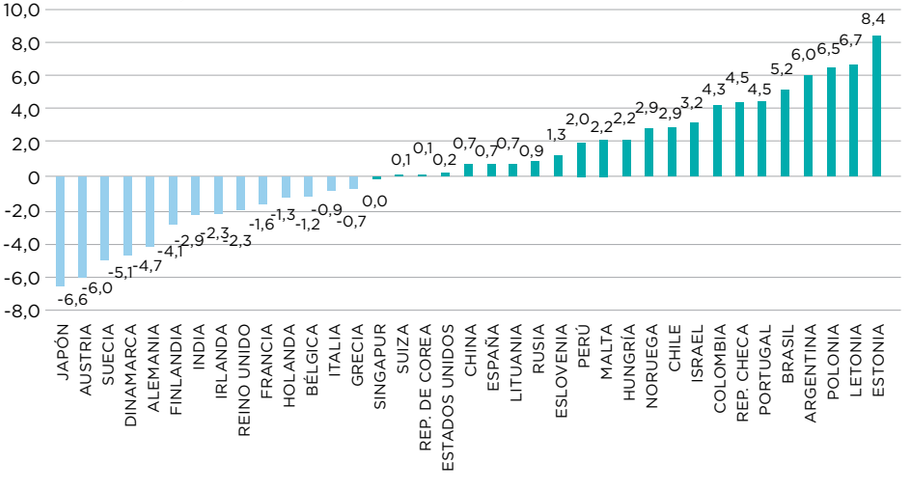
GRÁFICO 1
RIESGO DE AUTOMATIZACIÓN PARA 37 PAÍSES SELECCIONADOS (EN %)



Fuente: Elaboración propia.

más sencillas de automatizar y generalmente están asociadas a menores niveles educativos.[1] ¿Cómo incide entonces el nivel educativo de una población en el riesgo de pérdida de empleos a mano de las nuevas tecnologías? Este también

GRÁFICO 2
VARIACIÓN DEL RIESGO DE AUTOMATIZACIÓN (DIFERENCIA 2017 VS 2014, EN PUNTOS PORCENTUALES)



Fuente: Elaboración propia.

es el caso del estado actual de robotización de una economía, medido por la cantidad de robots que ya se encuentran operativos, una fotografía no contemplada en la probabilidad de automatización de Frey y Osborne (2013).

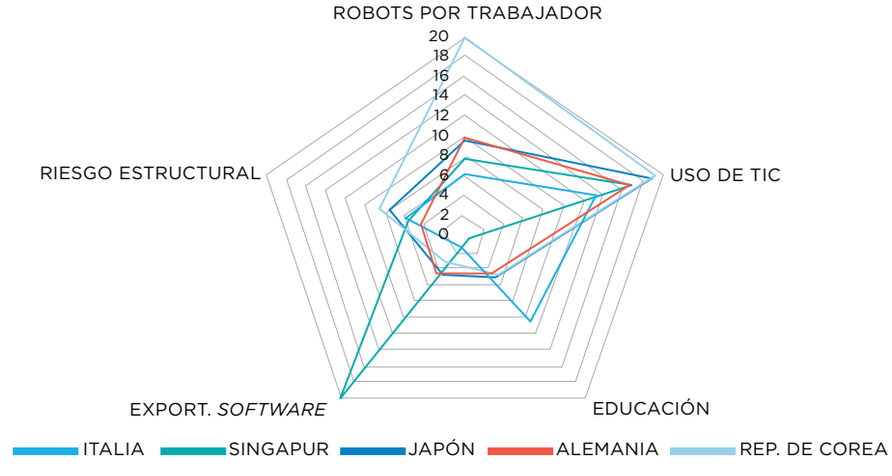
Esta información faltante, pero relevante, nos condujo a buscar una medida alternativa de riesgo de automatización. Este artículo propone un índice compuesto de riesgo de automatización que es, a todas luces, una medida complementaria y no sustituta de las estimaciones analizadas.

Las diversas dimensiones del fenómeno y la variedad de datos involucrados permiten suponer la utilidad de un índice compuesto que permita agregar indicadores de modo de simplificar el análisis y proveer información útil para hacedores de política económica.

Los indicadores agregados cuentan con una serie de ventajas bien documentadas. Jollands, Lermit y Patterson (2003) sostienen: "La información debe ser presentada de manera sencilla a los *policy-makers*". El trabajo muestra una serie de índices agregados que dieron buenos resultados en el estudio de fenómenos económicos complejos, como el *Index of Sustainable Economic Welfare*, el *Human Development Index*, el *Unified Global Warming Index*, entre muchos otros. Jollands *et al*. (2003) aseguran que la simplificación matemática es deseable por encima de la complejidad en estos casos y que estos indicadores son de gran ayuda para los hacedores de política porque permiten resumir un número considerable de información de manera sencilla.

Entre los puntos flacos, advierten que la agregación de índices siempre implica elecciones subjetivas y que en el agregado se puede perder información relevante. Siguiendo a Meadows (1998), advierten: "si demasiadas cosas se mezclan, el mensaje combinado es indescifrable". Las críticas usuales a los índices compuestos apuntan en dos direcciones. En primer lugar, que la elección de los parámetros a agre-

GRÁFICO 3
COMPONENTES DEL RIESGO DE AUTOMATIZACIÓN PARA LOS 5 PAÍSES CON MAYOR CANTIDAD DE ROBOTS POR TRABAJADOR



Fuente: Elaboración propia.

gar siempre depende en parte de la opinión de los expertos que realizan el índice. En segundo lugar, que el agregado de indicadores vuelve inobservable la interrelación o interdependencia entre ellos. Como vimos, de la crítica al subjetivismo tampoco están exentas las mediciones más usuales del riesgo de automatización, mientras que los test de multicolinealidad pueden evitar que se produzcan errores de inclusión de variables que están altamente correlacionadas y que, por lo tanto, puedan considerarse sustitutos al medir el mismo efecto.

El enfoque apropiado para la construcción de índices compuestos debe tener una metodología clara. Como señalan Mazziotta y Pareto (2013), "The heated debate within the scientific community, over the years, seems to converge towards the idea that there is not a composite index universally valid for all areas of application, and, therefore, its validity depends on the strategic objectives of the research".

La OCDE (2008) ofrece una guía completa para la construcción de índices compuestos. Entre las fortalezas de este tipo de indicadores, se destaca que permite resumir un conjunto de índices preservando la mayor proporción de las variaciones con respecto a los valores iniciales. Con este fin, advierte que es necesario un proceso de normalización previo.

En nuestro caso, optamos por la normalización min-max, que permite llevar los resultados de los distintos indicadores a un rango [0, 1], en coincidencia con la escala de riesgo de automatización usual que tiene un rango [0, 100]. El criterio de normalización es el siguiente:

(1) $$I^t_{qc} = \frac{x^t_{qc} - min_c(x^{t0}_q)}{max_c(x^{t0}_q) - min_c(x^{t0}_q)}$$

donde x^t_{qc} es el valor original de un indicador e I^t_{qc}, su reemplazo luego de la normalización a partir de los mínimos y máximos de cada serie. Así, las distintas variables que agregadas formarán el índice compuesto cumplirán la propiedad de ser invariantes a escala: se produce una normalización basada en la unidad y los nuevos valores adoptan el rango deseado.

Una vez seleccionado el método de normalización, es necesario elegir una metodología de agregación. La OCDE (2008) resalta: "By far the most widespread linear aggregation is the summation of weighted and normalised individual indicators", en una ecuación que viene dada por:

(2) $$C_c = \sum^{Q}_{q=1} w_q x_{qc}$$

donde $\sum w_Q = 1$, es decir que w_Q representa el peso de cada variable en el indicador de modo que $0 \leq w_Q \leq 1$ para todo q=1, ..., Q. , y c=1, ..., M. En esta oportunidad, brindamos información para una versión de índice compuesto donde todos los componentes tienen el mismo peso y dejamos para una investigación posterior el análisis de resultados que brinde mayor importancia a algunos componentes sobre otros.[11]

SELECCIÓN DE VARIABLES

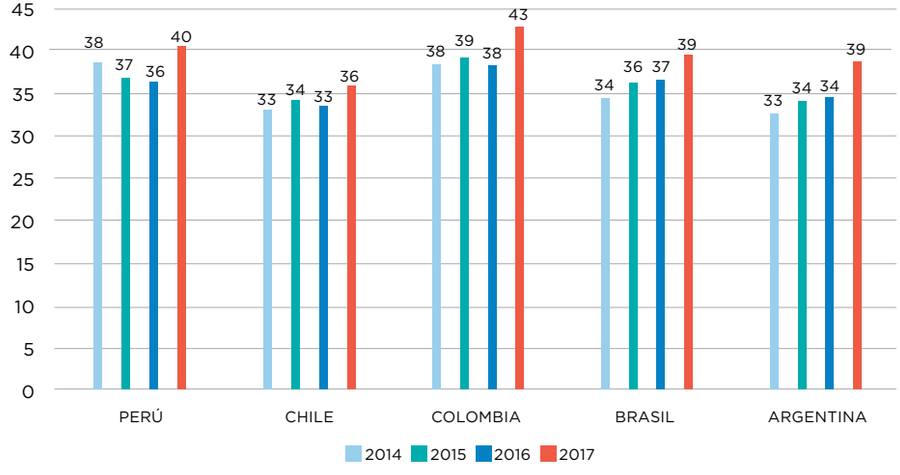
El índice fue construido para un set de 37 países (Norteamérica, América Latina, Europa y Asia) para una ventana de tiempo de 4 años (2013-2016). La frecuencia del índice es de carácter anual, dada la naturaleza de los datos que incorporan variables tecnológicas y de innovación.

Se seleccionaron variables vinculadas a la automatización desde un punto de vista macroeconómico o sectorial. La agregación de las variables en un índice compuesto permite así generar una medida de comparación entre los distintos países.

Para la construcción del índice se seleccionaron cinco componentes, con base en los criterios usuales de confiabilidad de la fuente, coherencia, relevancia, disponibilidad, experiencia del grupo de investigación, diversidad de aspectos observados, etcétera.[12] La selección de variables resultó la siguiente:

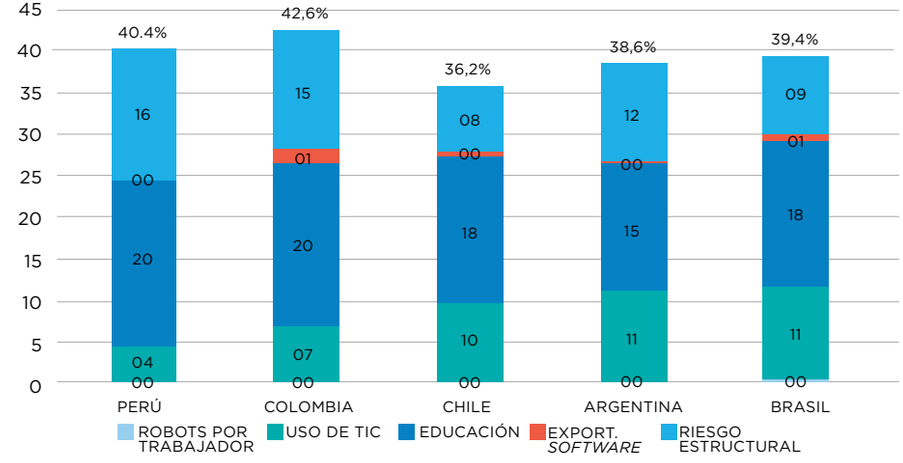
1. *Stock de robots por trabaja-*

GRÁFICO 4
DINÁMICA DEL RIESGO DE AUTOMATIZACIÓN, PAÍSES SELECCIONADOS (%)



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 5
DESCOMPOSICIÓN DEL RIESGO DE AUTOMATIZACIÓN PARA PAÍSES SELECCIONADOS (EN %)



Fuente: Elaboración propia.

dor. Hace referencia al *stock* de robots industriales de cada país a lo largo del tiempo. Se asume que mayor densidad de robots afecta de manera positiva al riesgo automatizable. Se utiliza como fuente las publicaciones de la Federación Internacional de Robótica (IFR) y del Banco Mundial.

2. *Uso de TIC*. Es un indicador que capta la intensidad y uso de TIC. Se asume que mayor uso de TIC afecta de manera positiva el riesgo automatizable vía mayor tecnología digital disponible para la automatización. Se utiliza como fuente la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU).

3. *Nivel educativo.* El componente que mide el nivel de educación es una agregación de variables que incluye, por ejemplo, la cantidad de graduados en ciencia y tecnología, la cantidad de inscriptos en niveles terciarios, la cantidad de investigadores y el gasto en educación por país. Se utiliza como fuente el Global Innovation Index en su apartado educativo y se asume que a mayor nivel educativo, menor es el riesgo de automatización.[13]

4. *Software Exports Share*. Es la participación de exportaciones de *software* en las exportaciones totales por país, captadas por los códigos 8523 y 8524 de la clasificación del sistema armonizado (HS). Se asume que un país cuya economía está completamente automatizada reflejará un alto contenido de *software* en su canasta exportadora.

5. *Riesgo estructural*. Es el peso del empleo en los sectores más susceptibles de ser automatizados (donde hay más robot por trabajador). Se trata de agricultura, manufacturas, comercio y transporte, y hoteles y restaurantes, con relación al empleo total. Estos sectores han sido señalados como los de mayor riesgo de automatización (Manyika *et al*., 2017).[14] Cuanto mayor sea el peso de sectores susceptibles de automatización, mayor será también el riesgo.

Tras un análisis de correlaciones para desestimar una posible multicolinealidad, estos cinco componentes fueron idénticamente ponderados en el cálculo del indicador final, de modo de no sesgar el cálculo hacia ninguna de las áreas cubiertas. Es perfectamente posible cambiar la ponderación para, por ejemplo, darle más importancia al presente (*stock* de robots) sobre el futuro (educación) o viceversa. Es importante notar que el resultado no estará reflejando un riesgo absoluto de automatización del empleo, sino un riesgo relativo, puesto que al normalizar los componentes del índice en un rango de [0, 100] lo que se tiene en cuenta en cada caso es la diferencia relativa entre los distintos países.

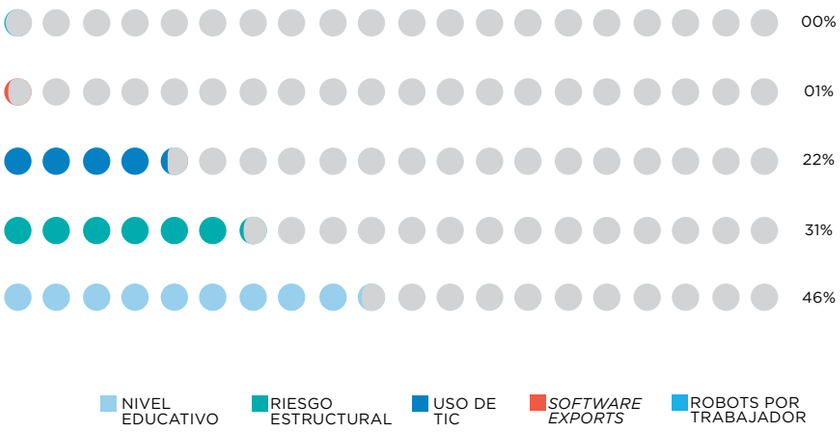
RESULTADOS OBTENIDOS

El gráfico 1 muestra los resultados para los 37 países del índice compuesto de riesgo de automatización. En los extremos, Israel (20,9%) tiene un bajo riesgo, en particular por su elevado nivel educativo y su bajo riesgo estructural, mientras que la República Checa aparece con el mayor riesgo (51,9%) debido a una elevada digitalización de su economía, elevadas exportaciones de *software*, sumado a una alta incorporación de robots al proceso productivo. La clasificación del riesgo en bajo, medio y alto es puramente subjetiva (como es usual), tomando en este caso el riesgo menor a 31% como criterio de demarcación entre riesgo bajo y riesgo medio, y un riesgo mayor a 40% para los países de riesgo alto, de modo de obtener 9 países en cada extremo y 19 países en la parte media de la curva.

Estos resultados muestran una correlación de 0,57 con los resultados obtenidos por Manyika *et al*. (2017) y de 0,44 con el Banco Mundial (2016) en su versión ajustada.

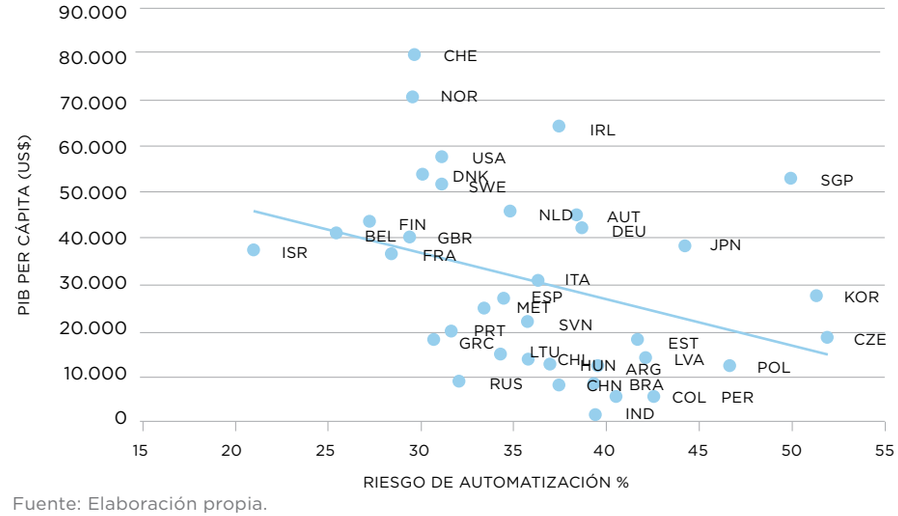
Una de las ventajas de este enfoque es la posibilidad de realizar una observación dinámica, a partir de la actua-

GRÁFICO 6
DESCOMPOSICIÓN DEL RIESGO DE AUTOMATIZACIÓN, PROMEDIO PAÍSES DE AMÉRICA LATINA (EN % DEL TOTAL)



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 7
RIESGO DE AUTOMATIZACIÓN Y PIB PER CÁPITA, PAÍSES SELECCIONADOS



Fuente: Elaboración propia.

lización anual de los componentes del índice. El gráfico 2 muestra la diferencia porcentual, ganada o perdida, en los últimos cuatro años. Japón, Austria y Suecia son los países que lograron reducir más su riesgo de automatización comparado, en general gracias a una diversificación de su estructura productiva hacia sectores menos vulnerables a la automatización. En el otro extremo, Estonia, Letonia y Polonia fueron los países que tuvieron un mayor incremento en el índice, en general por un deterioro relativo en su calidad educativa.

La metodología permite asimismo observar la composición particular del riesgo para cada uno de los países. Por ejemplo, si tomamos los cinco países que cuentan con mayor *stock* de robots por trabajador, con la única excepción de Singapur, el resto muestra una estructura similar de indicadores, con bajo riesgo estructural, altos niveles educativos (salvo Italia) y un uso extendido de TIC (gráfico 3).

Como mencionamos más arriba, una de las críticas que enfrentan los estudios más difundidos sobre el riesgo de automatización es la imposibilidad de efectuar análisis dinámicos que permitan monitorear cambios de tendencia en el corto plazo. El índice compuesto de riesgo de automatización subsana esta dificultad a partir del análisis de las distintas series de tiempo que lo componen. En los últimos cuatro años, para el caso de los países de América Latina incluidos en la muestra, es posible ver que el riesgo de automatización creció para Argentina, Brasil, Chile, Colombia y Perú (gráfico 4).[15]

La descomposición del riesgo de automatización para los países latinoamericanos muestra que el nivel educativo, relativamente bajo en comparación al resto de los países de la muestra, es un factor determinante. El 45,8% del riesgo responde a este elemento. En orden de magnitud, sigue el riesgo estructural, que en promedio abarca el 30,6% del riesgo total (gráficos 5 y 6).

Es factible también comparar la relación del índice compuesto con variables económicas tradicionales. A continuación, presentamos tres ejemplos: la relación con el PIB per cápita, con la desigualdad del ingreso y con la tasa de desempleo.[16] En primer lugar, con relación al PIB per cápita, el índice compuesto muestra una correlación negativa de 0,35. Sin que la información represente un análisis de causalidad, la evidencia empírica muestra que los países con mayor PIB per cápita tienen menor riesgo de automatización del empleo (suelen ser aquellos con mayor nivel educativo; ver gráfico 7).

Por otro lado, existe una correlación positiva con el índice de Gini (aunque débil), de 0,16. Es decir que los países con mayor índice de Gini (mayor desigualdad) son aquellos que también tienen más riesgo de automatización del empleo (gráfico 8).

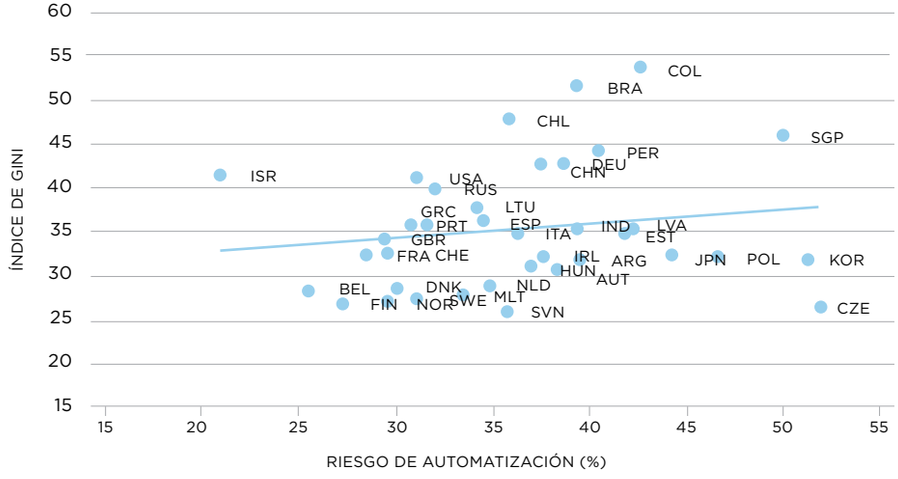
En tanto que la correlación del riesgo de automatización con el desempleo es, a diferencia de lo que podría pensarse a priori, también negativa y de 0,24. Es decir que los países con más riesgo de automatización, muchos de ellos debido a la actual concentración de robots por trabajador, tienen también bajas tasas de desempleo, como ocurre con Alemania, Singapur o Corea del Sur, para mencionar algunos ejemplos.

Esto puede ser consecuencia de que el incremento de productividad generado a partir de la digitalización de la economía o de la automatización de la producción actúa de contrapeso a la pérdida de empleo, como predice una parte de la literatura.[17]

MÉTRICAS ARMONIZADAS

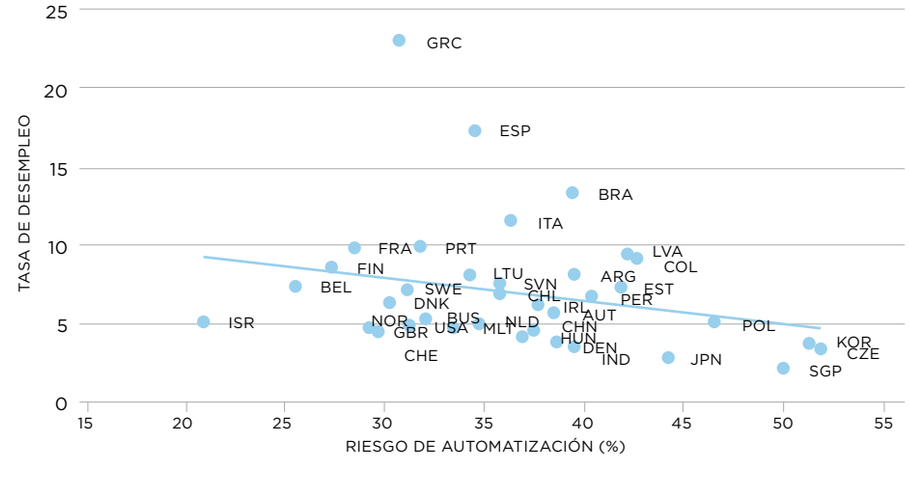
Necesitamos más y mejores medidas para monitorear el riesgo de automatización del empleo. La variedad de resultados y metodologías adoptadas hasta el momento reafirman la utilidad de encontrar métricas armonizadas que permitan comparar diferentes países y realidades, realizar un seguimiento en

GRÁFICO 8
RIESGO DE AUTOMATIZACIÓN Y DESIGUALDAD, PAÍSES SELECCIONADOS



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 9
RIESGO DE AUTOMATIZACIÓN Y DESEMPLEO, PAÍSES SELECCIONADOS



Fuente: Elaboración propia.

el tiempo y lograr un consenso razonable de sus resultados.

Este artículo apenas intenta mostrar una alternativa posible: elaborar un índice compuesto a partir de otros indicadores robustos. Este indicador bien podría incluir otros componentes no tenidos en cuenta en esta oportunidad, como datos provenientes del sector privado sobre la evolución de la demanda de empleo. Se trata de una medida complementaria y no sustituta de los estudios basados en microdatos.

Entre las ventajas que ofrece, están su simplicidad, la posibilidad de desagregar los resultados en diferentes aspectos relevantes para el fenómeno de automatización y de realizar una actualización periódica a medida que los componentes del indicador se vayan actualizando (cada año si se toman series anuales, como en este caso).

Para los países latinoamericanos que incluye esta muestra, el resultado reafirma la necesidad de diversificar sus exportaciones hacia sectores que sean menos susceptibles de automatización, ya que la tercera parte del riesgo promedio de estos países tiene su origen en la estructura productiva, más concentrada en sectores de alto riesgo. Este es el caso de las industrias culturales, la economía naranja y los servicios basados en conocimiento, donde los riesgos de automatización son más bajos.

La correlación empírica inversa encontrada entre el PIB per cápita y el riesgo de automatización llama a los países en desarrollo a redoblar el esfuerzo para mitigar las consecuencias negativas del actual proceso de incorporación tecnológica, ya que serán ellos quienes resultarán más afectados. En tanto que la correlación negativa con la tasa de desempleo pone al menos signos de interrogantes sobre los pronósticos más sombríos expresados en torno a la automatización.

NOTAS

[1] El autor agradece la excelente contribución de Luca Sartorio y Bianca Pacini en la organización de las bases de datos y en el armado del índice.

[2] Alemania, España, Reino Unido, Japón, Canadá, entre muchos otros países, han lanzado estrategias oficiales de incorporación de nuevas tecnologías a la producción industrial.

[3] Este es un aspecto que también destaca el MECON (2016).

[4] Frank Levy del MIT es aún más severo en su crítica metodológica al sostener sobre el artículo de Frey y Osborne: "This is a set of guesses with lots of padding to increase the appearance of scientific precision. The authors' understanding of computer technology appears to be average for economists (poor for computer scientists)". Ver http://curriculumredesign.org/wp-content/uploads/Comments-on-Oxford-and-Martin-Study.pdf

[5] Efectivamente, las habilidades requeridas para una modista no serán idénticas si se emplea en países occidentales u orientales, donde se estila una vestimenta más tradicional y, en algunos casos, más sofisticada.

[6] WEF (2016) intenta subsanar esta debilidad calculando los trabajos ganados y perdidos por las nuevas tecnologías.

[7] Coremberg y Nofal (2017) abordan la necesidad de medir los procesos intangibles de innovación. Mokyr (2017) añade que el problema se vuelve más complicado debido a que "the nature of work and the meaning of a job may well change radically as work becomes less and less confined in time and space".

[8] AlphaBeta (2017) realiza un cálculo similar para Australia.

[9] Manyika *et al*. (2017) calculan que la adopción de tecnologías como las computadoras personales o los teléfonos celulares tardó entre 5 y 16 años según cada región.

[10] Esta afirmación no desconoce la existencia de una vasta literatura que da cuenta de la polarización y de un efecto *hollowing-out*, donde los empleos de calificación media ceden terreno a manos de los empleos de calificación baja o alta (McIntosh, 2013). Algo similar ocurre con los *White-collar workers*, empleos calificados que, no obstante, corren riesgo de ser automatizados (contadores, bibliotecarios, agentes de viaje, etcétera).

[11] Con este fin es posible realizar un enfoque metodológico PAC (*Principal Components Analysis*). Sobre el tema, ver Jollands *et al*. (2003).

[12] Una lista completa de estos criterios puede verse en OCDE (2008, 49).

[13] Esta presunción es corroborada por el trabajo de Aboal y Zunino (2017), quienes observan que el riesgo de automatización decae a medida que crece el nivel educativo.

[14] Quedan fuera los sectores con riesgo de automatización medio o bajo. Este es el caso de la construcción, la intermediación financiera, actividades inmobiliarias, la administración pública y los servicios educativos, entre otros.

[15] El índice compuesto de 2017 fue elaborado a partir de las series de tiempo de 2016; el de 2016, con la información de 2015; y así sucesivamente.

[16] La fuente de datos en los tres casos, PIB per cápita, índice de Gini y tasa de desempleo, es la última información disponible para cada país del Banco Mundial.

[17] Este es el caso de los análisis de Moretti (2012) y Gregory *et al.* (2016), entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

Aboal, D. y Zunino, G. 2017. "Innovación y habilidades en América Latina". *Integración & Comercio*. 42: 42-57.

AlphaBeta. 2017. "The Atomation Advantage". Working Paper, mimeo.

Arntz, M., Gregory, T. y Zierahn, U. 2016. "The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis". OECD Social, Employment and Migration Working Papers, No. 189. París: OECD Publishing.

Autor, D. H. 2015. "Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation". *Journal of Economic Perspectives*. 29 (3): 3-30.

Banco Mundial. 2016. *World Development Report 2016: Digital Dividends*. Washington DC: The World Bank.

Brynjolfsson, E. y McAfee, A. 2014. *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. Nueva York: W. W. Norton & Company.

Brzeski, C. y Burk, I. 2015. "Die Roboter kommen. Folgen der Automatisierung für den deutschen Arbeitsmarkt" [The Robots Come. Consequences of Automation for the German Labour Market]. ING DiBa Economic Research.

Comin, D. A. y Mestieri Ferrer, M. 2013. "If Technology Has Arrived Everywhere, Why Has Income Diverged?". NBER Working Paper No. 19010. Cambridge: National Bureau of Economic Research.

Coremberg, A. y Nofal, B. 2017. "Una cuenta satélite para medir la nueva economía". *Integración & Comercio*. 42: 240-254.

Frey, C. B. y Osborne, M. 2013. "The Future of Employment: How Susceptible Are Jobs to Computerisation?". Working Paper. Oxford: Oxford Martin School, University of Oxford.

Frey, C., Osborne, M., Holmes, C. *et al*. 2016. "Technology at work v2.0. The Future Is Not What It Used to Be". Oxford: Oxford Martin School, University of Oxford y Citi GPS.

Gregory, T., Salomons, A. y Zierahn, U. 2016. "Racing With or Against the Machine? Evidence from Europe". ZEW Discussion Paper No. 16-053. Mannheim: Centre for European Economic Research.

Jollands, N., Lermit, J. y Patterson, M. 2003. "The Usefulness of Aggregate Indicators in Policy Making and Evaluation: A Discussion with Application to Eco-Efficiency Indicators in New Zealand". Working Paper. Canberra: ANU Research Publications, Australia National University.

Keynes, J. M. [1930 (1936)]. "Economic Possibilities for our Grandchildren". En: *Essays in Persuasion*. Nueva York: W. W. Norton & Co.

Manyika, J., Chui, M., Miremadi, M. *et al*. 2017. "A Future That Works: Automation, Employment, and Productivity". McKinsey Global Institute (MGI), enero.

Mazziotta, M. y Pareto, A. 2013. "Methods for Constructing Composite Indices: One for All or All for One?". *Rivista Italiana di Economia Demografia e Statistica*. LXVII (2): 67-80.

McIntosh, S. 2013. "Hollowing Out and the Future of the Labour Market". BIS Research Paper No. 134. Londres: Department of Business, Innovation and Skills.

Meadows, D. 1998. *Indicators and Information for Sustainable Development*. Hartland VT, EE. UU.: The Sustainability Institute.

MECON. 2016. "Estimaciones preliminares sobre la automatización del empleo en Argentina". *Estudios sobre planificación sectorial y regional*. 1 (1): 4-24.

Mokyr, J. 2017. "The Past and the Future of Innovation: Some Lessons from Economic History". Working Paper. Evanston: Northwestern University.

Moretti, E. 2012. *The New Geography of Jobs*. Boston: Houghton Mifflin Harcourt.

OCDE. 2008. *Handbook on Constructing Composite Indicators. Methodology and User Guide*. París: OECD.

Nedelkoska, L. y Quintini, G. 2018. "Automation, skills use and training", OECD Social, Employment and Migration Working Papers, París: OECD Publishing.

Pajarinen, M. y Rouvinen, P. 2014. "Computerization Threatens One Third of Finnish Employment". ETLA Brief No. 22. Helsinki: The Research Institute of the Finnish Economy.

Rifkin, J. 1995. *The End of Work: Technology, Jobs, and Your Future*. Nueva York: Putnam.

Roach, S. 1987. *America's Technology Dilemma: A Profile of the Information Economy*. Nueva York: Morgan Stanley Special Economic Study.

Schwab, K. 2016. *La Cuarta Revolución Industrial*. Editorial Debate.

WEF. 2016. "The Future of Jobs: Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution". Global Challenge Insight Report, World Economic Forum.

Distribución del ingreso en el planeta de las superestrellas

Anton Korinek
Universidad Johns Hopkins

ESTE TRABAJO SE CENTRA EN LA DIMENSIÓN INTERNACIONAL DE LA INEQUIDAD QUE PODRÍA SURGIR A CAUSA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA). SI ALGUNOS PAÍSES DEL MUNDO DOMINAN EL DESARROLLO DE LA IA, LOS PAÍSES QUE QUEDEN MÁS REZAGADOS SUFRIRÁN UN DETERIORO PROGRESIVO DE SUS TÉRMINOS DE INTERCAMBIO, LO CUAL EROSIONARÁ EL NIVEL DE VIDA DE LA POBLACIÓN. SE PRESENTAN DISTINTAS OPCIONES DE POLÍTICAS PARA MORIGERAR EL IMPACTO SOBRE LOS PAÍSES EN DESARROLLO.

Si los avances en materia de inteligencia artificial (IA) continúan como se espera, marcarán el comienzo de una era de crecimiento sin precedentes de la productividad y de la producción. Actualmente, la mayor escasez que enfrenta nuestra economía es la de mano de obra, como se puede apreciar en el hecho de que la mayor parte del ingreso generado por la economía se destina a compensar al factor trabajo. Incluso en las economías que tienen altos niveles de desempleo, más de la mitad del ingreso corresponde a los asalariados. Si cada tarea para la cual hasta ahora el trabajo humano había sido indispensable será desempeñada en el futuro por la IA, el producto total que pueda generar la economía y, por extensión, el ingreso total, se incrementarán rápidamente.

Incluso, algunos tecnólogos (por ejemplo, Kurzweil, 2005) predicen una singularidad, un punto en el cual las máquinas se volverán lo suficientemente inteligentes como para dominar la tecnología sobre la que están basadas y, así, podrán mejorarse a sí mismas recursivamente y acelerar el proceso de avance tecnológico, con el consiguiente crecimiento superexponencial. Las implicancias económicas de dicha singularidad han sido formalizadas recientemente, por ejemplo, por Aghion, Jones y Jones (2017) y Korinek y Stiglitz (2017, 2018).

Uno podría preguntarse por qué habría que preocuparse por el avance de la IA si nos introduce en una era de abundancia inigualable. El problema es que toda forma de progreso tecnológico también tiene un segundo efecto distintivo sobre la economía: más allá del aumento de la producción, lleva a cambios en la demanda relativa de factores y, por lo tanto, en los precios de dichos factores en esa economía, lo cual genera redistribuciones entre los propietarios de los factores. En particular, los salarios de los trabajadores que son sustituidos debido al avance tecnológico caen, mientras que los ingresos de los factores que complementan la innovación –en particular, los ingresos de los empresarios innovadores– aumentan. El gráfico 1 ilustra de manera esquemática estos dos efectos distintivos del avance tecnológico sobre la participación del trabajo en el producto –en el ejemplo del avance tecnológico que ahorra mano de obra, que aparece a la derecha, el ingreso del trabajo disminuye, incluso cuando aumenta significativamente el ingreso total–.

Hay una larga historia de redistribuciones de ingresos que llevaron a malestar social, como las generadas por el avance tecnológico. De hecho, dicho malestar muchas veces ha ido de la mano del progreso técnico. Desde los inicios de la Revolución Industrial, cuando en la Inglaterra de finales del siglo

XVIII se mecanizó la producción textil, el avance tecnológico enfrentó la resistencia social de los perdedores –en aquel momento, los tejedores artesanales que fueron desplazados por las máquinas y organizaron el movimiento ludita–.

A lo largo de los distintos períodos históricos, el cambio tecnológico mostró distintas formas de sesgo factorial. El avance tecnológico de los primeros tres cuartos del siglo XX fue, en términos generales, más o menos neutro para los factores, lo cual implicó que el fruto de ese avance se distribuyera de manera bastante equitativa entre los propietarios de los factores de toda la economía, incluidos los trabajadores. No obstante, durante las últimas cuatro décadas, los efectos distributivos de los avances tecnológicos han empezado a ser menos benignos y han llevado a una caída significativa del ingreso relativo de los trabajadores, como demostraron, por ejemplo, Karabarbounis y Neiman (2013). En particular, gran parte de los avances tecnológicos de las décadas más recientes reemplazaron las tareas rutinarias que desempeñaban los trabajadores de las capas medias de la distribución del ingreso, lo cual llevó a un crecimiento tanto de los trabajos no rutinarios de salarios bajos como de aquellos trabajos cognitivos mejor pagos, pero con un vaciamiento de los que se encontraban en el medio (ver, por ejemplo, Autor y Dorn, 2013).

El gran interrogante es si los futuros avances de la IA complementarán o sustituirán por completo el trabajo humano. Si bien se espera que haya mucha heterogeneidad entre los efectos a corto y mediano plazo, Korinek y Stiglitz (2017) sostienen que, en general, es probable que la IA sea una tecnología ahorradora de mano de obra que reduzca la demanda relativa de trabajadores humanos. En el futuro cercano, es probable que los trabajadores de todo el arco de niveles de calificación sufran un desplazamiento –los avances más recientes en el campo muestran que las máquinas están mejorando su desempeño tanto en tareas manuales no rutinarias de bajo nivel de calificación como en el desarrollo de tareas cognitivas altamente calificadas (por ejemplo, en radiología)–. También habrá numerosas profesiones en las que la IA hará que los trabajadores sean más productivos, particularmente aquellos que tienen las habilidades necesarias para crear o utilizar herramientas de IA. Por ejemplo, los programadores que cuenten con amplios conocimientos de aprendizaje profundo seguirán siendo cada vez más demandados. En general, es probable que a los trabajadores más calificados les vaya mejor a corto plazo, ya que, generalmente, tienen mayor facilidad para adaptarse a entornos cambiantes. A largo plazo, en cambio, si en algún punto se alcanza una singularidad, todo el trabajo humano podría ser reemplazado por las máquinas.

Otra razón de peso por la cual es probable que la IA sea ahorradora de mano de obra es que se trata de una tecnología digital que exhibe las dos propiedades clave de cualquier bien informático: la no rivalidad pero con posibilidad de exclusión (exploramos este mecanismo y sus implicancias en detalle en Korinek y Ng, 2018.) La no rivalidad significa que puede ser utilizado sin que se agote –una vez que un sistema de IA está ya programado y entrenado, puede ser utilizado por miles de millones a un costo marginal prácticamente nulo, como muestran los ejemplos de los servicios en línea provistos por Google, Facebook y otras empresas similares en todo el mundo–. Por el contrario, un bien físico que es utilizado por una persona, por ejemplo, una rebanada de pan o un automóvil, no puede ser utilizado simultáneamente por otros miles de millones. La exclusión significa que su poseedor puede evitar que otros lo utilicen. En el contexto de los bienes informáticos, esto puede deberse a que su propietario mantiene el secreto tecnológico o está protegido por derechos de propiedad intelectual, como las patentes.

Estas dos propiedades implican que la IA da lugar al surgimiento de monopolios naturales –desde una perspectiva macro, es más eficiente que una única empresa produzca el bien informático y se lo entregue al resto respecto de que haya una multiplicidad de firmas competitivas que redoblen sus esfuerzos e incurran en los costos requeridos para crear ese bien varias veces–. En el contexto de la IA, esto implica, por ejemplo, que es más eficiente que una sola firma programe el motor de búsqueda mundial y que una sola firma programe la red social mundial, etcétera. Sin embargo, más allá de que la estructura de mercado resultante sea un monopolio o un oligopolio con un puñado de actores, el efecto colateral es que esas firmas tendrán poder de mercado. Van a cobrar un margen sobre el costo marginal de producción. Este margen servirá, en parte, para cubrir el alto costo fijo del bien informático, por ejemplo, el de operar el motor de búsqueda más avanzado que exista, pero, normalmente, también generará rentas monopólicas significativas por encima de dicho costo.

Como resultado del juego de estas fuerzas, la innovación digital, en general, y la IA, en particular, dan lugar a una economía de superestrellas, en la que un pequeño número de firmas o emprendedores satisfacen las necesidades de una fracción creciente del mercado y obtienen beneficios enormes. Cada vez que un sistema de IA desplaza puestos de trabajo que habitualmente desempeñaban los seres humanos por métodos tradicionales, los salarios de los trabajadores caen y la renta de las superestrellas se incrementa, lo cual redunda en una mayor desigualdad. Debido a este fenómeno de las superestrellas, los avances en el campo de la IA tienen efectos en términos de inequidad que son mucho más desoladores que los que provocaron la mayoría de los progresos que hemos presenciado desde los inicios de la Revolución Industrial.

Un aspecto positivo es que todos los factores que son complementarios a la

GRÁFICO 1
EFECTOS DEL AVANCE TECNOLÓGICO

Fuente: Elaboración propia.

producción y que no son fácilmente reproducibles o cuya oferta es fija, como los recursos naturales, se beneficiarán del crecimiento económico generado por la IA. Por ejemplo, la IA de última generación consume mucha energía, por tanto, los precios de la energía para la economía en su conjunto aumentarán, y quienes posean recursos energéticos se beneficiarán.

Un segundo aspecto positivo es que, incluso si gran parte del ingreso económico calculado va a los bolsillos de las superestrellas, los consumidores igual obtendrán un excedente sustancial gracias a los servicios gratuitos que proporcionarán las superestrellas a través de sus esquemas de subvenciones cruzadas. El modelo de negocios de muchos servicios en línea, como los de los motores de búsqueda o las redes sociales, consiste en agrupar dos servicios diferentes: un servicio gratuito que los consumidores valoran y que es pagado por los ingresos que los propietarios obtienen al ofrecer otros servicios, los de publicidad. Incluso si todos los anunciantes tradicionales perdieran todos sus negocios, los consumidores seguirían obteniendo un excedente a partir de los servicios que se les brindan de manera gratuita.

INEQUIDAD ENTRE LOS PAÍSES

Hasta ahora, hemos descrito las fuerzas que pueden generar inequidad como si las redistribuciones se produjeran dentro de un país dado. No obstante, las posibilidades de que se produzca una mayor inequidad inducida por la IA entre los distintos países son igualmente altas –si no más altas–. Las fuerzas de las superestrellas antes mencionadas implican que las innovaciones en materia de IA pueden desplazar mano de obra y dañar a los trabajadores de todos los países del mundo, pero solo las superestrellas del país en el cual se desarrollaron dichas innovaciones acumularán los beneficios resultantes. Esto puede conducir a una economía mundial en la cual haya unas pocas empresas superestrella en unos pocos países superestrella, mientras todos los demás quedan rezagados. Debido a que el liderazgo en el desarrollo de la IA está principalmente en manos de los países avanzados más China y, quizás, Rusia, esto puede dar lugar a una gran redistribución regresiva del ingreso desde los países pobres hacia los más avanzados, lo cual conlleva el riesgo de que se produzca un incremento significativo de la pobreza mundial.

En términos técnicos, la redistribución desde los países pobres hacia los países superestrella que dominan el desarrollo de la IA podría materializarse a través del deterioro de los términos de intercambio. Actualmente, muchas de las exportaciones de los países pobres son intensivas en trabajo, con frecuencia, en mano de obra de bajos niveles de calificación. Este es uno de los factores que enfrentan el mayor riesgo de ser desplazados por la IA y, si esto sucede, el precio relativo de las exportaciones de los países pobres caerá con respecto al de sus importaciones, lo que los sumirá en la pobreza. Asimismo, el deterioro progresivo de los términos de intercambio que experimenten esos países podría erosionar su bienestar de manera bastante silenciosa, ya que el comercio internacional de IA y bienes informáticos no está adecuadamente reflejado en las estadísticas nacionales. Desde la perspectiva de las estadísticas tradicionales, los países perdedores, por un lado, crecerán más lentamente a nivel interno y, por el otro, notarán que reciben muchos bienes digitales baratos o gratuitos del exterior, pero quizás no se den cuenta de que estos dos fenómenos están relacionados, es decir, de que son dos caras de la misma moneda –sus términos de intercambio se deterioran de manera progresiva y, silenciosamente, erosionan sus niveles de vida–.

Para aportar más claridad teórica, puede ser útil plantear el peor escenario: si toda la mano de obra es reemplazada por una IA cada vez más barata, la dotación de factores de un país que solo exporta bienes intensivos en trabajo se verá completamente devaluada por el cambio tecnológico, de modo que el país, en el límite, no tendrá nada útil que exportar –y, por lo tanto, no podrá importar nada–. El resultado será que el país se volverá efectivamente autosuficiente. Para la mayoría de los países, especialmente para los más pequeños, que no tienen un tejido productivo ampliamente diversificado, esto sería un golpe muy duro.

Como ya hemos observado, para los países que exportan una cantidad significativa de productos básicos escasos, el deterioro de los términos de intercambio de las exportaciones intensivas en mano de obra puede verse parcialmente compensado por la mejora de los términos de intercambio de las exportaciones de productos básicos, cuyos precios pueden incrementarse debido al aumento de la demanda por parte de los países superestrella. No obstante, las exportaciones de productos básicos generalmente no se traducen en la misma cantidad de puestos de trabajo que las exportaciones de manufacturas, y los recursos naturales muchas veces se asocian a una "maldición de los recursos", que se origina en las dificultades políticas para distribuir entre toda la sociedad la riqueza generada por la extracción de estos. Además, centrarse en las actividades del sector primario, como las extractivas, puede no posicionar bien a la economía para el progreso tecnológico futuro, en particular, en el campo de la IA.

En síntesis, la primera cuestión que determinará la riqueza de un país en la era de la IA será el grado en el cual controle esta tecnología.

REDISTRIBUCIÓN INTERNA Y EXTERNA

Incluso si la IA incrementara la inequidad de manera significativa, una respuesta común de los países avanzados es que las implicancias pueden no ser demasiado graves, ya que los efectos de la IA sobre el crecimiento implican que los ganadores podrán resarcir fácilmente a los perdedores. De hecho, hay un teorema económico que postula que la redistribución puede asegurar que el progreso tecnológico siempre generará una mejora en el sentido de Pareto (es decir, hará que todos estén mejor) dentro de una economía cerrada (ver, por ejemplo, Korinek y Stiglitz, 2017).

Asimismo, a veces se sostiene que sería políticamente inaceptable que una gran parte de la fuerza de trabajo no recibiera ningún ingreso y, en consecuencia, las fuerzas políticas asegurarían que los trabajadores fueran compensados en caso de ser desplazados de sus puestos por las máquinas. Una idea política que se encuadra en este pensamiento y que es muchas veces defendida por los tecnólogos del Silicon Valley es la de un ingreso básico universal (IBU), que consistiría en pagarle cierto ingreso mínimo a todo el mundo, independientemente de su situación laboral o de sus posibilidades de empleo, y que sería financiado por impuestos cobrados a los ganadores del progreso tecnológico. Uno de los beneficios de un sistema como este, observado ya por Milton Friedman, quien fue uno de sus primeros promotores, es que, en el margen, no distorsionaría la decisión de quienes lo reciben respec-

to de cuánto trabajar, ya que se pagaría independientemente del monto de cualquier otro ingreso que reciban.

No obstante, la redistribución es un asunto político que genera mucha tensión. De hecho, la mayoría de los países, principalmente EE. UU., han visto un aumento de la resistencia a la redistribución en los últimos años. Que las ansias de redistribuir sean menores justamente cuando aumenta la inequidad puede explicarse, en parte, por la creciente influencia política de las superestrellas.

Si ya es difícil redistribuir dentro de un país, la dificultad para lograr una redistribución directamente entre los países es aún mayor. Por ejemplo, pocos defensores del IBU que sean mínimamente realistas pretenden que el ingreso sea literalmente universal; generalmente sugieren que se distribuya un ingreso básico de manera universal entre todos los ciudadanos de su propio país. Esto implica que será muy difícil que los países que sufren el deterioro de sus términos de intercambio reciban demasiada compensación por sus pérdidas, incluso si la economía mundial en su conjunto crece gracias al avance tecnológico.

Sin embargo, hay un margen significativo para aplicar medidas políticas que se centren en la raíz del problema, es decir, en las fuerzas tecnológicas que están detrás del fenómeno de las superestrellas. Ya hemos observado que la digitalización crea superestrellas porque da lugar a monopolios naturales. Estos monopolios naturales tienen muchas veces alcance global. Si algunos países dominan el desarrollo de la IA, otros quedarán cada vez más rezagados y estarán cada vez peor, a menos que la política contrarreste los efectos negativos que sufren en sus términos de intercambio.

Permítasenos discutir tres categorías de alternativas políticas para lidiar con el desarrollo vertiginoso de la IA y el fenómeno de las superestrellas globales, que también resumimos en la tabla 1.

CRECIMIENTO DE SUPERESTRELLAS

El objetivo primordial para los países que están participando en la carrera por la IA es generar las empresas superestrella a nivel mundial que dominen toda la industria y que constituyan los monopolios naturales globales. Esto les permitirá a los países en cuestión disfrutar de rentas monopólicas mundiales generadas por los bienes digitales que contrarrestarán cualquier pérdida que sufran por la caída de sus salarios a nivel interno y que los ayudarán a mejorar sus términos de intercambio.

Una salvedad importante es que puede no ser factible que cada país sea un país superestrella. Hay fuertes efectos de red en la industria de la IA que implican que a todos los países les resulta muy difícil desarrollar su propia industria de la IA, excepto a aquellos que actualmente ya están liderando el desarrollo de esta tecnología. Por ejemplo, el Silicon Valley ofrece una enorme dotación de trabajadores capacitados en el campo, así como una oferta prácticamente ilimitada de capital de riesgo. Por consiguiente, los países competidores que tratan de promover el crecimiento de sus propios empresarios superestrella muchas veces tienen que lidiar con la fuga de cerebros. Los empresarios superestrella son muy movedizos y tienen fuertes incentivos a trasladarse a donde están los semilleros de las innovaciones digitales, como el Silicon Valley. No hay una solución fácil a este problema para los países en cuestión, salvo esperar que algunos empresarios superestrella prefieran quedarse y que los demás les devuelvan algo a sus países de origen, por ejemplo, invirtiendo recursos en *start-ups* locales o contribuyendo a la educación de futuras superestrellas.

No obstante, habiendo señalado esta salvedad, permítasenos discutir tres alternativas políticas que se han propuesto. En primer lugar, durante las últimas décadas, la educación ha sido el lema en muchas discusiones respecto de cómo asegurar que un país pueda participar de la economía del conocimiento. No obstante, desearíamos adoptar aquí un enfoque un poco más matizado. La educación es ciertamente deseable por una innumerable cantidad de razones, incluidas las humanísticas, que están completamente fuera del reino de la economía (y a las cuales adhiero). Además, si en un futuro próximo, el progreso tecnológico estará sesgado según las aptitudes, es deseable tener una fuerza de trabajo mejor preparada. Sin embargo, no está del todo claro que aumentar el nivel educativo general de un país sea la forma más efectiva de fomentar el crecimiento de superestrellas. El acceso a un conjunto amplio de talentos –producto de la educación general– seguramente será de gran ayuda, pero una observación importante que corresponde hacer es que identificar y promover el crecimiento de las superestrellas globales requiere recursos adicionales centrados en los mejores talentos.

Un segundo factor importante para el desarrollo de empresas superestrella parece ser la existencia de un mercado digital interno, cuyo efecto es similar al del mercado interno de la teoría del comercio tradicional propuesta por Krugman (1980). Esta observación sugiere que hay ventajas significativas a partir del desarrollo de superestrellas en IA en aquellos países que tienen una base de clientes locales importante, como China y EE. UU. No obstante, los países pequeños pueden agruparse en un bloque de comercio digital a nivel regional –un objetivo que, por ejemplo, la UE tomó con mucha seriedad y que es recomendable para las demás regiones del mundo también–.

Un tercer factor es generar un entorno económico general que sea conducente al desarrollo de empresas innovadoras. Esto exige contar con la infraestructura adecuada –especialmente, la cibernética–, un marco regulatorio que evite que se reprima el crecimiento y la aceptación de que la toma de riesgos puede, a veces, llevar al fracaso.

TABLA 1
RECOMENDACIONES DE POLÍTICAS PÚBLICAS

PROMOCIÓN DEL CRECIMIENTO DE SUPERESTRELLAS	FINANCIAMIENTO PÚBLICO DE LOS BIENES PÚBLICOS GLOBALES	ACCESO A LOS BIENES INFORMÁTICOS FINANCIADOS POR PRIVADOS
• Invertir en los mejores talentos • Hacer crecer el mercado digital interno • Implementar políticas conducentes a la innovación	• Financiamiento público de las investigaciones • Esquemas de acceso abierto	• Acceso preferencial o concesión obligatoria de licencias de propiedad intelectual para los países pobres

Fuente: Elaboración propia.

FINANCIAMIENTO DE BIENES PÚBLICOS GLOBALES

Dado que no todo el mundo y no todos los países pueden ser una superestrella, permítasenos volver a los fundamentos de la teoría económica para presentar algunas alternativas de políticas desde una perspectiva más general. Hemos caracterizado el impacto de la innovación basada en IA como la creación de bienes informáticos en los que no hay rivalidad pero sí posibilidad de exclusión.

Muchas innovaciones, sin embargo, no son excluibles por su naturaleza, sino porque hemos creado los derechos de propiedad intelectual para permitir la exclusión. Estos derechos no emanan de leyes económicas fundamentales, sino que son dispositivos de segunda instancia para financiar las actividades innovadoras confiriéndoles un poder monopólico transitorio a los innovadores. Esto les permite obtener la renta monopólica que constituye un modo efectivo de afrontar los costos de esta actividad innovadora, pero un efecto colateral es que también crea una ineficiencia –conduce a los innovadores a aplicar márgenes sobre los bienes que venden y, por lo tanto, a vender cantidades subóptimas–.

La mejor solución en dicho contexto hubiese sido financiar públicamente las inversiones en investigación y hacer que las innovaciones resultantes estuvieran libremente a disposición de todo el mundo. De hecho, una serie de avances tecnológicos muy poderosos siguieron conforme a este modelo, probablemente el más famoso de todos ellos sea la internet, que fue concebida como una red digital descentralizada financiada por una agencia del Departamento de Defensa de EE. UU.

Es sumamente deseable financiar todos los bienes informáticos que sea posible, incluso en el campo de la IA, utilizando fondos públicos y asegurando su libre disponibilidad. Dado que los beneficios del financiamiento público de la innovación son globales, lograr el nivel socialmente óptimo de dicho financiamiento exige cierta coordinación internacional. Una analogía muy ilustrativa la encontramos en el campo de la salud pública, donde ha habido esfuerzos muy exitosos en términos de coordinación del financiamiento de los bienes públicos globales, como ciertas drogas o vacunas, que son particularmente importantes para los países menos adelantados.

No obstante, está claro que el financiamiento público de la investigación y el desarrollo alcanza solo hasta cierto punto. Está generalmente aceptado que es preferible que la investigación básica, que produce beneficios sociales muy difusos, sea financiada con fondos públicos; mientras que las innovaciones que se pueden comercializar son muchas veces más compatibles con el desarrollo privado, aunque esto dé lugar al fenómeno de las superestrellas que ya hemos discutido.

Curiosamente, hay incluso una serie de bienes informáticos que fueron desarrollados de manera privada y han sido compartidos con el público a través de licencias de acceso abierto. Por ejemplo, varias de las empresas superestrella del sector de internet han puesto libremente a disposición del público sus herramientas de programación de IA, como en el caso de TensorFlow de Google, probablemente motivadas, en parte, por el deseo de ampliar la cantidad de personas que saben usar estas herramientas y, a la vez, beneficiarse de esos conocimientos a la hora de contratar personal. El caso más común, y el que más prevalece entre las aplicaciones de IA más vanguardistas, es que las empresas privadas recurran tanto al secreto como a las leyes de propiedad intelectual para hacer que sus innovaciones sean excluibles.

ACCESO A BIENES INFORMÁTICOS

En el caso de las innovaciones que el sector privado puede proveer mejor, ofrecer los bienes informáticos producidos por las superestrellas a precios reducidos o, incluso, de manera gratuita es una buena forma de compensar a los países que no tienen superestrellas y sufren el deterioro de sus términos de intercambio. No hay ninguna razón económica de peso por la cual, por ejemplo, los países en desarrollo tengan que contribuir al financiamiento de las innovaciones en las empresas superestrella –que luego desplazarán a los trabajadores de dichos países– en la misma medida en que las financian los países que albergan a las superestrellas y recogen la mayor parte de los beneficios que estas generan. En otras palabras, no hay ninguna razón por la cual la propiedad intelectual tenga que gozar de los mismos derechos en los países que albergan a las superestrellas y experimentan luego mejoras en sus términos de intercambio que en los países que luego sufrirán un deterioro de los suyos. Como ya señalamos anteriormente, los derechos de propiedad intelectual son mecanismos de segunda para financiar la innovación y, cuando no hay compensaciones de suma fija, deberían tener en cuenta las preocupaciones distributivas para maximizar el bienestar social.

Es polémico defender el acceso preferencial a la propiedad intelectual para los países pobres que no tienen superestrellas, y muchos acuerdos comerciales bilaterales recientes entre países avanzados y en desarrollo, de hecho, han ido en la dirección contraria. Como en todas las discusiones respecto de este tema, los que proponen fuertes derechos de propiedad intelectual apuntan a la importancia de dichos derechos para financiar la innovación. No obstante, permítasenos expresar esto con claridad: la principal razón por la cual este tema es controvertido es precisamente porque debilitar los derechos de propiedad intelectual equivale a una enorme redistribución. Este es el motivo por el que hay ejércitos de grupos de presión que asedian a los negociadores para que los países avanzados obtengan concesiones relacionadas con los derechos de propiedad intelectual en los acuerdos comerciales. Para cristalizar esta cuestión: cuantos más derechos de propiedad intelectual otorgue a las empresas extranjeras un país que no tiene superestrellas, mayor será el deterioro que sufrirá en sus términos de intercambio y en sus niveles de vida.

BIBLIOGRAFÍA

Aghion, P., Jones, B. F. y Jones, C. I. 2017. "Artificial Intelligence and Economic Growth". NBER Working Paper No. 23928. Cambridge: NBER.

Autor, D. y Dorn, D. 2013. "The Growth of Low-Skill Service Jobs and the Polarization of the US Labor Market". *American Economic Review*. 103 (5): 1553-1597.

Karabarbounis, L. y Neiman, B. 2013. "The Global Decline of the Labor Share". NBER Working Paper No. 19136. Cambridge: NBER.

Korinek, A. y Ng, D. G. 2018. "The Macro-Economics of Digitization and Superstars". Documento de trabajo presentado en el 5th IMF Statistical Forum. Washington DC.

Korinek, A. y Stiglitz, J. E. 2017. "Artificial Intelligence and Its Implications for Income Distribution and Unemployment". NBER Working Paper No. 24174. Cambridge: NBER.

—. 2018. "Artificial Intelligence and the Simple Economics of Worker-Replacing Technological Progress". Documento de trabajo.

Krugman, P. 1980. "Scale Economies, Product Differentiation, and the Pattern of Trade". *American Economic Review*. 70 (5): 950-959.

Kurzweil, R. 2005. *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology*. Nueva York: Viking.

Educación **expandida y** ***personalizada***

Débora Schapira
Universidad Nacional de Tres de Febrero (UNTREF)
y Universidad Nacional de San Martín (UNSAM)

EN INTELIGENCIA EDUCATIVA EXISTEN AVANCES TANTO EN MATERIA DE RECURSOS PUESTOS AL SERVICIO DEL APRENDIZAJE COMO EN LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS EXPERTOS EN CONTENIDOS PARA LA ENSEÑANZA. CUÁL ES LA EVALUACIÓN DE IMPACTO DE LAS EXPERIENCIAS ACTUALES DEL USO DE IA EN EDUCACIÓN Y CÓMO ACTUALIZAR LAS POLÍTICAS PÚBLICAS EDUCACIONALES EN FUNCIÓN DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS.

La inteligencia artificial (IA) brinda, mediante el uso de tecnologías y programas informáticos, sistemas expertos capaces de colaborar y facilitar las actividades de enseñanza y aprendizaje de los alumnos.

A diferencia de los modelos de enseñanza impartidos por un ordenador (CAI, *Computer Assisted Instruction*), la principal característica de los sistemas inteligentes educativos es que proveen elementos de análisis para el diagnóstico cognitivo y personalizado de cada alumno; grado de conocimiento, estilos de aprendizaje, perfiles psicosociológicos, motivaciones. En función de esta información, se diseñan estrategias de enseñanza con recursos pedagógicos acordes a los perfiles y características de cada estudiante. Como estos modelos almacenan múltiples datos, proveen conocimiento experto con valor predictivo, capaces de diagnosticar, asistir y evaluar la didáctica en su conjunto y permiten, además, valorar la calidad educativa de cada institución.

En la IA existen dos tipos de herramientas aplicadas a la educación, las orientadas al alumno y las orientadas al profesor. Las primeras –los sistemas tutores inteligentes (STI)– surgen en la década del 70 y tienen el propósito de emular a un tutor humano en el proceso de enseñanza y aprendizaje. Las segundas –los modelos instruccionales– consisten en programas expertos destinados a colaborar con el profesor en las actividades de planificación y diseño de contenidos (gráfico 1).

El profesor Jaime Carbonell del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) fue uno de los pioneros en materia de STI y desarrolló el modelo SCHOLAR para el estudio de la geografía de los países de América del Sur destinado a alumnos de nivel primario.

En el caso de los modelos instruccionales, se destaca el proyecto que se está desarrollando en la Universidad de Utah[1] a cargo del profesor David Merrill; se trata de protocolos pedagógicos capaces de guiar al profesor en el diseño y organización del conocimiento de una determinada temática.

Actualmente, los STI presentan nuevas interacciones y funcionalidades, aunque todos ellos disponen de una arquitectura clásica donde se observan tres componentes –el módulo de dominio, el módulo del tutor o instruccional y el módulo del estudiante– y la interface con el usuario.

El módulo del dominio del conocimiento o del experto comprende los contenidos esenciales del tópico que se está enseñando, representa el conocimiento experto del tema y brinda soporte, ejemplos y resolución de preguntas para los alumnos.

El módulo del tutor define las estrategias de instrucción y automatiza los procesos de enseñanza, analiza las

divergencias de comprensión entre el profesor y el alumno y toma decisiones pedagógicas inteligentes a partir de las interacciones con los alumnos.

El módulo del estudiante examina los diferentes estilos de aprendizaje de los alumnos, los mecanismos para la resolución de problemas, los conocimientos previos adquiridos y opera sobre las inferencias necesarias para retroalimentar el módulo del tutor a partir de la experiencia del aprendizaje.

La interface presenta los contenidos de cada sesión del tutor utilizando textos, gráficos y material multimedia; en síntesis, permite la interacción del estudiante con todos los módulos del STI (gráfico 2).

PLATAFORMAS DE APRENDIZAJE ADAPTATIVO

Desde el año 2000, la inteligencia artificial en educación ha avanzado a pasos agigantados, las innovaciones se orientan a funcionalidades que proveen las tecnologías informáticas en cuanto a la recopilación de datos del proceso de aprendizaje y los hallazgos sobre la evidencia del comportamiento de estudio de cada alumno.

A estos sistemas y plataformas se las denomina "de aprendizaje adaptativo". Su objetivo es detectar las necesidades de cada estudiante y ofrecer contenidos y actividades adaptándose a cada estilo individual. El registro del progreso de cada alumno permite, a su vez, generar evaluaciones personalizadas; en síntesis, estos modelos representan soluciones más integrales a la enseñanza y el aprendizaje que las tradicionales.

Presentamos, a continuación, casos de plataformas inteligentes de aprendizaje adaptativo.

Knewton, una de las compañías más importantes del mundo, inicia sus actividades en 2008. Diversos expertos se refieren a ella como "el Google de la educación". Ofrece textos digitales, enseñanza, evaluación en línea y analíticas de aprendizaje por cada alumno. En su ideario, su *CEO*, José Ferreira, la define como una "plataforma probada y verdadera, que impulsa las soluciones de aprendizaje adaptativo de las principales editoriales y empresas educativas de todo el mundo". Ha formalizado alianzas con las editoriales Pearson PLC (Reino Unido), McGraw-Hill (EE. UU.), Cengage Learning (EE. UU.), Santillana (España), Le Livre Scolaire (Francia), Malmberg, (Holanda) Gakken Educational Co. (Japón) y Studentlitteratur (Suecia), también con la empresa Microsoft y con la Universidad Estatal de Arizona para la enseñanza personalizada de las matemáticas y la UTH Florida University.

Desde 2009, la división McGraw-Hill Education viene desarrollando diferentes plataformas inteligentes para educación superior.

SmartBook es un libro de texto que usa tecnología adaptativa para la lectura y aprendizaje, cuenta con tres millones de usuarios y puede ser utilizada por el alumno y el profesor. Al presentar los textos, detecta en la lectura del alumno sus áreas débiles y comprensión de textos, resalta las incongruencias en sus respuestas y ofrece el repaso de los contenidos. Para el profesor, facilita la incorporación de herramientas innovadoras de tecnología educativa en la clase, orienta a los alumnos en la selección de textos digitales y los invita a la lectura.

LearnSmart es otra plataforma, que puede usarse en conjunto con SmartBook, disponible para noventa áreas de estudio diferentes. Prepara a los estudiantes para los exámenes con base en preguntas clave relevadas y en función del comportamiento de millones de usuarios; con este aprendizaje individualizado se logra incrementar un 15% más las aprobaciones a los exámenes.

Smart Sparrow, fundada en 2010, es una plataforma de aprendizaje adaptativo originada en Australia, en la Universidad de Nueva Gales del Sur; está orientada primordialmente a colaborar con los docentes en el diseño de sus clases. Posee un tutorial muy amigable que facilita el armado de contenidos con diversos formatos de pantallas, gráficos y otros componentes sumamente atractivos. Permite insertar preguntas alusivas al texto y cuenta además con utilitarios que simulan prácticas de laboratorios, en particular en disciplinas del campo de las ciencias médicas. Refuerza, además, lo aprendido con la utilización de juegos pedagógicos para apoyar el proceso de enseñanza.

15%
AUMENTAN LAS APROBACIONES DE EXAMEN CON LEARNSMART

Carnegie Learning, fundada en 1998, es una plataforma inteligente líder en investigación y enseñanza de la matemática para los grados sexto, séptimo y octavo; incluye, además, los libros de texto. Fue desarrollada originalmente por investigadores del centro de computación y robótica de la Universidad Carnegie Mellon (Pittsburgh) y actualmente sus productos son comercializados por la empresa homónima. Fue seleccionada por la Actividad Educativa del Departamento de Defensa (DoDEA) de los Estados Unidos como el proveedor suplementario de *software* matemático para 24.000 estudiantes de escuela intermedia y secundaria en bases militares en las regiones de América, Europa y el Pacífico.

En Brasil, Geekie, creada en 2016, es una plataforma de aprendizaje adapta-

GRÁFICO 1
IA Y SUS APLICACIONES EN EDUCACIÓN

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 2
SISTEMA DE TUTORES INTELIGENTES

Fuente: Elaboración propia.

tivo para nivel primario. Se encuentra acreditada por el Ministerio de Educación de Brasil, se aplica en 5.000 escuelas y cuenta con 5.000.000 de usuarios. Ha sido premiada como una de las cinco mejores iniciativas innovadoras en educación y es miembro del programa nacional de la Unesco de Escuelas Asociadas. Entre sus beneficios se destaca la preparación para los alumnos de las pruebas ENEM (Examen Nacional de Enseñanza Media), de rendimiento obligatorio para el ingreso a la educación superior pública en Brasil.

NUEVAS TENDENCIAS

Las capacidades de expansión de estas plataformas inteligentes son inimaginables y su compatibilidad con las aplicaciones tradicionales del *e-Learning* marca las nuevas tendencias. Presentamos a continuación algunos ejemplos de estos nuevos desarrollos.

Learning Management System

En la actualidad, las modalidades de *e-Learning* se nutren, para el dictado de cursos, de diferentes sistemas de gestión del aprendizaje (*Learning Management System*, LMS); entre las más conocidas, mencionamos a las plataformas Moody y Blackboard. Estas LMS son compatibles y articulan perfectamente con los sistemas de aprendizaje adaptativo, y es factible observar diferentes asociaciones entre las empresas y las instituciones educativas que operan como eslabones de una cadena de valor, lo que acorta la brecha entre los beneficios entre un sistema y el otro.

A nivel institucional, varias universidades en Estados Unidos han desarrollado estos modelos últimos. Lo interesante de estos desarrollos es que son proyectos originados en los sistemas educativos nacionales, a diferencia de los que provienen del sector industrial educativo.

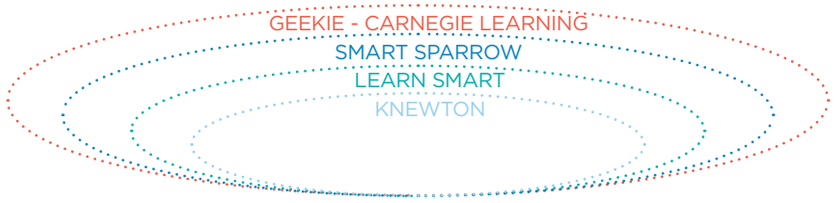
Para ilustrar estos modelos, destacamos a la Universidad de Georgia, la Universidad Estatal de Oregón, Portland State University, la Universidad Técnica de Colorado y Open Universities, en Australia. Estas dos últimas desarrollaron Intellipath y Personalised Adaptive Study Success (PASS), respectivamente, para el aprendizaje de álgebra y el monitoreo del rendimiento de los alumnos en los cursos.

Aprendizaje adaptativo

Pearson PLC ofrece MyLab & Mastering, una plataforma inteligente para uso en las diferentes asignaturas de estudios universitarios que posee 11 millones de usuarios y provee a los docentes tecnología educativa para el uso de tutoriales adaptativos, textos en línea y evaluaciones.

Santillana tiene su producto de aprendizaje adaptativo para la enseñanza de la matemática a nivel secundario, pionero en España y América Latina, denominado "A_2O, Aprendizaje Líquido". En su versión experimental, ha sido utilizado por más de 70 docentes y 1.000 alumnos de álgebra de 11 y 13 años de diferentes países.

GRÁFICO 3
PLATAFORMAS DE APRENDIZAJE ADAPTATIVO



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 4
TENDENCIAS EN IA

Fuente: Elaboración propia.

Nuevos sistemas educativos

Resulta interesante analizar la relevancia de las carreras de IA y robótica en la oferta educativa de las universidades de América Latina y el mundo.

Si bien es cierto que los títulos de las carreras pueden variar, el alcance del campo de estudio es el mismo y denota el grado de innovación que los sistemas científicos y educativos están dispuestos a desarrollar en cada país.

Uno de los nombres más usados de estas carreras es "mecatrónica". Su significado hace referencia a la integración de tres campos de la ingeniería tradicional: ingeniería mecánica (de donde se toma el prefijo "meca"), ingeniería electrónica (de donde se toma el sufijo "trónica") e ingeniería de cómputo (informática); el propósito de estos estudios es habilitar a los graduados para el desarrollo de los procesos de diseño y elaboración de productos y maquinarias complejas.

¿Cómo se articulan los estudios de IA con la educación? Estas carreras desarrollan en los graduados competencias para el diseño y la programación de soluciones informáticas referidas a sistemas de inteligencia, en particular el sistema educativo y a los subsistemas de aprendizaje adaptativo. Estas aplicaciones automatizan las tareas y simplifican la dinámica pedagógica, y colaboran de este modo con el profesor y el alumno en las actividades de enseñanza y aprendizaje.

No es casual, entonces, que aquellos países de vanguardia en innovación tecnológica y *performance* educativa incorporan estas especializaciones en su oferta académica.

A los efectos de ilustrar esta realidad, hemos seleccionado países líderes en esta materia: Canadá, Finlandia, Israel, Japón, Reino Unido, Alemania y Estados Unidos; y, en América Latina, México, Colombia, Chile, Perú, Argentina y Uruguay (ver gráfico 5).

EVALUACIÓN DE IMPACTO

Iniciativas Educativas, del inglés *EI*, es una destacada organización educativa en la India que promueve las mejores prácticas de aprendizaje y provee sistemas de aprendizaje adaptativo para las escuelas públicas y privadas del país. Uno de ellos es Mindspark, cuyo objetivo es acompañar a docentes y alumnos en el aprendizaje y evaluación de lengua, matemática y ciencia, entre el tercer y el noveno grado. A los efectos de establecer un marco semejante, estas evaluaciones son comparables en su exigencia y eficacia con el examen que rinden los alumnos en Inglaterra, el Certificado General de Educación Secundaria (GCSE, por sus siglas en inglés).

CUADRO 1
CARRERAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

PAÍS	UNIVERSIDAD	NOMBRE CARRERA	LAPSO	NIVEL	PÚBLICA	PRIVADA	OBSERVACIONES
URUGUAY	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL URUGUAY (UTEC)	INGENIERÍA EN MECATRÓNICA	6 AÑOS	GRADO	X		
CHILE	UNIVERSIDAD DE CHILE	INGENIERÍA CIVIL MECÁNICA	6 AÑOS	GRADO		X	
	UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA (USM)	TÉCNICO UNIVERSITARIO EN ROBÓTICA Y MECATRÓNICA	2,5 AÑOS	TERCIARIO		X	
	UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO (UNAB)	INGENIERÍA EN AUTOMATIZACIÓN Y ROBÓTICA	4 AÑOS	GRADO		X	
COLOMBIA	UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO (UTADEO)	APLICACIÓN INDUSTRIAL DE CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS	S/D	GRADO		X	DIPLOMATURA
	UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA (UPB)	ESPECIALIZACIÓN EN ROBÓTICA Y MECATRÓNICA	1 AÑO	POSGRADO		X	
PERÚ	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL PERÚ (UTP)	INGENIERÍA MECATRÓNICA	5 AÑOS	GRADO		X	
	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ (PUCP)	INGENIERÍA MECATRÓNICA	5 AÑOS	GRADO		X	
	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE (UPN)	INGENIERÍA MECATRÓNICA	5 AÑOS	GRADO		X	
	UNIVERSIDAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA (UTEC)	INGENIERÍA MECATRÓNICA	5 AÑOS	GRADO		X	
MÉXICO	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE MÉXICO (UNITEC)	INGENIERÍA MECATRÓNICA	5 AÑOS	GRADO		X	
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM)	INGENIERÍA MECATRÓNICA	5 AÑOS	GRADO	X		
	UNIVERSIDAD DEL VALLE DE MÉXICO (UVM)	INGENIERÍA MECATRÓNICA	9 CICLOS	GRADO		X	
	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA EN GUANAJUATO (UPG)	INGENIERÍA MECATRÓNICA	S/D	GRADO Y POSGRADO	X		
ARGENTINA	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO (UNCUYO)	INGENIERÍA MECATRÓNICA	5 AÑOS	GRADO	X		
	UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES (UBA)	AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL	1 AÑO Y MEDIO	POSGRADO	X		
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA MATANZA (UNLAM)	INGENIERÍA ELECTRÓNICA	5 AÑOS	GRADO	X		TÉCNICO SUPERIOR UNIVERSITARIO EN ELECTRÓNICA (TÍTULO INTERMEDIO) TELECOMUNICACIONES Y TELEMÁTICA, ROBÓTICA, MULTIMEDIA (ORIENTACIONES)
	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL (UTN)	AUTOMATIZACIÓN Y ROBÓTICA	3 AÑOS	GRADO	X		TECNICATURA: TÉCNICO SUPERIOR EN AUTOMATIZACIÓN Y ROBÓTICA
	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA (UCA)	INGENIERÍA INFORMÁTICA	5 AÑOS	GRADO		X	TÍTULO EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL
	INSTITUTO TECNOLÓGICO BUENOS AIRES (ITBA)	INGENIERÍA ELECTRÓNICA	5 AÑOS	GRADO		X	CON ORIENTACIÓN EN MECATRÓNICA
JAPÓN	UNIVERSIDAD DE KYOTO	MECATRÓNICA	S/D	GRADO	X		
	UNIVERSIDAD DE NAGOYA (CENTER FOR MICRO-NANO MECHATRONICS)	INGENIERÍA EN NANO CIENCIA DE LOS MATERIALES	S/D	POSGRADO	X		CON APLICACIONES EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL
		INGENIERÍA EN NANO DISEÑO Y FABRICACIÓN	S/D	POSGRADO	X		CON APLICACIONES EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL
		INGENIERÍA DE NANO MEDICIÓN	S/D	POSGRADO	X		CON APLICACIONES EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL
		INGENIERÍA EN NANO CONTROL	S/D	POSGRADO	X		CON APLICACIONES EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL
	UNIVERSIDAD DE TOHOKU	ROBÓTICA	S/D	GRADO	X		
ALEMANIA	UNIVERSIDAD DE STUTTGART	MECATRÓNICA	6 SEMESTRES	GRADO Y POSGRADO	X		GRADO: 6 SEMESTRES, 4 BÁSICOS Y 2 DE ESPECIALIZACIÓN; MAESTRÍA: 4 SEMESTRES Y 12 SEMANAS PRÁCTICAS Y 5 OPCIONES DE ESPECIALIZACIÓN
	UNIVERSIDAD DE ERLANGEN-NÜREMBERG (FAU)	MECATRÓNICA	S/D	GRADO Y POSGRADO	X		
	UNIVERSIDAD DE HANNOVER	MECATRÓNICA	2 AÑOS	MAESTRÍA Y POSGRADO	X		
	HOCHSCHULE RAVENSBURG-WEINGARTEN	MECATRÓNICA	3 SEMESTRES	MAESTRÍA	X		
FINLANDIA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE TAMPERE	MAESTRÍA EN ROBÓTICA E INTELIGENCIA ARTIFICIAL	S/D	POSGRADO	X		SISTEMA DE CRÉDITOS
	UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS DE SAIMAA	INGENIERÍA MECÁNICA Y TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN	3,5 AÑOS	GRADO	X		
REINO UNIDO	UNIVERSIDAD DE MIDDLESEX	MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS MECATRÓNICOS	2 AÑOS	POSGRADO	X		
ESTADOS UNIDOS	UNIVERSIDAD DE MARYLAND	MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN ROBÓTICA	S/D	POSGRADO	X		
	UNIVERSIDAD DE WESTERN ILLINOIS (WIU)	INGENIERÍA MECÁNICA	S/D	GRADO	X		CON ORIENTACIÓN EN INGENIERÍA ROBÓTICA
	UNIVERSIDAD DE TENNESSEE STATE (TSU)	MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS DE CONTROL Y ROBÓTICA	S/D	POSGRADO		X	
		DOCTORADO EN ROBÓTICA Y FABRICACIÓN INTEGRADA POR COMPUTADORA	S/D	POSGRADO		X	
	UNIVERSIDAD DE SANTA CLARA	MAESTRÍA EN INFORMÁTICA E INGENIERÍA	5 AÑOS	POSGRADO		X	
	UNIVERSIDAD DEL ESTADO DE OREGÓN, FACULTAD DE INGENIERÍA, INSTITUTO DE ROBÓTICA COLABORATIVA Y SISTEMAS INTELIGENTES (CoRIS)	MAESTRÍA EN ROBÓTICA	S/D	POSGRADO		X	
	UNIVERSIDAD DE GEORGIA	INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA	4 AÑOS	GRADO		X	CON ORIENTACION EN ROBÓTICA
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MASSACHUSETTS (MIT)	INGENIERÍA ELÉCTRICA E INFORMÁTICA	S/D	GRADO Y POSGRADO		X	POSEE ADEMÁS EL LABORATORIO DE INFORMÁTICA E INTELIGENCIA ARTIFICIAL (CSAIL)
CANADÁ	UNIVERSIDAD DE WATERLOO	INGENIERÍA MECATRÓNICA	4 AÑOS	GRADO		X	LA MÁS INNOVADORA EN CANADÁ, LA DENOMINAN "LA NUEVA HARVARD"
	POLYTECHNIQUE MONTRÉAL (UdeM)	INGENIERÍA ELECTRÓNICA	SISTEMA CRÉDITOS	POSGRADO	X		CON ORIENTACIÓN EN AUTOMATIZACIÓN Y SISTEMAS –ROBÓTICA E INFORMÁTICA APLICADA (IA)–
ISRAEL	UNIVERSIDAD DE BEN-GURIÓN DEL NÉGUEV (BGU)	MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y COMPUTACIÓN	2 AÑOS	POSGRADO	X		DISTINGUIDA EN INVESTIGACIÓN EN EL MUNDO
	UNIVERSIDAD DE TEL AVIV (TAU)	IA MACHINE LEARNING	S/D	GRADO	X		SEDE DE LA INICIATIVA YANDEX EN APRENDIZAJE AUTOMÁTICO, UNA ASOCIACIÓN ENTRE LA ESCUELA INFORMÁTICA BLAVATNIK (TAU) Y YANDEX (RUSIA)

Nota: Estas instituciones se encuentran entre las mejores según el Ranking Shanghai, Clasificación de las universidades del mundo (ARWU).
Fuente: Elaboración propia.

20.000
COLEGIOS
APLICARON GEEKIE
EN BRASIL

Los estudios en la India demuestran que los resultados arrojados por el examen Mindspark en los colegios donde se puso en práctica como herramienta de aprendizaje adaptativo, versus los resultados de exámenes más convencionales, fueron altamente positivos y significativos. Cabe mencionar que las escuelas que utilizan estos sistemas son escuelas privadas urbanas donde concurren alumnos de clase media alta, cuyas familias pueden afrontar una cuota media elevada.

La evaluación se hizo en aproximadamente 500 mil alumnos, entre los años 2010 y 2014, que cursaban entre los grados tercero y noveno en 590 escuelas de las 3.495 escuelas privadas que hay en la India.[2]

En Brasil, Geekie, descripta más arriba, permite obtener en ocho semanas, con un uso de cuatro horas diarias, un promedio del 30% de calificaciones más altas con respecto a que aquellos jóvenes que no cuentan con ella. En total, más de 20.000 colegios y 5 millones de alumnos la están aplicando en Brasil.[3]

INCENTIVAR LA CURIOSIDAD

El aprendizaje adaptativo y los modelos instruccionales para el diseño de los contenidos del profesor son solo algunas herramientas de la nueva educación. Surge entonces el siguiente interrogante: ¿cómo impactará la IA en la pedagogía?

Una mirada del análisis está puesta en el uso de modelos de aprendizaje adaptativo. En el aula, el uso de algoritmos podría detectar déficits de enseñanza y dar retroalimentación en tiempo real a los profesores. De esta manera, se podrían desarrollar tutorías digitales personalizadas que mejoren la experiencia del aprendizaje.

Una segunda línea de aplicaciones de estos modelos son las evaluaciones adaptativas. Sobre la base del desempeño de los estudiantes se seleccionan las preguntas, se estima un puntaje y luego se analiza su rendimiento. Se genera así un círculo de retroalimentación continua que genera el proceso de recopilación de datos capaz de generar importantes mejoras en el aprendizaje. En este escenario, los datos acumulados permitirían al docente contar con información de los diferentes trayectos de estudio del alumno y generar así evaluaciones más integrales de su *performance*.

¿Cuál será entonces el rol del profesor frente a las nuevas tecnologías? ¿Existirá una precarización de su empleo? Algunas visiones apocalípticas en este debate encierran una falacia. La figura del profesor –protagónica en el proceso de aprendizaje– siempre será central y estará vigente con su mirada crítica, promoviendo el debate entre los alumnos, el intercambio de experiencias personales, la interacción social, el trabajo colaborativo y la investigación.

Justin Reich (29 de abril, 2014) realizó un análisis sobre la evaluación por computadora y hacia dónde se dirige esta tendencia. Establece que, en general, las computadoras –sin entrenamiento humano– son capaces de evaluar muy bien aspectos cuantitativos. Es decir, destacan en evaluaciones que los humanos ya no necesitamos hacer y funcionan como apoyo, no como competencia.

Las nuevas tecnologías serán capaces de generar textos más individualizados, según las necesidades de cada estudiante. En ese sentido McGraw-Hill, Pearson, Santillana y otras editoriales han estado desarrollando nuevas herramientas en tecnología adaptativa, programas que entienden al estudiante y anticipan lo que no sabe. A partir de esa información, el sistema ofrece contenidos de manera personalizada y algorítmica, de acuerdo a su necesidad. De esta manera, estamos en presencia de una participación mucho más evolucionada que un análisis exclusivamente cuantitativo.

Para Martín Molina, catedrático del Departamento de Inteligencia Artificial de la Universidad Politécnica de Madrid, en robótica e IA estamos aún en los primeros pasos. No hay ningún robot que tenga comprensión lingüística y visual: "No saben comprender un libro entero o traducir una poesía, ya que son incapaces de detectar y menos aún pueden resumir un texto", sostiene este profesor (Schapira, 25 de septiembre, 2017).

La predisposición y aptitudes al intercambio social, el liderazgo de grupos o el trabajo en equipo, rasgos particularmente genuinos del género humano, tampoco son factibles de emular con la robotización y la IA.

¿Cómo programar la curiosidad, característica que nos predispone y estimula a investigar, estudiar y llenar nuestros vacíos de información? ¿Qué factores motivan a los individuos a cruzar las barreras de sus propios conocimientos y experiencias? Parafraseando a Santiago Bilinkis (30 de julio, 2017), ¿será esta un arma secreta contra los robots?

Frente a esta realidad, surgen nuevos desafíos para los hacedores de políticas públicas en materia educativa. Los esfuerzos estarán dirigidos a generar normativas que homologuen estas aplicaciones en el aula, profundicen la formación docente, protejan la privacidad de los datos del estudiante y permitan la articulación interinstitucional de estas modalidades, de manera de lograr en la transición a estas innovaciones la convivencia con los sistemas tradicionales.

La IA será disruptiva en educación, sin embargo, aún queda un largo camino para recorrer. El reto estará dado entonces en capitalizar los beneficios de una pedagogía más personalizada, la expansión del aula con nuevas tecnologías, la articulación de la modalidad presencial y virtual y una mayor interacción entre profesores y alumnos

NOTAS

[1] Se destaca por estar entre las 50 universidades de mejor *ranking* en EE. UU.

[2] IE ha implementado desde el año 2013 en la ciudad de Nueva Deli el uso de centros de apoyo a la enseñanza de Mindspark, y ha focalizado también su estrategia en comunidades vulnerables.

[3] Ver ProFuturo (20 de diciembre, 2016).

BIBLIOGRAFÍA

Barrat, J. 2013. *Our Final Invention: Artificial Intelligence and the End of the Human Era*. Nueva York: Thomas Dunne Books.

Bilinkis, S. "El arma secreta de los humanos contra los robots". La Nación. **30 de julio, 2017**,

Cataldi, Z. y Lage, F. J. 2010. "Modelado del estudiante en sistemas tutores inteligentes". *TE&ET, Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*. 5: 29-38.

Escamilla, J., Calleja, B., Villalba, E. *et al.* 2014. "Aprendizaje y evaluación adaptativos". Reporte Edu Trends, julio. Observatorio de Innovación Educativa del Tecnológico de Monterrey.

Gross, B. 1992. "La inteligencia artificial y su aplicación en la enseñanza". *Comunicación Lenguaje y Educación*. 13: 73-80.

Kaplan, J. 2016. *Artificial Intelligence: What Everyone Needs to Know*. Nueva York: Oxford University Press.

Morillo Lozano, M. C. 2016. *Aprendizaje adaptativo*. Tesis de máster con especialidad en Tecnología e Informática. Valladolid: Universidad de Valladolid.

ProFuturo. "Geekie: aprendizaje personalizado para todos". ProFuturo. **20 de diciembre, 2016**.

Reich, J. "Computers Can Assess What Computers Do Best". Education Week. **29 de abril, 2014**.

Salgueiro, F. A. 2005. *Sistemas Inteligentes para el modelado del tutor*. Tesis de Grado en Ingeniería Informática. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Schapira, D. "La inteligencia artificial: una revolución de la educación". El Cronista. **25 de septiembre, 2017**.

Walsh, T. 2018. *Machines That Think: The Future of Artificial Intelligence*. Nueva York: Prometheus Book.

Rafael Reif
Presidente del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT)

“Todo proyecto tecnológico tiene una dimensión ética”

EL VENEZOLANO RAFAEL REIF LIDERA EL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MASSACHUSETTS (MIT), UNO DE LOS CENTROS EDUCATIVOS Y DE INVESTIGACIÓN MÁS IMPORTANTES DEL MUNDO. EN ESTA ENTREVISTA CON *INTEGRACIÓN & COMERCIO*, REIF DESTACA EL ROL DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL COMO COMPLEMENTO DE LA INTELIGENCIA HUMANA, SEÑALA LOS RIESGOS DE LA AUTOMATIZACIÓN DEL EMPLEO, Y CÓMO ENFRENTARLOS, Y ENFATIZA LA NECESIDAD DE INCORPORAR ESPECIALISTAS EN ÉTICA EN LAS ETAPAS DE DISEÑO DE LOS PROYECTOS TECNOLÓGICOS.

¿Cuáles son los desafíos de la investigación en inteligencia artificial (IA)? ¿Cómo superar la actual frontera de conocimiento?

Si bien a veces parece que, dondequiera que miremos, la IA está presente, puede ser que muchos ignoren algunas verdades subyacentes al respecto. Una es que los fundamentos de la IA que se utiliza actualmente, de hecho, son relativamente antiguos. Hay equipos de investigadores brillantes en nuestras mejores empresas que, con contadas excepciones, están principalmente dedicados a tratar de exprimir los enfoques existentes para lograr nuevas aplicaciones. Para llegar a descubrimientos del tipo de los que marcaron un hito en el campo, serán necesarios nuevos desarrollos científicos. Imaginemos qué pasaría si el próximo adelanto en materia de IA viniese de la raíz misma de la inteligencia: el cerebro humano. Tenemos que pensar así, en grande, si queremos generar conocimientos nuevos en esta área y lograr que tengan un impacto en la práctica. Para hacer frente a este desafío, lanzamos la iniciativa The MIT Intelligence Quest, que involucra a todo el instituto y pretende indagar sobre la inteligencia humana y la artificial. El objetivo es, en parte, mejorar nuestra comprensión de la inteligencia humana y, además, guiar el desarrollo de herramientas tecnológicas que creemos que pueden tener una influencia positiva sobre virtualmente todos los aspectos de la sociedad. Estamos tratando de dar el próximo gran salto que desvele innovaciones que los emprendedores del mundo actual ni siquiera han imaginado. Es algo apasionante.

¿Por qué esta tecnología puede ser importante para los países de América Latina?

Estas herramientas tienen potencial para ayudarnos a hacer frente a una serie de desafíos complejos que atraviesan a las sociedades, en América Latina y más allá también. El alcance de las aplicaciones es sorprendente, ya que resultan relevantes en muchas áreas, como la salud, la industria, las finanzas y muchas más. En términos de pobreza, pienso en el impacto potencial de una organización como la red de profesores Abdul Latif Jameel Poverty Action Lab, también conocida como J-PAL, del MIT. Su misión es simple: reducir la pobreza en el mundo. Para determinar qué programas contra la pobreza están realmente marcando una diferencia, tanto en Estados Unidos como en el resto del planeta, sus investigadores

LEO RAFAEL REIF GROISMAN NACIÓ EN MARACAIBO EN 1950. ALLÍ SE RECIBIÓ DE INGENIERO ELÉCTRICO. TRAS DOCTORARSE EN STANFORD, COMENZÓ SU CARRERA DOCENTE EN EL MIT A COMIENZOS DE 1980. SU INVESTIGACIÓN SE CENTRÓ EN LAS TECNOLOGÍAS DE CIRCUITOS INTEGRADOS Y EN LA FABRICACIÓN DE LA MICROELECTRÓNICA AMBIENTALMENTE SUSTENTABLE. TAMBIÉN TRABAJÓ EN LA CREACIÓN DE MITX, UNA INICIATIVA DE EDUCACIÓN *ONLINE* DESTINADA TANTO A OFRECER NUEVAS HERRAMIENTAS A LOS ESTUDIANTES DEL MIT COMO A ACERCAR LAS ENSEÑANZAS DE ESTA INSTITUCIÓN ACADÉMICA GRATUITA A ESTUDIANTES ALREDEDOR DEL MUNDO. TRAS 25 AÑOS COMO DOCENTE DE LA PRESTIGIOSA CASA DE ESTUDIOS, EN 2005 FUE DESIGNADO PRESIDENTE.

ponen a prueba los programas a través de evaluaciones aleatorias con método de doble ciego. Si estas evaluaciones se pudieran potenciar con nuevas herramientas de IA, el laboratorio podría beneficiarse mucho. Apenas estamos viendo la punta del iceberg de todo lo que es posible. Yo tengo esperanzas de que la IA genere resultados significativos para toda la sociedad.

> ME PREOCUPA QUE LOS AVANCES TECNOLÓGICOS SEAN FUENTE DE INEQUIDAD

¿Es posible una IA libre de sesgos morales y prejuicios?

Esta es una pregunta interesante que no sé si estoy calificado para responder. Pero en el MIT y en otras instituciones hay sociólogos y humanistas y expertos en ética que están trabajando en este tema. Por ejemplo, hay un proyecto en el laboratorio de medios del MIT (Media Lab) llamado Liga de la Justicia Algorítmica, que está comprometido con la justicia, la responsabilidad y la transparencia de los sistemas codificados. Resulta crucial que los tecnólogos inviten a sus colegas a colaborar desde el inicio de la fase de diseño, no una vez que el producto ya está casi terminado. Estas son cuestiones importantes que requerirán el buen criterio de muchos en las primeras etapas del proceso. Una solución siempre es fomentar la participación de personas provenientes de un amplio abanico de contextos y perspectivas. Cuanto más podamos unir a investigadores que reflejen toda la diversidad de la experiencia humana, más chances tendremos de minimizar los sesgos. Con la IA, esto es así. Y, francamente, creo que es así con cualquier otra cosa que hagamos.

¿Cuál será el impacto en el mundo del trabajo? ¿Estamos preparados para la automatización generalizada de tareas?

La IA tiene potencial para generar oportunidades nuevas muy interesantes en materia de productividad y crecimiento económico, sobre todo, en países que pueden y quieren invertir en ella. Lo que me preocupa es que también puede potencialmente convertirse en una fuente de inequidad, tanto entre los países como dentro de estos. Y esto me resulta inquietante. Yo creo firmemente que encontrar la manera de hacerlo es uno de los desafíos más importantes e inspiradores de nuestros días. Las cuestiones éticas relacionadas con la IA tienen que ser una preocupación central, no algo que se considere secundario. ¿Cómo podemos, desde el inicio, diseñar estas tecnologías de modo que conlleven el mayor beneficio posible para nuestra sociedad? Estamos reflexionando mucho acerca de esto en el MIT. En particular, estamos analizando el impacto de la tecnología sobre el empleo. Todos hemos visto la influencia de la automatización sobre nuestro trabajo, nuestras vidas y nuestra sociedad. Creo que, en el MIT, donde los investigadores les dan forma a las tecnologías que a su vez forjarán el mundo del mañana, tenemos una responsabilidad muy especial en cuanto a tener en cuenta los efectos de dichas tecnologías. Por esa razón, lanzamos un estudio de dos años al que llamamos Equipo de trabajo del MIT sobre el trabajo del futuro (MIT Task Force on the Work of the Future).

> LATINOAMÉRICA TIENE UN ENORME CAPITAL INTELECTUAL PARA RESOLVER PROBLEMAS LOCALES

¿Cuál es el objetivo de este grupo de investigación interdisciplinario?

El propósito de este esfuerzo es ayudar a comprender la manera en que las tecnologías están transformando la naturaleza del trabajo y a identificar las estrategias necesarias para concebir las innovaciones tecnológicas de modo que complementen, en vez de reemplazar, a los trabajadores. El mundo está cambiando y los puestos de trabajo, también. Por supuesto que habrá trabajo en el futuro, pero la forma que adopte dependerá de nosotros.

¿Puede darnos un ejemplo donde la investigación en IA ha contribuido a una mejora del bienestar?

Hay tanto en juego que tenemos que encontrar el modo de colaborar con colegas de todo el mundo para encontrar soluciones a problemas realmente difíciles. El poder de la IA provendrá de aplicar estas nuevas herramientas a problemas verdaderamente complejos que, hasta ahora, no pudimos resolver. Le voy a dar un ejemplo de lo que quiero decir. Regina Barzilay, una profesora de Ingeniería Eléctrica y Ciencias de la Computación del MIT, estudia el aprendizaje automático y lo utiliza para hacer todo tipo de cosas extraordinarias, como descodificar lenguas clásicas. Pero en 2014, cuando le diagnosticaron cáncer de mama, notó que, aunque la oncología clínica produce cantidades enormes de datos sobre los pacientes y sobre los resultados de sus tratamientos, esos datos están mayormente subutilizados. Desesperada por encontrar información, se dispuso a hacerlo utilizando aprendizaje automático. El sueño de la profesora Barzilay es aprovechar la extraordinaria promesa que entraña la IA para revolucionar el tratamiento del cáncer –usar la información como un cúmulo de tesoros para identificar patrones y personalizar los tratamientos–. De hecho, su sueño se está haciendo realidad: recientemente, ella y su equipo de investigación llevaron herramientas de aprendizaje automático a varios hospitales de la zona.

CASO DE ESTUDIO

Cerrando la brecha digital

Brainy es una herramienta basada en inteligencia artificial (IA) que se aplica en la educación chilena. La solución, creada en conjunto por Cognitiva y Red Crecemos, brinda apoyo a los profesores durante el proceso educativo y ofrece ayuda complementaria para planificar las actividades de acuerdo a cada estudiante. Rolando Castro, fundador y CEO de Cognitiva, enfatiza la importancia que tendrá la IA para cerrar la brecha digital en los niños durante su proceso formativo.

¿Por qué se busca introducir la IA en la educación?

Nuestra misión tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de las personas en Latinoamérica y contribuir en la democratización del conocimiento. Trabajar en proyectos donde podamos incluir IA para acercar y facilitar el acceso a la educación de niños en situaciones vulnerables se condice con nuestra misión. Hoy en día, la tecnología no solo está posibilitando el acceso a contenidos de manera exponencial, sino también mejorando la manera en que acceden a estos, profundizando las materias a través de juegos en línea, videos ilustrativos e imágenes interactivas que apoyan la capacidad de retención de niños en edad temprana.

En Chile han desarrollado junto a Red Crecemos un asistente digital llamado Brainy. ¿Qué puede hacer esta herramienta?

El asistente digital Brainy es la primera solución concreta basada en IA aplicada en la educación chilena. Es un apoyo para el profesor en el proceso educativo y también una ayuda complementaria para planificar las actividades de acuerdo a cada estudiante, para que aprendan mejor, más rápido y puedan además desarrollar distintas habilidades para la vida cotidiana. Se trata de una iniciativa inédita en Chile y Latinoamérica que ha sido dirigida a establecimientos que educan a niños en contextos vulnerables. Esta plataforma educacional brinda interesantes hallazgos desde un punto de vista científico, para que con el tiempo los estudiantes cuenten con una mejor formación y con más ganas de aprender. Está diseñada para niños de entre 9 y 14 años y permite entender preguntas realizadas en lenguaje natural chileno y entregar respuestas adecuadas según la edad. El impacto que tendrá para la educación chilena es la disminución en un 40% del costo de reforzamiento escolar y el aumento en un 25% del acceso a contenidos especializados y de educación personalizada.

¿Cuántos alumnos la utilizan?

Brainy tiene como objetivo mejorar la excelencia académica en colegios de contextos vulnerables. No solo en términos académicos, sino también en el apoyo y desarrollo de habilidades blandas de los alumnos. La plataforma educacional tiene como fin acortar las brechas educacionales que existen en Chile y mejorar el acceso al conocimiento en alumnos vulnerables. De este modo, a partir de marzo de 2018 comenzó a implementarse en clases de Ciencias Naturales, en los cursos de cuarto básicos de tres colegios de Red Crecemos. En los próximos cuatro años, se incorporará a los demás cursos y asignaturas, y además se ampliará a otros tres colegios, alcanzando un total estimado de 500 alumnos. El impacto real de la solución será confirmado en 2019, una vez que tenga al menos un año de operación en los colegios.

¿Cree que podrá escalar y se generalizará su uso?

Cada vez es más común ver cómo en las distintas aulas se están desarrollando métodos innovadores para fortalecer la educación y encontrar nuevas maneras para que los alumnos desarrollen y fortalezcan sus habilidades. Brainy fue desarrollado para apoyar a los alumnos de cuarto y sexto grado de primaria en sus clases de Ciencias Naturales y Lenguaje y esperamos que en los próximos cuatro años se integren otras materias y grados académicos de Red Educacional Crecemos. La plataforma se adecúa a procesos y complementa la tarea de los profesores en las aulas, ya que guía los procesos de enseñanza y aprendizaje; provee el dominio del conocimiento aprobado en el ciclo educativo; y establece un perfil cognitivo del estudiante. Lo anterior genera interacciones en la plataforma que, a través de métricas, logra un vínculo entre educadores, tutores y estudiantes. Brainy está en proceso de prueba y esperamos que a fines del 2018 ya se pueda incluir como una realidad cotidiana en las salas de clases de los colegios subvencionados en Chile.

¿Existen beneficios para las instituciones educativas?

Sí, siempre que los colegios quieran romper esquemas tradicionales de educación, aumentar el rendimiento escolar a través de la puesta a disposición de sistemas tecnológicos que involucren una educación personalizada e integrar a todas las partes interesadas. Incluir IA en las aulas significa aplicar metodologías innovadoras para que los alumnos sean capaces de enfrentar los desafíos del futuro. Incorporar tecnología en la educación se traduce en una serie de beneficios hacia el aprendizaje que estimulan la curiosidad y la motivación, ya que exploran las materias que más les agradan y aprenden jugando. Además, estas soluciones tecnológicas involucran todo el ecosistema educativo y generan un aporte concreto no

solo para los estudiantes, sino que también funcionan como una herramienta de apoyo y gestión para los profesores.

¿Puede la IA contribuir a reducir la brecha social, de ingresos y oportunidades a partir de estos avances?

Estamos convencidos de que con IA se puede reducir la brecha digital y democratizar la información para todos. En el campo de la educación, con IA se pueden construir sistemas más inteligentes, entendiendo el término "inteligente" como la capacidad de adaptación continua a las características del aprendizaje y del conocimiento de los diferentes usuarios, en este caso, estudiantes y profesores. También pueden generarse proyectos que favorezcan a comunidades más grandes y beneficien a comunas o regiones enteras, complementando a distintos profesionales en sus labores y apoyando la descentralización de los países.

¿En qué medida se modifica la dinámica dentro del aula?

La plataforma educacional está diseñada para ofrecer instrucción y apoyar continuamente los procesos de enseñanza y aprendizaje, a través de la construcción, actualización y análisis que reflejan los aspectos de comportamiento de cada estudiante. Es una herramienta pedagógica muy avanzada capaz de entregar experiencias de aprendizaje individualizado, lo que permite que los procesos de enseñanza y de aprendizaje sean más adaptables y personalizados. Al tratarse de una educación personalizada, es posible detectar qué niños tienen mayor dificultad de aprendizaje y por ende el profesor puede enfocarse con mayor énfasis en este alumno y detectar posibles casos de *bullying* o situaciones similares. Esto contribuye efectivamente a disminuir la brecha educacional, ya que logra identificar desde un primer momento qué alumnos necesitan mayor apoyo a través de la plataforma y mayor cantidad de ejemplificaciones para poder acceder al contenido.

¿Cómo será la educación del futuro? ¿Cómo preparar a los más jóvenes?

Creo que la educación del futuro se basará en la democratización del aprendizaje y una mayor participación de los alumnos en las aulas, cambio radical que ya podemos observar en algunos establecimientos educativos. La evolución de la educación viene de la mano con la inclusión de la tecnología en los diversos procesos, siempre complementando la labor del profesor. Esto permitirá incorporar necesidades de los alumnos y escoger la manera en que les sea más fácil aprender y personalizar los contenidos, como también incorporar distintas herramientas tecnológicas, tales como realidad virtual e inteligencia artificial.

ALCANCE REGIONAL

Brainy llega a los niños dentro y fuera de las aulas en una interfaz apta para computadores de escritorio, pero también para tabletas. Habla con 24 acentos de la lengua hispana, incluyendo el chileno y el colombiano. La herramienta se extenderá a los niveles de educación media –los últimos cuatro años de estudio del bachillerato en Chile– y será replicada también en Perú y otros países de la región.

ROBOTLUCIÓN
EL FUTURO DEL TRABAJO EN LA INTEGRACIÓN 4.0 DE AMÉRICA LATINA
Descargala en www.iadb.org/intal
BID

E-Salud

El **futuro** del **bienestar**

Michael Gillam
HealthLab y Singularity University

CUÁLES SON LOS PRINCIPALES DESAFÍOS QUE, A PESAR DE LOS ENORMES AVANCES PRODUCIDOS A LO LARGO DE LOS ÚLTIMOS AÑOS EN EL CAMPO DE LA SALUD, TENEMOS POR DELANTE PARA MEJORAR NUESTRO BIENESTAR Y ELEVAR LA ESPERANZA DE VIDA. LAS OPORTUNIDADES QUE OFRECEN LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA EL DESARROLLO DE SERVICIOS BASADOS EN CONOCIMIENTO (SBC) EN EL CAMPO DE LA MEDICINA.

La Organización Mundial de la Salud estimó que casi 400 millones de personas carecen de acceso a los servicios sanitarios básicos, mientras que 2.000 millones no tienen acceso a servicios quirúrgicos (Funk *et al*., 2010). En EE. UU., los casos de mala praxis en la atención de la salud se han convertido en la tercera causa de muerte después del cáncer y de las enfermedades cardiovasculares (Makary y Daniel, 2016) . No obstante, las nuevas tecnologías han dado lugar a nuevas oportunidades para la prestación de servicios, incluyendo los servicios sanitarios.

Se ha dicho que la actual empresa de taxis más grande del mundo, Uber, no tiene ningún vehículo. El principal proveedor de alojamiento del mundo, Airbnb, no posee ninguna propiedad. El minorista más valioso, Alibaba, no es dueño de producto alguno. La empresa de medios más popular del mundo, Facebook, hasta hace poco, no producía ningún contenido. Esto nos ha llevado a especular acerca de cuáles son los activos sin los que podría operar la empresa de atención de la salud más grande del mundo en el futuro. Muchos creen que la respuesta se halla en el creciente poder de cómputo –especialmente, en la inteligencia artificial (IA)–.

La semilla de este crecimiento proviene de tendencias que se iniciaron hace décadas. Corría el año 1965 y Gordon Moore, cofundador de Intel, el fabricante de microchips para PC más grande del mundo, notó que, cada 18 meses, nuevos avances permitían que su empresa duplicara la cantidad de componentes que entraban en un microchip. Diez años más tarde, Moore revisó su estimación para hacerla más precisa: esto se producía cada 24 meses. Con el correr de las décadas, el poder de cómputo sigue duplicándose constantemente de un modo infalible. Uno de los campos que se verán afectados por este proceso es la salud.

Veinticinco años más tarde, en 1990, los Institutos Nacionales de Salud de los Estados Unidos (National Institutes of Health, NIH) lanzaron el Proyecto Genoma Humano, un ambicioso proyecto de US$ 3.000 millones, cuyo objeto era determinar la secuencia completa de un genoma humano: 23 pares de cromosomas que incluyen 3.000 millones de pares de bases. Surgió una cantidad de detractores. Uno expresó: “El proyecto del genoma humano se nos vendió con bombos y platillos como espejitos de colores...”. El Dr. Martin Rechsteiner, un bioquímico de la Universidad de Utah, dijo: “El proyecto del genoma humano es ciencia de mala calidad, ciencia impensada, ciencia de la que se ha hecho mucha propaganda”. El Dr. Michael Syvanen, un microbiólogo de la Universidad de California en Davis, manifestó lo siguiente: “Todos aquellos con los que hablo creen que esta es una pésima idea” (Angier, 5 de junio, 1990).

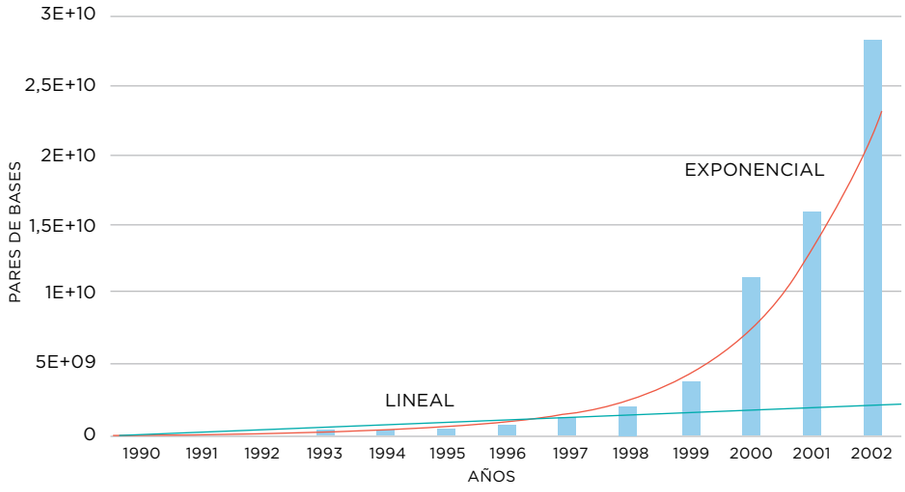
A los ocho años de iniciado el proyecto, los críticos parecían tener toda la

razón. Había pasado más de la mitad del tiempo, pero el proyecto estaba completo en apenas un 4%. Los científicos contaban con tan solo siete años para finalizar la determinación del 96% restante del genoma. Los detractores hicieron ver que, a ese ritmo de avance, concluir el proyecto demandaría 150 años. Pero donde algunos vislumbraron un fracaso, otros vieron la oportunidad. John Craig Venter reunió cientos de millones de dólares para crear una empresa privada, Celera Genomics, que prometió producir un genoma humano completo dentro del tiempo restante y construyó uno de los clústeres de poder computacional más grandes del mundo.

No hicieron falta 150 años para concluir el proyecto. Cinco años más tarde, no solo había terminado ya el NIH, sino también la empresa de Venter, y los dos publicaron los resultados con un día de diferencia en la revista *Science*. Ambos habían terminado dos años antes de lo previsto. Las estimaciones de los detractores habían estado erradas por más de 100 años. ¿Qué fue lo que Venter y los demás vieron y que se les había escapado a los críticos? El avance del Proyecto Genoma Humano había sido exponencial en vez de lineal (ver gráfico 1).

Algunos autores han atribuido la propensión del hombre a proyectar tendencias de manera lineal y la falta de capacidad de la intuición humana para comprender tendencias exponenciales a nuestra herencia evolutiva. Si a un ciervo le lleva 30 pasos cruzar un campo determinado, uno puede predecir, intuitivamente, que tiene que arrojar la lanza hacia cierto punto de llegada (por ejemplo, a 30 metros de distancia). Pero si el ciervo diese 30 pasos exponenciales (es decir, el primer paso mide 2 metros; pero el segundo, 4 metros; el tercero, 8 metros; etcétera), pocos podrían intuir que este movimiento le permitiría al ciervo dar la vuelta al mundo 26 veces. Sin embargo, este es el mundo en el que vivimos hoy en día. Este es también el mundo que

GRÁFICO 1
CRECIMIENTO DE ADN CATALOGADOS EN GENBANK



Fuente: GenBank Statistics, National Center for Biotechnology Information.

vemos cada vez más en el sector de la salud y, sobre todo, en el de la IA.

NUEVOS DESAFÍOS

En 2001, el primer genoma humano costó US$ 2.700 millones, mientras que el costo más reciente de secuenciar un genoma no alcanza los US$ 1.000. Llamativamente, el costo de secuenciar genomas está cayendo a una tasa hasta cinco veces más rápida que lo que establece la ley de Moore (ver gráfico 2). Si la tasa de caída actual se mantiene durante cinco años más, el costo de un genoma humano completo será inferior al costo de una pizza (aproximadamente US$ 10); y si la tendencia se mantiene durante diez años, el costo por genoma será menor que el de una descarga de agua al inodoro (aproximadamente US$ 0,01). Esta tendencia exponencial presagia un mundo en el que los datos genómicos podrían estar disponibles en todo lugar en todas las industrias, dentro y fuera del sector salud. Este ritmo de expansión dejó a muchos preguntándose cómo haremos para generar valor y manejar y procesar esta sobredosis de datos genómicos.

El crecimiento exponencial del volumen de datos genómicos, la complejidad de su interpretación y la imprevisibilidad de su modificación han enfrentado al sector de la salud con nuevos desafíos. Traducir cerca de 3.000 millones de letras de pares de bases de ADN (es decir, A, T, G, C) en rutas metabólicas (el metaboloma) o rasgos físicos (el fenoma) significativos sigue siendo un desafío aún no resuelto en materia de salud. Teóricamente, con el genoma de un embrión y con los conocimientos genómicos suficientes, la medicina podría predecir los rasgos físicos y metabólicos más allá de simplemente el color de ojos o de cabello y las enfermedades genéticas. Si se cuenta con los conocimientos necesarios de genética, debería ser posible conocer los efectos metabólicos secundarios de prácticamente cualquier medicamento. El genoma de un embrión debería permitirnos predecir, desde antes de su nacimiento, el aspecto facial que tendrá eventualmente un niño, incluso hasta la adultez. Conectar el genoma con el metaboloma y el fenoma sigue siendo un desafío aún no resuelto por la medicina.

Las nuevas técnicas de ingeniería genética, como CRISPR/Cas9 (CC9), también están enfrentando desafíos que parecen abrumadores para el intelecto humano. CC9 es un sistema de localización e inserción de genes (a través de empalme o *splicing*) que modifica el ADN de las células vivas. CC9 corta el ADN en una localización dada y la hace coincidir con una secuencia de ADN que transporta. Una vez que el ADN está abierto, CC9 inserta una secuencia de ADN que transporta dentro del sitio de apertura. Las dos cadenas de ADN luego se vuelven a unir (renaturalización) y se completa de este modo la inserción de manera exitosa. Si bien CC9 es un proceso sumamente preciso para abrir el ADN, algunas veces el proceso de renaturalización falla. Muchas veces, correr el punto de incisión hacia arriba o hacia abajo en el genoma puede dar lugar a modificaciones genéticas por CC9 más exitosas, pero predecir correctamente cuál es el mejor punto de empalme sigue siendo algo conjetural. No obstante, determinar estos puntos de empalme de manera satisfactoria es la clave para aprovechar muchas modificaciones genéticas exitosamente.

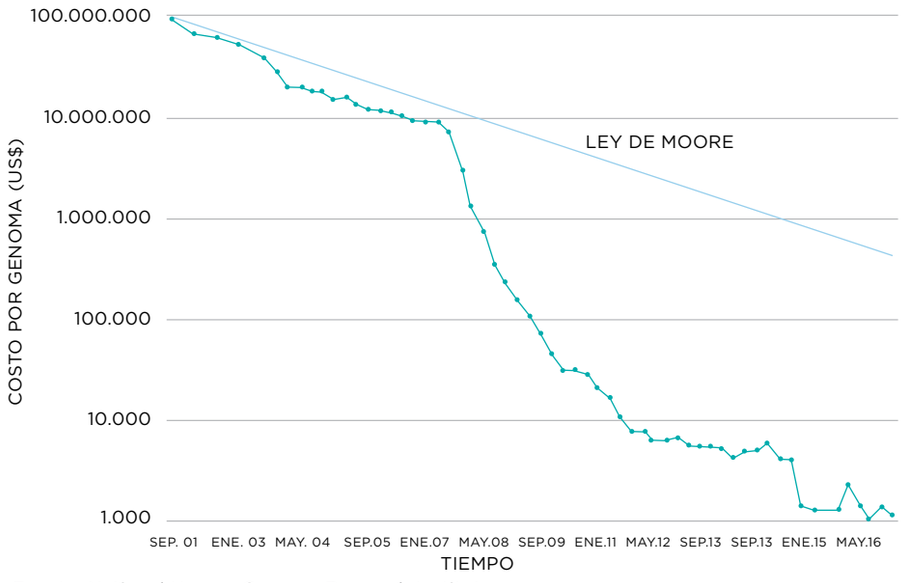
Estos dos desafíos que se plantean para la salud –traducir el significado del genoma y modificarlo– están siendo abordados por nuevos enfoques de IA, particularmente, de aprendizaje profundo.

FLUJO DE DATOS

En 2012, años después de que se estancaran los primeros esfuerzos que se habían realizado en materia de IA para tratar de imitar la estructura neuronal del cerebro, el laboratorio de Geoffrey Hinton, en la competencia de reconocimiento de imágenes ImageNet, demostró que había logrado una mejora increíble en la precisión (ver gráfico 3). Hinton denominó a este enfoque "aprendizaje profundo". Apenas unos años más tarde, a través de una serie de mejoras realizadas a este proceso de aprendizaje profundo, las computadoras empezaron a mostrar índices de error en el reconocimiento de imágenes más bajos que los de los seres humanos (un porcentaje de errores de aproximadamente el 5%). En el año 2016, las computadoras superaron a los humanos en su capacidad de reconocer imágenes en el conjunto de datos de ImageNet. Subsiguientemente, otros grupos ampliaron dicha ventaja utilizando aprendizaje profundo y lograron índices de error en el reconocimiento de imágenes que no llegaban a la mitad del de los humanos.

Después de la demostración de Hinton, los avances en materia de aprendizaje profundo empezaron a abarcar múltiples dominios de la IA. En 2016, Microsoft anunció que habían desarrollado un sistema de aprendizaje profundo que podía traducir texto de audio de los teléfonos celulares que superaba a los seres humanos (Xiong *et al*., 2016) . Cabe destacar que, a diferencia de las imágenes estáticas, su enfoque demostró que se pueden lograr avances con flujos de datos con un elemento temporal.

GRÁFICO 2
COSTO POR GENOMA HUMANO



Fuente: National Human Genome Research Institute.

Últimamente, los esfuerzos en materia de IA –tanto en aprendizaje profundo como en otros aspectos– trajeron aparejados avances en un abanico de tareas sumamente heterogéneas. La Fundación por la Libertad Electrónica (EFF, por sus siglas en inglés) hace un seguimiento de los niveles de avance de los parámetros de aprendizaje automático comparados con los de los humanos en un gran número de tareas.[1] Estos avances han empezado a derramarse también al sector de la salud.

APRENDIZAJE PROFUNDO EN SALUD

La revolución producida en la capacidad de la IA para reconocer imágenes desencadenó un torrente de avances en los servicios de salud. En noviembre de 2016, Google se asoció con el Sistema Nacional de Salud (NHS, por sus siglas en inglés) para acceder a imágenes oftalmológicas. Apenas cinco meses después, la empresa anunció que había desarrollado un sistema de aprendizaje profundo que podía reconocer, a partir de imágenes, daños en la retina producidos por la diabetes (es decir, retinopatía diabética) con una precisión que igualaba a la de los especialistas certificados en oftalmología (Peng y Gulshan, 29 de noviembre, 2016).

En el verano de 2017, Stanford emitió una publicación acerca de un sistema que podía clasificar imágenes de tumores de piel entre benignos y malignos con la misma precisión que los dermatólogos certificados (Kubota, 25 de enero, 2017).

Jeremy Howard, el fundador de la plataforma de concursos de algoritmos de datos científicos Kaggle.com y *CEO* de Enlitic, anunció que su empresa podía diagnosticar fracturas de muñeca con un área bajo la curva (AUC) de 0,97 ("más de tres veces mejor que el 0,85 que alcanzan los radiólogos más experimentados") y que podía leer "imágenes de tomografía computada de tórax con una precisión un 50% superior a la de un panel de expertos en radiología torácica".[2] Su empresa desarrolló un sistema para su uso en el entorno clínico en tiempo real, que le otorga máxima prioridad en la línea de triaje a cualquier resultado de tomografía computada en el que detecte hemorragias cerebrales para que sea inmediatamente analizado por los radiólogos. Recientemente, Howard declaró que ya no lo sorprende ningún estudio en el que se demuestre que la capacidad de las computadoras excede a la de los humanos para clasificar o reconocer rasgos a partir de imágenes. Agregó que ya es hora de asumir que todas las imágenes pueden ser leídas por computadoras mejor que por seres humanos y que el verdadero desafío de la medicina reside en la adopción de estas tecnologías.[3]

Los avances en el aprendizaje profundo aplicado a la salud se extendieron mucho más allá del análisis de datos de imágenes. En el verano de 2017, Stanford publicó un estudio en el que describía un sistema que podía diagnosticar 14 ritmos cardíacos diferentes a partir de tiras de ritmo con la misma precisión que los cardiólogos. El sistema fue entrenado por medio de datos utilizando ZIO iRhythm –un monitor de electrocardiograma portátil de dos derivaciones–. El fabricante de Kardia Band, un electrocardiógrafo portátil de dos derivaciones para el reloj Apple recientemente aprobado por la FDA, anunció que están agregando redes neuronales para interpretar los ritmos que almacena el dispositivo.

Por otra parte, el problema mencionado anteriormente respecto de cómo determinar los mejores sitios de corte

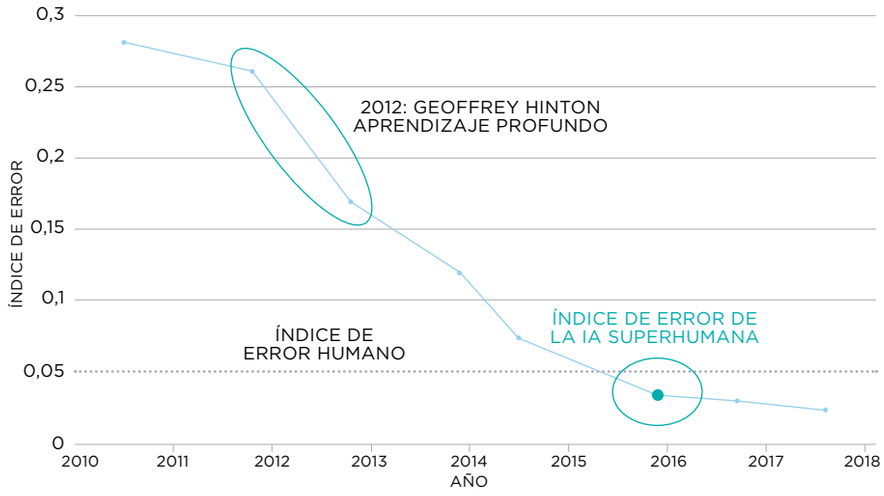
y empalme de los genes también está siendo abordado ahora por medio del aprendizaje profundo. Las empresas que lo utilizan, como Deep Genomics, están haciendo frente al desafío de transformar las secuencias genómicas en el metaboloma (y, eventualmente, en el fenoma). También se está utilizando el aprendizaje profundo para mejorar la precisión de los sistemas de selección CRISPR-Cas9, descriptos más arriba, de modo tal que la ingeniería genética resulte más exitosa (Doyle, 2016).

Un aspecto de los avances en la genómica que vale la pena destacar es que los sistemas realizan sus propias predicciones con un alto grado de complejidad. La atención de la salud está llegando a un punto en el que los sistemas de IA podrán hacer descubrimientos y predicciones, pero nunca podrán explicarnos su modo de comprensión, porque tiene una complejidad que excede la capacidad de entendimiento de la mente humana. Este carácter de caja negra de muchos sistemas de IA sigue planteando un desafío para la misma IA si pretende alcanzar aquellos niveles de confianza que permitirían una adopción más rápida en el sector de la salud.

Asimismo, las publicaciones catalogadas en PubMed.gov cuyos títulos incluyen una referencia al aprendizaje profundo se incrementaron exponencialmente en el sector de la salud (ver gráfico 4). Por el momento, este crecimiento no muestra ningún indicio de que la curva esté alcanzando un punto de inflexión.

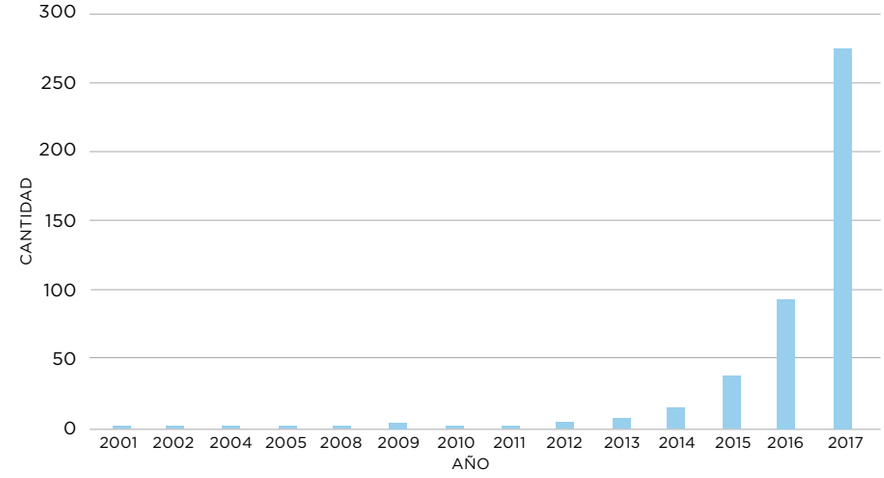
Además del aprendizaje profundo, otras tecnologías de IA también fueron cobrando impulso. Durante mucho tiempo, se creyó que el comportamiento humano era lo suficientemente complejo como para desafiar cualquier predicción acertada. Algunos sistemas de IA parecen estar logrando avances sorprendentes en la predicción del comportamiento humano. En el otoño estadounidense de 2017, la Universidad de Vanderbilt describió un sistema capaz de predecir los intentos de suicidio dentro de las dos semanas con una precisión del 92% y del 80%-90% dentro de los dos años. El sistema se basó en un algoritmo de IA llamado *random forests* (bosques aleatorios).

GRÁFICO 3
ÍNDICES DE ERROR DEL CONCURSO DE RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES ImageNet



Fuente: Aproximado, sobre la base de https://www.eff.org/ai/metrics.

GRÁFICO 4
ARTÍCULOS SOBRE APRENDIZAJE PROFUNDO EN LA LITERATURA MÉDICA, POR AÑO



Fuente: Cálculos del autor sobre la base de información de PubMed.gov (2017).

ACCESO A LA INFORMACIÓN

Además del desafío de la caja negra para poder comprender cómo toma sus decisiones la IA, se plantea otra serie de desafíos para el desarrollo de los sistemas de IA destinados al sector salud.

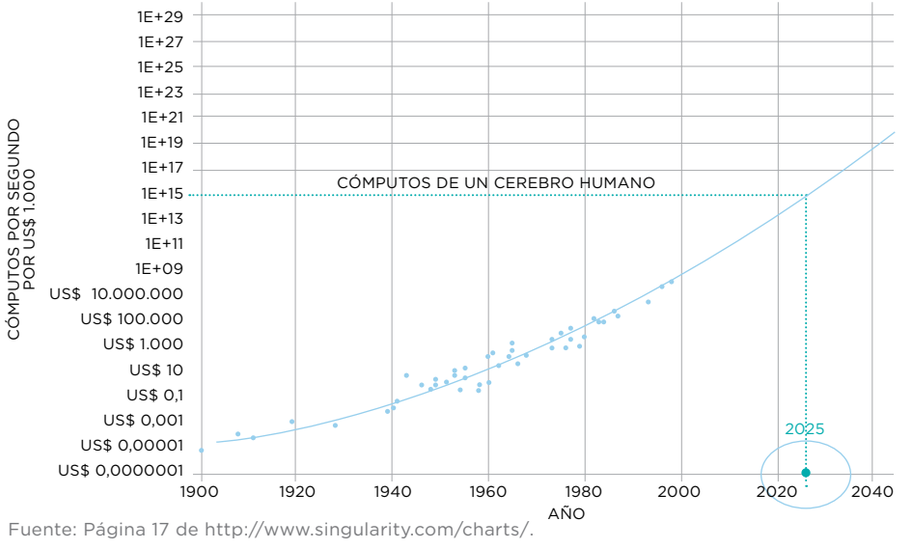
Entrenar los procesos de IA en el sector es un desafío, debido a la falta de entornos simulados. En octubre de 2017, el equipo de DeepMind de Google hizo una demostración de una nueva versión de su sistema AlphaGo (Alpha Go Zero), que adquirió habilidades superhumanas para el juego coreano Go jugando contra sí mismo una y otra vez (Vincent, 18 de octubre, 2017). La primera versión de AlphaGo, que venció a quien se había consagrado campeón del mundo 18 veces, Lee Se-dol, estaba basada en un conjunto de datos iniciales compuesto por 100.000 juegos humanos; mientras que esta nueva versión solo necesitó tres días de jugar contra sí misma para vencer a aquella versión anterior 100 partidos a 0. Los descendientes de este sistema lograron luego vencer también al programa que es el mejor jugador de ajedrez del mundo, Stockfish, después de jugar durante cuatro horas; subsiguientemente, también vencieron al mejor programa jugador de *shogi* (ajedrez japonés), Elmo, tras un entrenamiento de apenas dos horas de juego (Vincent, 6 de diciembre, 2017). Un rasgo común de todos estos juegos es que la práctica se puede realizar en un mundo comple-

tamente virtual. En 2016, tanto Google como OpenAI, de Elon Musk, lanzaron un espacio de entrenamiento o *sandbox playground* para los sistemas de IA (Burgess, 5 de diciembre, 2016).

El sector salud no cuenta con simulaciones de alta fidelidad de los procesos metabólicos y fisiológicos con las que la IA podría realizar la cantidad de iteraciones muchas veces necesarias. Depurar a los datos de sesgos puede ser un desafío. Se ha demostrado que la IA puede aprender cuáles son los sesgos inherentes a los conjuntos de datos utilizados para su entrenamiento (Hsu, 13 de abril, 2017); también que los datos de diagnóstico y tratamiento de los problemas de salud contienen sesgos tanto raciales como étnicos (Vedantam, 13 de agosto, 2007). Los desafíos siguen siendo cómo entrenar sistemas de IA sin sesgos cuando los datos de entrenamiento en sí mismos tienen sesgos raciales o étnicos que son desconocidos o no reconocidos. La salud todavía tiene que responder a la pregunta de cómo construimos una IA que sea mejor que nosotros mismos.

Los conjuntos de datos relacionados con la salud se caracterizan particularmente por su temporalidad y escasez. Actualmente, el gran avance que han evidenciado los conjuntos de datos de audio y de imágenes se produjo para conjuntos de datos completos: los valores de los píxeles se presentan para cada píxel de la imagen y los datos de audio están disponibles para cada intervalo. En Estados Unidos, hay más de 60.000 pruebas de laboratorio con certificación CLIA y cada año se suman más de 1.000 pruebas de laboratorio adicionales. No todos los pacientes son sometidos a todas las pruebas y, dentro de un lapso determinado, se realizan unas pocas pruebas. Actualmente, los sistemas de IA enfrentan ciertos desafíos a la hora de lidiar con la combinación de la temporalidad y la escasez. Algunos grupos de investigación, como

GRÁFICO 5
CRECIMIENTO EXPONENCIAL DE LOS CÓMPUTOS DISPONIBLES POR US$ 1.000



Fuente: Página 17 de http://www.singularity.com/charts/.

los de la Universidad de California, están abocados a tratar de lograr avances en estas áreas, específicamente para el sector salud.[4]

El acceso a la información de los pacientes puede representar otro obstáculo para el progreso de la IA. El hecho de compartir datos privados que forman parte del secreto médico entre los distintos sistemas de salud puede verse amenazado por los intereses comerciales de prestadores de servicios sanitarios que compiten entre sí u otros intereses que pueden afectar la privacidad de los pacientes.

No obstante, puede haber soluciones emergentes para compartir datos preservando la privacidad. Las técnicas criptográficas típicas de dispersión hacen que los datos queden de un modo en el que hasta la matemática simple se torna imposible, por no hablar del aprendizaje más sofisticado de la IA. Por ejemplo, un valor de laboratorio como "15", una vez troceado criptográficamente, se puede convertir en una secuencia alfanumérica de 40 dígitos utilizando SHA256. Las nuevas formas de troceado criptográfico, especialmente, el cifrado homomórfico, aparecen como formas prometedoras de encriptar datos que permiten, al mismo tiempo, la realización de los cómputos. La empresa Numerai estableció un fondo de cobertura por medio de un proceso en el cual sus datos se comparten con expertos en informática en un formato cifrado donde dichos expertos pueden seguir realizando cómputos. Los datos permanecen básicamente desconocidos para estos expertos y ellos también siguen siendo desconocidos para la empresa, que les paga en *bitcoins* (Metz, 12 de diciembre, 2016). El cifrado homomórfico aparece como una opción prometedora para compartir y, al mismo tiempo, preservar datos médicos de los pacientes.

EL DESTINO DE LA IA

A pesar de las barreras, hay tres tendencias que despiertan optimismo respecto del papel cada vez más preponderante que la IA puede desempeñar en el sector salud: el crecimiento exponencial del poder de cómputo, la capacidad de simulación y los modelos computacionales paralelizados. Estas tres tendencias parecen sugerir que llegará un momento en el cual la computación logrará equipararse con el cerebro humano y, entonces, habrá aún más de las tantas capacidades inherentes al intelecto humano que estarán disponibles como servicios informáticos.

Poder de cómputo

El cerebro humano tiene aproximadamente 86.000 millones de neuronas y un promedio de 10.000 conexiones (sinapsis) entre cada neurona. Los cómputos se realizan en las sinapsis. El mapa de los 1.000 billones (10^15) de conexiones se llama "conectoma". Suponiendo que se produce un solo cálculo por sinapsis, si se mantienen las tendencias actuales en cuanto a cálculos digitales por segundo disponibles por US$ 1.000, entonces para el año 2025 habrá computadoras que podrán equipararse con la mente humana (ver gráfico 5). Para poner esta tendencia en perspectiva, podríamos usar el iPhone como ejemplo: si tomamos como base el iPhone X, la edición lanzada al mercado en 2017 para celebrar el 10.º aniversario del iPhone, el potencial iPhone XX, que se lanzaría en 2027, podría realizar cálculos a una velocidad mayor que la del cerebro de la persona que lo compra.

Equiparar el poder de cómputo al del cerebro humano no significa que los diseños digitales vayan a lograr la misma capacidad de procesamiento en paralelo que los cerebros de los mamí-

feros. Para eso, harían falta estimaciones a partir de una simulación neurológica.

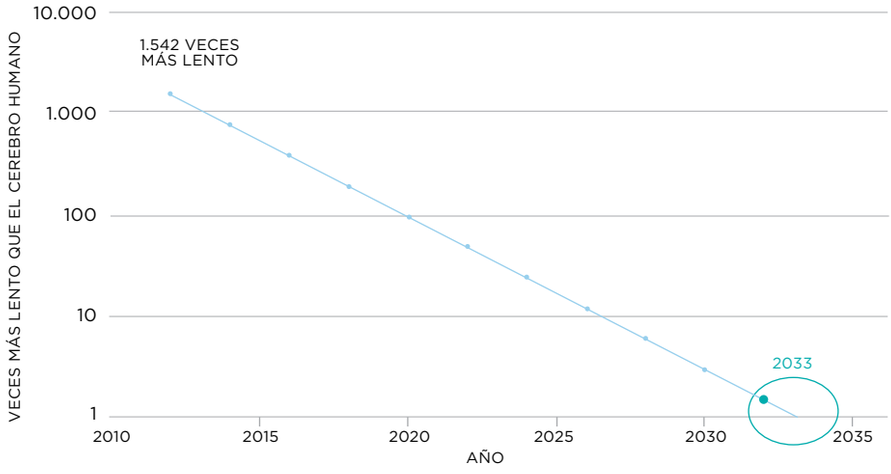
Capacidad de simulación

Todo indica que el diseño de chips de ordenadores que simulen la estructura neural (computación neuromórfica) seguirá una línea de tiempo similar a la de los cómputos en sí mismos para alcanzar la paridad con el cerebro humano. En 2012, como parte del proyecto SyNAPSE de DARPA, IBM construyó un sistema para simular las conexiones del cerebro humano. Este sistema está compuesto por aproximadamente seis veces más neuronas que el típico cerebro humano (530.000 millones) y cerca de un décimo de la cantidad de conexiones (100 billones). La simulación resultante fue 1.542 veces más lenta que el cerebro humano real (IBM Research, 19 de noviembre, 2012). Las proyecciones hacia el futuro para estimar cuándo esta simulación neuromórfica podría equipararse neurológicamente con el ser humano, sin tener en cuenta las mejoras que podrían surgir en el diseño del *software* o del *hardware*, indican que se produciría en el año 2033. Dado que cualquier aspecto de estos diseños también podría mejorarse, la paridad con este nivel de simulación podría producirse antes.

Captura del conectoma completo

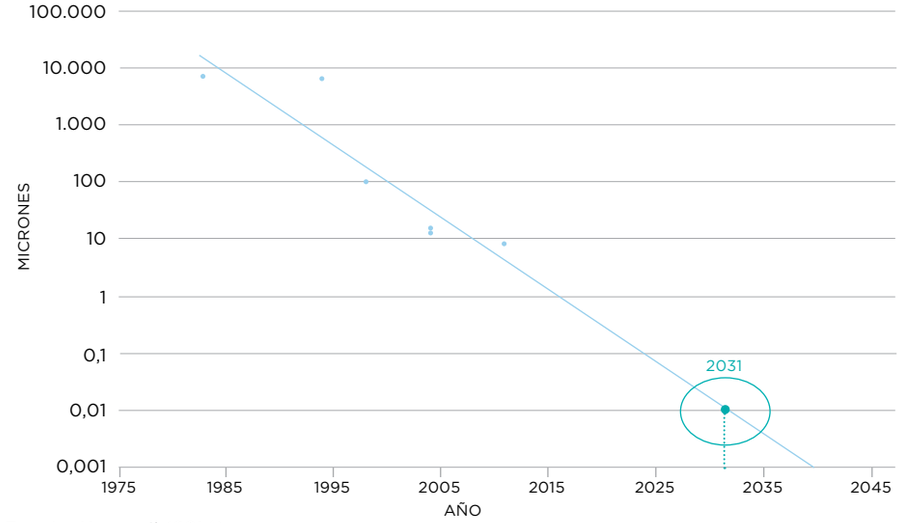
Aunque podamos tener el poder de cómputo y el paralelismo necesarios para simular la mente humana, igual seguiríamos necesitando el diagrama de cableado correcto. Para esto, necesitamos el conectoma. El desafío para capturar el conectoma es que, cuando el agua se congela, se expande. Como resultado, durante la criopreservación de tejidos, la sinapsis normalmente se ve alterada debido a la expansión del líquido, que hace que se pierdan conexiones y conocimiento funcional. Esto fue así hasta febrero de 2016, cuando se otorgó el Premio a la conservación del cerebro. El proyecto ganador abrió la posibilidad de congelar el cerebro de

GRÁFICO 6
VELOCIDAD DE SIMULACIÓN NEURONAL



Fuente: IBM Research (2012).

GRÁFICO 7
RESOLUCIÓN DE ESCANEO DEL CEREBRO



Fuente: Kurzweil (2014).

virtualmente cualquier especie preservando al mismo tiempo el conectoma (The Brain Preservation Foundation, febrero, 2017). Esto dio lugar a la posibilidad de escanear las conexiones del cerebro humano para luego representarlas digitalmente. Si tenemos en cuenta los estudios recientes que sugieren que el ancho de la placa terminal de una conexión sináptica es importante, la tecnología de escaneo existente necesitaría capturar resoluciones de 0,01 micrones de ancho. Las tendencias actuales en materia de capacidad de resolución de escaneo destructivo indican que, para 2031, podría capturarse el conectoma humano a dicha resolución (ver gráfico 7). Algunos sugirieron que, de acuerdo con esta tendencia, llegará un momento en el cual, incluso si aún no comprendemos cabalmente de qué modo funciona el cerebro, podremos generar digitalmente instancias de conectomas completos que operen de un modo similar al de la cognición humana (Kurzweil, 2014). Mientras la IA avanza hasta alcanzar este punto, se espera que también se desbloqueen otras capacidades de la mente humana, a medida que la resolución de escaneo vaya captando estructuras cada vez más complejas del conectoma.

Si se toman estas tres tendencias junto con sus fechas de realización final –cómputo: 2025, simulación: 2033 y resolución de escaneo: 2031–; para algunos autores, los cómputos de la IA aplicables al sector de la salud, y también a otros campos, se equipararán con aquellos del cerebro humano cerca de 2029 (Kurzweil, 2014).

Si bien este enfoque puede estar subestimando la cantidad real de cómputos que realiza el cerebro humano, sugiere que las tendencias exponenciales darían paso a una capacidad de la IA mucho mayor en el futuro.

Ancho de banda de la BCI

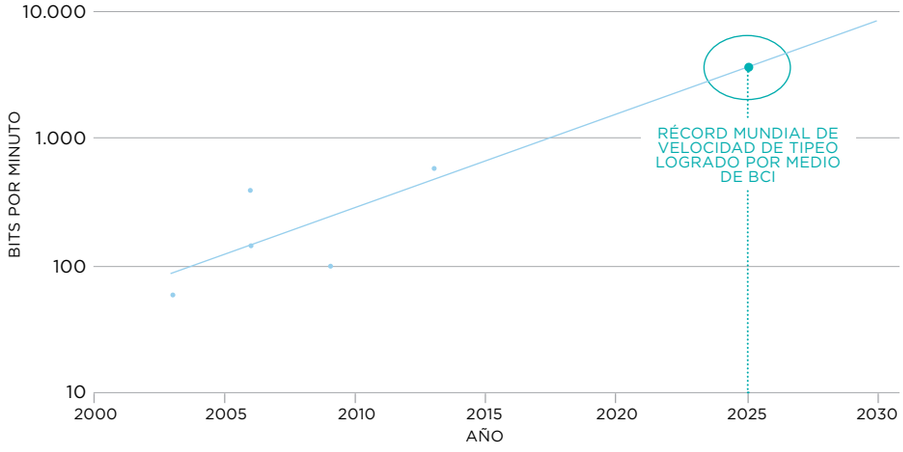
Algunos creen que el avance de la IA va a superar al de la mente humana, mientras otros creen que los avances se irán produciendo en tándem. En 2011, Cathy, una mujer de 59 años, madre de dos hijos, cuyo cuerpo había quedado paralizado del cuello hacia abajo por un ACV del tronco encefálico 16 años antes, logró controlar un brazo robótico utilizando el pensamiento, transmitido a través de un chip de interfaz de control cerebral (BCI, por sus siglas en inglés), para tomar un sorbo de té por primera vez desde que había sufrido la lesión. Desde entonces, el ancho de banda de los datos que se pueden obtener de la BCI se ha venido incrementando exponencialmente (ver gráfico 8).

Si se mantienen las tendencias actuales en materia de interfaz de control cerebral, dentro del próximo año o dos podemos esperar un anuncio que revele que un paciente puede tipear palabras por medio de una BCI a la misma velocidad que un dactilógrafo promedio (unas 40 palabras por minuto) y, dentro de los próximos 10 años, podemos esperar el anuncio de que el récord mundial de velocidad de escritura a máquina se logró escribiendo con la mente (aproximadamente, 200 palabras por minuto).

IA fusionada

El avance exponencial producido en la interfaz de control cerebral llevó a algunos a especular que la nueva ola de la inteligencia artificial puede ser una IA fusionada, que combine la IA con la BCI. Bryan Johnson, el ex-*CEO* de Braintree que le vendió su empresa a e-Bay por US$ 700 millones, formó una nueva empresa llamada Kernel, con el fin de crear prótesis neuronales para subsanar el daño producido por infartos cerebrales o para mejorar el cerebro humano (Mannes, 20 de octubre, 2016). De manera similar, Elon Musk fundó una empresa llamada Neuralink, que procura crear una interfaz de control cerebral que se una al cerebro humano con una IA que él mismo denomina "lazo neuronal" (Statt, 27 de marzo, 2016).

GRÁFICO 8
ANCHO DE BANDA DE LA INTERFAZ DE CONTROL CEREBRAL (BCI)



Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes bibliográficas primarias.

LA MIRADA DEL PACIENTE

Se espera que los avances en la atención médica estén impulsados por aquellos producidos en el campo de la IA. Al mismo tiempo, los avances que logre la medicina en su comprensión de la mente humana impulsarán también avances en la IA. Es de esperar que esta sinergia continúe motorizando las tendencias exponenciales que llevaron a los increíbles adelantos que hemos visto hasta el presente.

Algunas de las empresas más grandes de la actualidad construyeron su éxito sin ser dueñas de los productos que venden o sin poseer los activos necesarios para prestar servicios. Esto planteó el interrogante acerca de a qué se asemejará en el futuro el sector salud. Las tendencias evidenciadas por la IA sugieren que la empresa prestadora de servicios de salud más grande del mundo del futuro quizás no emplee a ningún trabajador de la salud ni cuente con instalaciones de ningún tipo. Dicha empresa podría simplemente prestar servicios médicos por medio de IA desde la nube.

El éxito continuo de la IA en el sector salud puede ser bueno o, quizás, malo para aquellos que trabajan en dicho sector, pero los primeros avances sugieren, casi con total seguridad, que será bueno para los pacientes.

NOTAS

[1] Electronic Freedom Foundation, "Measuring the progress of AI research", https://www.eff.org/ai/metrics.

[2] Howard, J. 2015. Singularity University Exponential Medicine Conference.

[3] Howard, J. 2017. AIMed Conference. Laguna Niguel, California.

[4] Ver los trabajos de Sanjay Purushotham en www-scf.usc.edu/~spurusho/.

BIBLIOGRAFÍA

Angier, N. "Great 15-Year Project to Decipher Genes Stirs Opposition". The New York Times. **5 de junio, 1990**.

Burgess, M. "Elon Musk's OpenAI and Google's DeepMind Release Their AI Playgrounds to Everyone". Wired. **5 de diciembre, 2016**.

Doyle, R. 2016. "Optimising CRISPR Genome Editing using Machine Learning". Re-Work Conference. Londres.

Funk, L. M., Weiser, T. G., Berry, W. R. *et al.* 2010. "Global Operating Theatre Distribution and Pulse Oximetry Supply: An Estimation from Reported Data". *The Lancet*. 376 (9746): 1055-1061.

Hsu, J. "AI Learns Gender and Racial Biases From Language". IEEE Spectrum. **13 de abril, 2017**.

IBM Research. "IBM Simulates 530 Billion Neurons, 100 Trillion Synapses on Supercomputer". KurzweilAI. **19 de noviembre, 2012**

Kubota, T. "Deep Learning Algorithm Does as Well as Dermatologists in Identifying Skin Cancer". Stanford News. **25 de enero, 2017**.

Kurzweil, R. 2014. *How to Create a Mind: The Secret of Human Thought Revealed*. Londres: Duckworth.

Makary, M. A. y Daniel, M. 2016. "Medical Error—The Third Leading Cause of Death in the US". *BMJ*. 353: i2139.

Mannes, J. "Bryan Johnson Invests $100 Million in Kernel to Unlock the Power of the Human Brain". TechCrunch. **20 de octubre, 2016**.

Metz, C. "7,500 Faceless Coders Paid in Bitcoin Built a Hedge Fund's Brain". Wired. **12 de diciembre, 2016**.

Organización Mundial de la Salud. "Un nuevo informe revela que 400 millones de personas carecen de acceso a los servicios sanitarios básicos". OMS y Banco Mundial. Ginebra y Nueva York, **12 de junio, 2015**.

Peng, L. y Gulshan, V. "Deep Learning for Detection of Diabetic Eye Disease". Google Research Blog. **29 de noviembre, 2016**.

Statt, N. "Elon Musk Launches Neuralink, a Venture to Merge the Human Brain with AI". The Verge. **27 de marzo, 2017**.

The Brain Preservation Foundation. "Newly Invented Aldehyde-Stabilized Cryopreservation Procedure Wins Brain Preservation Prize". brainpreservation.org. **Febrero, 2017**.

Vedantam, S. "The Color of Healthcare: Diagnosing Bias in Doctors". The Washington Post. **13 de agosto, 2007**.

Vincent, J. "DeepMind's Go-Playing AI Doesn't Need Human Help to Beat Us Anymore". The Verge. **18 de octubre, 2017**.

—. "DeepMind's AI Became a Superhuman Chess Player in a Few Hours, Just for Fun". The Verge. **6 de diciembre, 2017**.

Xiong, W., Droppo, J., Huang, X. *et al.* 2016. "Achieving Human Parity in Conversational Speech Recognition". Microsoft Research Technical Report No. MSR-TR-2016-71. Microsoft.

CASO DE ESTUDIO

Medicina de precisión

La robotlución de Watson

Juan Hoyos
IBM Latinoamérica

El mundo pasó a estar basado en datos. Empresas de distintas industrias están transformándose digitalmente; los consumidores se empoderan y tienen necesidades inmediatas. La innovación se produce ya no en años, sino en días. Así, la explosión de los datos se ha transformado en el motor y el resultado de la transformación digital.

Los datos han redefinido relaciones, experiencias, hábitos, modelos de negocios y puestos de trabajo. En el universo digital actual hay más de 2,7 *zettabytes* de datos. Más de 5.000 millones de personas están haciendo llamadas, enviando mensajes de texto, tuiteando y navegando en sus teléfonos celulares alrededor del mundo. Según las estimaciones, el volumen mundial de datos de negocios se duplica cada 1,2 años (Mulcahy, 22 de febrero, 2017). Los macrodatos son un tema importante para todas las empresas. Los datos recopilados y almacenados por las organizaciones se están incrementando exponencialmente, y la capacidad para acceder a estos y analizarlos es crucial y una ventaja competitiva para las empresas.

Si bien los motores de búsqueda tradicionales permiten llegar al 20% de todos los datos del mundo, el 80% no se puede buscar con informática tradicional. Estos datos (no estructurados) están compuestos por videos, fotos, texto libre en las historias clínicas, actividad en las redes sociales, etcétera.

Los datos relacionados con la salud están creciendo exponencialmente. Densen (2011) muestra que se espera que, para 2020, los datos médicos se dupliquen cada 73 días. A lo largo de su vida, cada individuo posiblemente genere más de un millón de *gigabytes* de datos relacionados con su salud.

El campo de la literatura médica enfrenta un desafío similar. PubMed incluye más de 27 millones de artículos científicos. En 2016, se publicaron 1.261.379 trabajos. El volumen de imágenes y conocimiento médicos que se genera supera ampliamente la capacidad de los médicos más brillantes para mantenerse actualizados (Corlan, 2016). En 2015, en EE. UU. se generaron 60.000 millones de imágenes médicas (Watson Health, 2016). Los radiólogos pasaron el 64% de su tiempo en tareas no interpretativas.

El tiempo necesario para analizar y consumir estos datos –y encontrar los específicamente relevantes para las necesidades únicas de cada paciente para mejorar potencialmente los resultados de su tratamiento– es más limitado que nunca. Sobre todo si tenemos en cuenta que la duración de una entrevista en un consultorio de atención primaria medida en 67 países varía desde 48 segundos en Bangladés, a 22 minutos en Suecia (Irving *et al*., 2017).

A través del procesamiento de lenguajes naturales y del aprendizaje automático, la inteligencia artificial (IA) y la computación cognitiva pueden permitirles a las organizaciones aprovechar el 80% de los datos no estructurados y gestionarlos de manera inteligente, transformándolos en información útil para ayudar a los profesionales a tomar decisiones más acertadas y basadas en una cantidad de evidencia que excede la capacidad de análisis del cerebro humano. Algunos de los usos más prometedores de la IA y de la computación cognitiva en el cuidado de la salud incluyen análisis predictivos, medicina de precisión y apoyo a las decisiones clínicas.

Watson Health de IBM se posicionó en la industria de la salud utilizando sus capacidades de procesamiento de lenguajes naturales y computación cognitiva para desarrollar herramientas de apoyo a las decisiones clínicas en cinco pilares: oncología y genómica, ciencias de la vida, salud poblacional, imágenes y la transición hacia modelos de atención basados en el valor.

Según la OMS, el cáncer ya es una de las principales causas de muerte en el mundo. En consecuencia, la carga de trabajo que enfrentan los oncólogos inevitablemente está en aumento. A septiembre de 2015, PubMed contenía más de 2,7 millones de artículos catalogados bajo el encabezamiento de temas médicos (MeSH) “neoplasia” y, desde 2011, se acumularon más de 100.000 artículos nuevos por año. Para mantenerse actualizado nada más que con la literatura sobre el cáncer, uno tendría que leer 17 artículos por hora los 365 días del año (Warner, 2015). Queda claro que los médicos que sufren esta sobrecarga de información necesitan sistemas de apoyo para la toma de decisiones.

Watson para Oncología es una herramienta cognitiva de apoyo a las decisiones que utiliza procesamiento de lenguajes naturales para incorporar datos sobre los pacientes en formatos estructurados y no estructurados, a fin de proponer alternativas de tratamiento basadas en la evidencia y ordenadas en un *ranking* para que las evalúen los oncólogos tratantes. Fue desarrollada por IBM junto con el prestigioso Memorial Sloan Kettering Cancer Center.

Tras haber incorporado aproximadamente 15 millones de páginas, que incluyen el contenido de libros de texto, artículos científicos y protocolos de tratamiento del centro Memorial Sloan Kettering y de la red nacional de centros oncológicos llamada National Comprehensive Cancer Network, y habiendo sido luego entrenada por especialistas en oncología, la herramienta resume los atributos médicos clave de un paciente y los cruza con estudios de la literatura científica revisados por pares, luego establece un *ranking* de todas las opciones de tratamiento disponibles personalizado para cada

paciente y aporta información acerca de los posibles esquemas de administración de los medicamentos, así como de los cuidados de soporte y de los efectos adversos esperados de cada modalidad de tratamiento propuesta. Actualmente, Watson para Oncología cubre 13 tipos de cáncer, que representan el 80% de la incidencia mundial de esta enfermedad.

En Somashekhar *et al*. (2017), un estudio ciego de 362 casos realizado por el centro oncológico Manipal Comprehensive Cancer Centre de Bangalore, en la India, Watson para Oncología logró un índice de concordancia del 96% en los casos de cáncer de pulmón, del 81% en los de colon y del 93% en los de recto, comparados con las recomendaciones de la junta multidisciplinaria sobre tumores perteneciente a dicho centro.

En Somashekhar *et al*. (2018), estudio liderado por oncólogos de los hospitales de la India que integran la red Manipal Hospitals, concluyeron que la herramienta había concordado con sus propias decisiones de tratamiento en el 93% de 638 casos de cáncer de mama.

Watson para Oncología también logró un índice de concordancia del 83% para múltiples tipos de cáncer comparado con las recomendaciones de oncólogos, según Suwanvecho *et al*. (2017), un estudio realizado en el Bumrungrad International Hospital Bangkok, Tailandia.

En un estudio cualitativo, oncólogos mexicanos (Sarre-Lazcano *et al*., 2017) determinaron que Watson para Oncología podría ayudarlos a identificar las potenciales alternativas de tratamiento para sus pacientes, especialmente en clínicas que no tuvieran experiencia en la subespecialidad, y también a capacitar a los estudiantes de medicina y a los residentes.

Para la atención del cáncer, la secuenciación del genoma es un tema prometedor y recurrente en las discusiones relacionadas con la medicina de precisión. Si bien el costo de la secuenciación cayó drásticamente en los últimos años, analizar la enorme cantidad de datos generados por esta solución sigue representando un gran desafío. Los equipos multidisciplinarios de apoyo a la toma de decisiones todavía necesitan analizar manualmente los paneles génicos para determinar los efectos de las mutaciones y efectuar recomendaciones a fin de que los oncólogos tratantes puedan priorizar ensayos clínicos de terapias oncológicas personalizadas para cierto paciente y su genoma único (Khotskaya, Mills y Mills Shaw, 2017).

Watson para Genómica es una solución basada en la nube que ayuda a enfrentar este desafío con computación cognitiva. Empodera a los oncólogos para brindarles a sus pacientes medicina de precisión por medio del análisis de la secuenciación genética de los tumores basada en la evidencia y les ofrece distintas alternativas terapéuticas posibles. Watson para Genómica utiliza información relevante extraída de la literatura médica para proporcionar un análisis genético de las mutaciones cancerígenas tratables del paciente. El informe generado por Watson incluye recomendaciones de posibles terapias específicas que sean relevantes para el perfil de ADN particular del tumor del paciente que se está estudiando. Los médicos podrán entonces evaluar toda esta evidencia para determinar si una terapia específica puede ser más eficaz que otra.

En un estudio comparativo reciente realizado por el New York Genome Center, Hwang *et al*. (2017) utilizaron Watson para Genómica para ayudar a escalar la interpretación de una secuencia del genoma completo. Hallaron que esta herramienta podía ofrecer un informe con conclusiones potencialmente aplicables sobre la genética de un paciente en apenas 10 minutos, un plazo significativamente menor que las 160 horas necesarias para llegar a las mismas conclusiones por medio de una interpretación manual.

En un análisis retrospectivo (Patel *et al*., 2017) de 1.018 casos de cáncer realizado en el UNC Lineberger Cancer Center, la junta de estudios moleculares sobre tumores identificó alteraciones genéticas tratables en 703 casos, que fueron asimismo confirmados por Watson. No obstante, Watson para Genómica pudo identificar alternativas terapéuticas potenciales para otros 323 pacientes, un tercio de los casos revisados, que la junta de estudios moleculares no había detectado. De estos, 96 no habían sido previamente identificados como portadores de una mutación tratable.

Las herramientas de computación cognitiva e IA se están convirtiendo en elementos fundamentales para empoderar a los médicos a la luz de la sobrecarga de datos que inundan el campo de la salud. En un mundo donde la cantidad de datos a tener en cuenta para brindarle a un paciente el tratamiento adecuado excede la capacidad de procesamiento del cerebro humano, la tecnología surge como un aliado fundamental para ayudar a los profesionales de la salud a brindarles a sus pacientes una atención más humana y personalizada.

BIBLIOGRAFÍA

Corlan, A. D. 2016. "Medline Trend: Automated Yearly Statistics of PubMed Results for any Query, 2004". Última modificación: 14 de febrero, 2012. http://dan.corlan.net/medline-trend.html.

Densen, P. 2011. "Challenges and Opportunities Facing Medical Education". *Transactions of the American Clinical and Climatological Association*. 122: 48-58.

Hwang, Y. T., Lakshmanan, R., Davagnanam, I. *et al.* 2017. "Brainstem Phenotype of Cathepsin A–Related Arteriopathy with Strokes and Leukoencephalopathy". *Neurology Genetics*. 3 (4) e165.

Irving, G., Neves, A. L., Dambha-Miller, H. *et al.* 2017. "International Variations in Primary Care Physician Consultation Time: A Systematic Review of 67 Countries". *BMJ Open*. 7: e017902.

Khotskaya, Y. B., Mills, G. B. y Mills Shaw, K. R. 2017. "Next-Generation Sequencing and Result Interpretation in Clinical Oncology: Challenges of Personalized Cancer Therapy". *Annual Review of Medicine*. 14 (68): 113-125.

Mulcahy, M. "Big Data Statistics & Facts for 2017". Blog Waterford Technologies. **22 de febrero, 2017**.

Patel, N. M., Michelini, V. V., Snell, J. M. *et al.* 2017. "Enhancing Next-Generation Sequencing-Guided Cancer Care Through Cognitive Computing". *The Oncologist*. 22: 1-7.

Sarre-Lazcano, C., Alonso, A. A., Melendez, F. D. H. *et al.* 2017. "Cognitive Computing in Oncology: A Qualitative Assessment of IBM Watson for Oncology in Mexico". *Journal of Clinical Oncology*. 35 (15).

Somashekhar, S. P., Sepúlveda, M. J., Norden, A. D. *et al.* 2017. "Early Experience with IBM Watson for Oncology (WFO) Cognitive Computing System for Lung and Colorectal Cancer Treatment". *Journal of Clinical Oncology*. 35 (15): 8527.

Somashekhar, S. P., Sepúlveda, M. J., Puglielli, S. *et al.* 2018. "Watson for Oncology and Breast Cancer Treatment Recommendations: Agreement with an Expert Multidisciplinary Tumor Board". *Annals of Oncology*. 29 (2): 418-423.

Suwanvecho, S., Suwanrusme, H., Sangtian, M. *et al.* 2017. **"**Concordance Assessment of a Cognitive Computing System in Thailand". *Journal of Clinical Oncology*. 35 (15): 6589.

Warner, J. L. 2015. "Grappling with the Data Explosion in Oncology". *Oncology & Hematology Review*. 11 (2): 102-103.

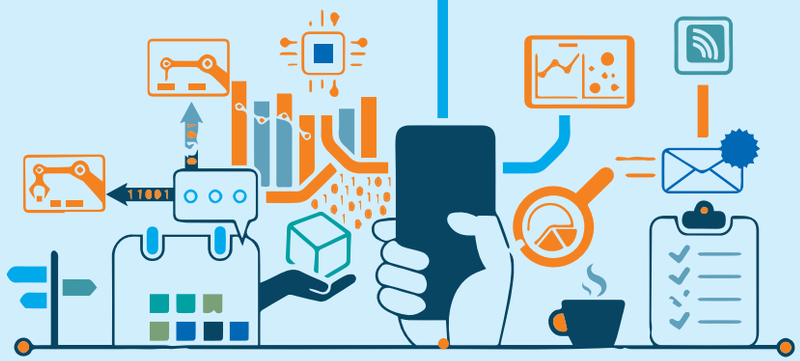
Watson Health. 2016. *Imagine Your World with Watson*. Cambridge: IBM.

INDUSTRIA 4.0

FABRICANDO EL FUTURO

INSERCIÓN INTERNACIONAL INTELIGENTE, REDES INDUSTRIALES, MODELOS PREDICTIVOS Y NUEVAS CADENAS DE VALOR. PRESENTE Y FUTURO DE LA ARGENTINA

LA TRASFORMACIÓN DIGITAL EN LOS DISTINTOS SECTORES PRODUCTIVOS: DESAFÍOS REGULATORIOS Y POLÍTICAS INDUSTRIALES



Descargala en www.iadb.org/intal

UIA UNIÓN INDUSTRIAL ARGENTINA

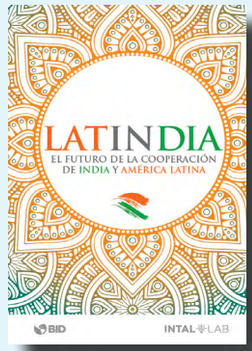
BID

INTAL

SOBRE EL FUTURO DE LA INTEGRACIÓN REGIONAL

DESARROLLO ACELERADO
Un análisis detallado del impacto en las economías latinoamericanas de las nuevas tecnologías exponenciales

DIVERSIFICACIÓN DE MERCADOS
Propuestas concretas para fortalecer el intercambio y la cooperación de India y América Latina



INTEGRACIÓN SUR-SUR
La nueva normalidad de la economía china y el futuro de la complementariedad con América Latina y el Caribe

REGIONALISMO INTELIGENTE
El camino del MERCOSUR hacia una tecnointegración productiva que le permita potenciar sus economías

CRECIMIENTO SUSTENTABLE
Inspirados por la encíclica *Laudato Si´* expertos mundiales plantean opciones concretas para avanzar en una eco-integración

QUÉ PIENSA LA GENERACIÓN Y
La relación de los jóvenes argentinos con la tecnología, la economía digital y el mercado laboral en el futuro

Descarga las publicaciones en www.iadb.org/intal

CONOCIMIENTO DE VANGUARDIA

Especialistas multidisciplinarios de todo el mundo analizan el impacto de la inteligencia artificial en América Latina y el Caribe con un enfoque holístico y estratégico.

· PETER DIAMOND
Premio Nobel de Economía 2010

· DAVE DONALDSON
Medalla John Bates Clark al mejor economista estadounidense menor de 40 años

· GEOFF MULGAN
CEO del National Endowment for Science Technology (NESTA) de Reino Unido

· RAFAEL REIF
Presidente del Massachusetts Institute of Technology (MIT)

· NICOLAS MIAILHE
Cofundador y presidente The Future Society de la Universidad de Harvard

· KARIM LAKHANI
Profesor de Administración de Empresas en Harvard Business School

· LUIS ASCENCIO
Consultor internacional en puertos digitales para el Sistema Económico Latinoamericano y del Caribe (SELA)

· AVINASH VASHISTHA Y ANKITA VASHISTHA
Fundador e investigadora de Tholons Inc., una firma global de transformación digital y exportación de servicios

· JOHN ATKINSON
Director del IT Center de la Universidad Adolfo Ibañez de Chile

· DANIEL HEYMANN Y PABLO MIRA
Profesores e investigadores de la Universidad de Buenos Aires. Expertos en macroeconomía y economía del comportamiento

· YOLANDA LANNQUIST
Investigadora en AI Initiative de Harvard Kennedy School

· SANTIAGO CHELALA
Consultor del INTAL-BID, autor del Indicador Sintético de Riesgo de Automatización del Trabajo

· ANAND RAO
Líder Global en Inteligencia Artificial de PriceWaterhouseCoopers

· MICHAEL GILLAM
CEO de HealthLab y profesor en Singularity University desde donde lidera iniciativas en medicina con realidad virtual y robótica

· WELBER BARRAL
Exsecretario de comercio exterior de Brasil

· PHIL TINN Y MICHAEL LIN
Investigadores de MIT LAB especialistas en nuevos medios de transporte

· JULIÁN SIRI
Profesor de la Universidad del CEMA, Argentina y Máster en Ingeniería Financiera de la Universidad de Columbia en Nueva York

· JUAN LAVISTA
Senior Director of Data Science en Microsoft y Editor del Microsoft Journal of Applied Research (MSJAR)

· GABRIEL PETRUS
Director Ejecutivo de ICC Brasil e impulsor de la iniciativa Inteligent Tech & Trade para usar IA en negociaciones comerciales

· DÉBORA SCHAPIRA
Profesora de la Universidad Nacional de Tres de Febrero, Argentina. Experta en políticas educativas y en aplicaciones de IA para la educación

· EDUARDO PLASTINO
Investigador Senior en Accenture Research

· MARCOS HERRERA
Especialista en econometría espacial del CONICET, Argentina

· ROSA GONZÁLEZ-RAMÍREZ
Profesora de la Facultad de Ingeniería en la Universidad de los Andes en Chile y especialista en logística portuaria

· NATALIA SAMPIETRO
Directora de Datos Públicos del Ministerio de Modernización argentino

· JUAN CORVALÁN
Fiscal Federal Adjunto de la Ciudad de Buenos Aires. Impulsó Prometea, la aplicación de IA, al sistema judicial

· CARLOS CHESÑEVAR Y ELSA ESTEVEZ
Profesores de la Universidad Nacional del Sur, Argentina. Están entre los mayores especialistas latinoamericanos en inteligencia artificial

· JULIA NUÑEZ TABALES, JOSÉ CARIDAD Y OCERÍN Y MARIA GARCÍA-MORENO
Investigadores de la Universidad de Córdoba de España

· ANTON KORINEK
Profesor de la Universidad Johns Hopkins y experto en innovación y distribución del ingreso

· SAMIR SARAN Y MADHULIKA SRIKUMAR
Vicedirector y experta en ciberseguridad del Observer Research Foundation de India

· DOAA ABU ELYOUNES
Especialista en Justicia e IA. Harvard University

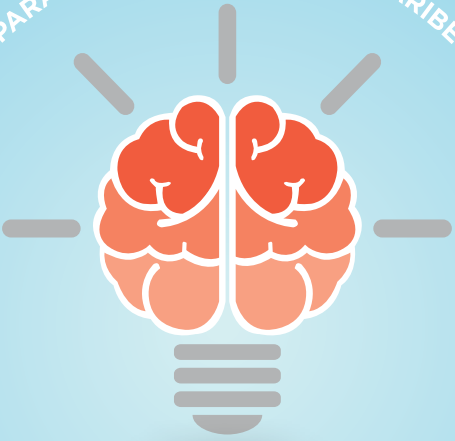
· RICARDO RODRÍGUEZ
Científico de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires

· KATE POUNDER
CEO de Alphabeta Australia, a cargo del informe estratégico de reconversión del trabajo y la economía digital

· JUAN HOYOS
Ejecutivo Líder de IBM Watson para América Latina

INTAL-LAB

UN ESPACIO DE ENCUENTRO PARA LA CO-CREACIÓN DE IDEAS INNOVADORAS EN INTEGRACIÓN Y COMERCIO PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE



EL INSTITUTO PARA LA INTEGRACIÓN DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE INAUGURA EL **INTAL-LAB**, UN ESPACIO PARA REIMAGINAR JUNTOS EL FUTURO DE LA REGIÓN. EXPERTOS MUNDIALES, HACKATONES, RALLIES DE INNOVACIÓN, EXPERIMENTOS DE CROWDWORKING, SEMINARIOS, DESIGN THINKING Y MUCHO MÁS, COMO MODO DE FOMENTAR INTELIGENCIA COLECTIVA QUE MEJORE VIDAS EN LOS GRANDES TEMAS DE LA INTEGRACIÓN Y EL COMERCIO REGIONAL.

BID
Mejorando vidas

WWW.IADB.ORG/INTAL