

Inteligencia artificial: desafíos y oportunidades para el Perú



Inteligencia artificial: desafíos y oportunidades para el Perú

Javier Abugattás

**Presidente del Consejo Directivo del Ceplan
Centro Nacional de Planeamiento Estratégico**

Bruno Barletti

Director Ejecutivo

Jordy Vilchez Astucuri

Director Nacional de Prospectiva y Estudios Estratégicos

Equipo técnico:

Gissella María Bejarano Nicho, Jordy Vilchez Astucuri, Yiem Aurora Ataucusi Ataucusi,
Hans Stehli Torrecilla

Agradecimientos:

César Beltrán, Miguel Paredes, Óscar Núñez Pantoja, Mesías Guevara, Deivhy Torres,
José Chancafe, Alejandra Dinegro

Fotos de portada: Andina

Editado por:

Centro Nacional de Planeamiento Estratégico

Av. Canaval y Moreyra 480, piso 21

San Isidro, Lima, Perú

(51-1) 211-7800

webmaster@ceplan.gob.pe

www.ceplan.gob.pe

© Derechos reservados

Primera edición, septiembre de 2021

Tabla de contenido

Lista de figuras.....	5
Lista de tablas.....	6
Lista de siglas y acrónimos.....	7
Resumen.....	8
Introducción.....	9
1. ¿Qué es la Inteligencia Artificial?.....	13
1.1. Breve historia de la Inteligencia Artificial.....	13
1.2. Evolución de los enfoques de las definiciones de la Inteligencia Artificial.....	14
2. Principales Tecnologías.....	17
2.1. Aprendizaje automático (<i>Machine Learning</i>).....	17
2.2. Minería de datos (<i>Data Mining</i>).....	20
2.3. Visión Computacional (<i>Computer Vision</i>).....	21
2.4. Procesamiento de Lenguaje Natural (<i>Natural Language Processing</i>).....	23
2.5. Motores de búsqueda con base ontológica (<i>Ontological-based Search Engine</i>).....	24
2.6. Nuevos Horizontes.....	25
3. Aplicaciones en sectores principales.....	27
3.1. Salud.....	27
3.2. Educación.....	28
3.3. Agricultura.....	29
3.4. Pesquería y Minería.....	30
3.5. Ciudades Inteligentes y Turismo.....	31
4. Impacto Económico, Social y Ambiental.....	33
4.1. Impacto Económico.....	33
4.1.1. Aumento de la productividad.....	33
4.1.2. Automatización del empleo.....	35
4.2. Impacto Social y Ético.....	37
4.2.1. Sesgos e inequidad.....	37
4.2.2. Inteligencia Artificial usada para el bien común.....	38
4.2.3. La polarización y el escalamiento de algoritmos de Inteligencia Artificial.....	38
4.2.4. Lineamientos para el uso ético de la Inteligencia Artificial.....	38
4.3. Impacto Ambiental.....	39

5.	Estado actual e iniciativas de políticas	41
5.1.	Panorama internacional de políticas y desarrollo de la inteligencia artificial	41
5.2.	Tendencias en investigación y empresas emergentes	46
5.3.	Situación y perspectivas de la IA en el Perú	49
5.3.1.	Industria	49
5.3.2.	Academia	51
5.3.3.	Estado	52
	Conclusiones y recomendaciones	56
	Referencias	58

Lista de figuras

Figura 1. Agentes aprendiendo a jugar a las escondidas en base a un conjunto de acciones permitidas y estados determinados.....	18
Figura 2. Neurona y redes neuronales, biológicas y artificiales.....	19
Figura 3. Arquitectura de una red neuronal profunda para minería de datos.	21
Figura 4. Tareas en visión computacional: segmentación semántica, clasificación y localización, detección de objetos, segmentación de instancias.	22
Figura 5. Resultado de la clasificación de un perro Husky y respectiva explicación.....	22
Figura 6. Aplicaciones del procesamiento natural del lenguaje.	24
Figura 7. Porcentaje de crecimiento del Valor Agregado Bruto (VAB).	34
Figura 8. Impacto estimado de la IA en el PBI por regiones a nivel mundial al 2030.	35
Figura 9. Variación de la proporción del empleo según la categoría (2000 - 2015).	36
Figura 10. Probabilidades de automatización de empleos según distintos enfoques.....	36
Figura 11. Ratio de penetración de habilidades en IA (2015 - 2020).....	42
Figura 12. Lista de clasificación del Global Connectivity Index de Huawei.....	43
Figura 13. Pilares del Government Readiness Index de Oxford Insights.....	44
Figura 14. Comparación de la proyección de caída del PBI per cápita antes y durante la pandemia de la COVID-19.	44
Figura 15. Panorámica de los avances en IA en doce países seleccionados de América Latina y el Caribe (%) al 2020.	45
Figura 16. Número de nuevos ingresantes a las tres carreras relacionadas a la IA anualmente....	46
Figura 17. Número de egresados de las tres carreras relacionadas a la IA anualmente.	47
Figura 18. Número de papers sobre IA publicados anualmente por Scopus.....	47
Figura 19. Impacto del citado de autores por región en Elsevier.	48
Figura 20. Estimación de la inversión en empresas emergentes de IA.....	48
Figura 21. Número de publicaciones peruanas relacionadas a la Inteligencia Artificial.....	52
Figura 22. Desempeño del Perú en el índice de competitividad del Foro Económico Mundial.	55

Lista de tablas

Tabla 1. Predicción de reincidencia.	37
Tabla 2. Número de oficinas por tipo que reportan estar usando IA o Ciencia de datos en sus instituciones.	54

Lista de siglas y acrónimos

BID	:	Banco Interamericano de Desarrollo
Ceplan	:	Centro Nacional de Planeamiento Estratégico
Concytec	:	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
COVID-19	:	Enfermedad por coronavirus SARS-CoV-2
ENIA	:	Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial
GPU	:	Graphics Processing Units
IA	:	Inteligencia Artificial
IoT	:	Internet de las cosas
MIT	:	Instituto Tecnológico de Massachusetts
PBI	:	Producto Bruto Interno
PLN	:	Procesamiento de Lenguaje Natural

Resumen

El presente documento tiene como objetivo brindar información fundamental sobre el conjunto de tecnologías comprendidas en el ámbito de la Inteligencia Artificial; sobre sus aplicaciones en sectores de gran importancia para el Perú; sobre su potencial impacto económico, social y ambiental, y sobre las iniciativas que diversos países, incluido el Perú, están promoviendo para aprovechar el enorme potencial de esta tecnología disruptiva.

La importancia de la Inteligencia Artificial radica en su condición de ser una tecnología de propósito general, es decir que tiene un impacto transformador no solo a nivel económico, sino también a nivel social, pues afecta a los fundamentos mismos de sus estructuras. Como ejemplo, algunos otros avances tecnológicos de esta categoría son la agricultura, la escritura, la imprenta, la máquina a vapor, el motor de combustión interna, la electricidad, la computadora, el Internet y, más recientemente, la nanotecnología y la biotecnología.

En la primera parte del documento, se plantean nociones fundamentales. Se inicia con una breve historia del desarrollo de la Inteligencia Artificial y su evolución conceptual. A continuación, se describen las principales tecnologías que la conforman: el aprendizaje automático, la minería de datos, la visión computacional, el procesamiento de lenguaje natural y los motores de búsqueda de base ontológica. Además, se brinda una perspectiva de futuro de la Inteligencia Artificial.

En la siguiente sección, se brinda información sobre aplicaciones de estas tecnologías en los sectores de Salud, Educación, Agricultura, Pesquería, Minería, Ciudades Inteligentes y Turismo. A continuación, se analizan los principales impactos: en el ámbito económico, se consideran los efectos en la productividad y el empleo; en el ámbito social, se abordan las implicancias en la inequidad, el bienestar y consideraciones éticas; finalmente, se abordan también los impactos ambientales.

Dada la importancia trascendental de la Inteligencia Artificial, muchos países han adoptado iniciativas estratégicas para su desarrollo y aprovechamiento. Por ello, en la última sección del documento, se brinda un panorama internacional y la situación y perspectivas en el Perú, a nivel de su aplicación en la Industria, en la Academia y el Estado.

Al inicio de la tercera década del siglo XXI, el mundo está inmerso en la cuarta revolución industrial y una revolución digital. En esta realidad y en el futuro previsible, la Inteligencia Artificial es una tecnología central. Por ello, y en mucha mayor escala que anteriores procesos, la prosperidad y bienestar de los países, las sociedades y las personas dependerá de que tanto se puedan aprovechar los beneficios, pero también mitigar los riesgos de los avances tecnológicos. Sirva este aporte, especialmente para los planificadores del país, para la implementación de políticas, planes, programas, proyectos y acciones que permitan realizar el potencial de esta tecnología para el desarrollo del país.

Introducción

A lo largo de la historia de la humanidad, el desarrollo tecnológico ha sido impulsado principalmente por el deseo de obtener beneficios económicos y mayor bienestar. Así, se desarrollaron herramientas, instrumentos y procesos innovadores en diversos sectores productivos, como la minería, la agricultura, la pesca, y más recientemente en la industria, el comercio y los servicios.

Otro importante impulsor del cambio tecnológico ha sido el deseo de obtener una ventaja estratégica o militar. Esto ha derivado, en algunos casos, en la generación de tecnologías para el uso y beneficio del ámbito civil, como los radares, los satélites, el Internet o los drones. Sin embargo, también es posible, y se ha acrecentado, el trasvase tecnológico en sentido inverso, del ámbito civil al militar.

La tecnología no es una fuerza autónoma e independiente de la sociedad. Tampoco es resultado de un proceso científico que tiene un camino predeterminado. Por el contrario, la dirección del cambio tecnológico, qué tipo de tecnologías se desarrollan, a qué resultados se aspira, qué decisiones se toman y a quiénes se beneficia es algo que se determina social y económicamente.

Es posible alcanzar cierto nivel de crecimiento económico aprovechando las ventajas comparativas del país, como la abundancia de recursos naturales (por ejemplo, los minerales). Sin embargo, para crecer de forma sostenible, se debe generar y aplicar tecnología, innovar, aumentar la productividad y competitividad. La productividad, a su vez, incrementa la cantidad de bienes y servicios, eleva los salarios y mejora las condiciones de vida.

En este sentido, Acemoglu y Robinson (2014) plantearon una relación directa entre prosperidad e instituciones políticas y económicas inclusivas. Las instituciones económicas inclusivas que hacen respetar los derechos de propiedad crean igualdad de oportunidades y fomentan la inversión en habilidades y nuevas tecnologías. Estas conducen más al crecimiento económico que las instituciones económicas extractivas, estructuradas para extraer recursos de la mayoría para un grupo reducido y que no protegen los derechos de propiedad ni proporcionan incentivos para la actividad económica. Las instituciones económicas inclusivas, a su vez, respaldan y reciben el apoyo de las instituciones políticas inclusivas, es decir, las que reparten el poder político ampliamente, de manera pluralista, y son capaces de lograr cierto grado de centralización política para establecer la ley y el orden, la base de unos derechos de propiedad seguros y una economía de mercado inclusiva. Asimismo, las instituciones económicas extractivas están relacionadas sinérgicamente con las instituciones políticas extractivas, que concentran el poder en manos de unos pocos, quienes entonces tendrán incentivos para mantener y desarrollar instituciones económicas extractivas en beneficio propio y utilizar los recursos que obtengan para consolidar su control del poder político.

Históricamente, el progreso tecnológico ha estado marcado por hitos, invenciones e innovaciones que han generado un impacto trascendental en el devenir económico y social en una escala global. Estas tecnologías, conocidas como de propósito general, son la base de revoluciones, cambios económicos y sociales drásticos, en la historia de la humanidad. Por ejemplo, la invención de la máquina de vapor y la mecanización fueron la base de la primera revolución industrial en el siglo XVIII. De forma similar, la electricidad y la producción en masa fueron determinantes para una

segunda revolución a partir del siglo XIX. Desde mediados del siglo XX, la electrónica, las tecnologías de la información y las telecomunicaciones son consideradas como las claves de la tercera revolución industrial. Finalmente, la transición a sistemas ciberfísicos, gracias a la convergencia de las tecnologías digitales, biológicas y físicas son el fundamento de la denominada cuarta revolución industrial en el siglo XXI.

Todas estas innovaciones han sido producto de aplicar el intelecto humano para generar conocimiento científico y desarrollar tecnologías cada vez más avanzadas. Pero ¿qué pasaría si es que pudiera crearse justamente esta capacidad intelectual, esencial para el desarrollo tecnológico? Sin duda, las posibilidades de innovación podrían multiplicarse y generar cada vez más y mejores tecnologías, en un círculo de retroalimentación positiva. Este es el poder transformador de la Inteligencia Artificial.

Para muchas personas, la Inteligencia Artificial es un concepto relativamente nuevo o asociado más a la ciencia ficción. En realidad, han pasado ya más de 60 años desde que se propuso por primera vez y, durante este período, su desarrollo ha tenido varios momentos altos y bajos. No obstante, ciertos hitos recientes son especialmente reseñables y permiten brindar una idea general de su evolución tecnológica.

En 1997, el sistema informático *DeepBlue* de IBM se convirtió en la primera computadora en vencer a un campeón mundial de ajedrez reinante, el gran maestro Gary Kasparov. *DeepBlue* tenía acceso a cientos de miles de jugadas de ajedrez de nivel de gran maestro y podía evaluar hasta 200 millones de movimientos por segundo (IBM, 2011). En 2011, *Watson*, otro sistema informático, también de IBM, venció a los dos mejores concursantes humanos de *Jeopardy*, un programa concurso de preguntas y respuestas de la televisión estadounidense. *Watson* utilizó simultáneamente cientos de técnicas de análisis del lenguaje para localizar las respuestas correctas en 200 millones de páginas de contenido. *Watson* fue entrenado con técnicas de aprendizaje automático y aprendizaje por reforzamiento (TechRepublic, 2013). Go, un juego de mesa creado en China hace miles de años, es ampliamente considerado como uno de los juegos más complejos jamás inventados. En 2015, *AlphaGo*, creado por el grupo *DeepMind* de Google, utilizó el aprendizaje profundo con dos redes neuronales para vencer al campeón europeo de Go, Fan Hui. En 2016, *AlphaGo* logró vencer, cuatro partidas a uno, al dieciocho veces campeón mundial Lee Sedol. Más recientemente, *DeepMind* generalizó su IA *AlphaGo* para crear *AlphaZero*, una IA que se enseña a sí misma a jugar a otros juegos. En 2017, *AlphaZero* aprendió las reglas y se enseñó a sí mismo a jugar al ajedrez en menos de cuatro horas, mediante el aprendizaje por reforzamiento. Luego, venció al programa campeón mundial de ajedrez, *Stockfish 8*, ganando o empatando 994 de 1000 partidas. Asimismo, después de entrenarse en Go durante solo ocho horas, *AlphaZero* pudo derrotar a su predecesor *AlphaGo* en el 60% de los juegos disputados (DeepMind, 2020).

El aumento de la potencia informática, la ingente disponibilidad de datos, las mejoras en los algoritmos de aprendizaje automático y el mayor nivel de inversión son factores clave en el desarrollo de una nueva generación de Inteligencia Artificial. Aplicaciones como los automóviles autónomos, robots industriales, dispositivos médicos inteligentes, drones y asistentes inteligentes son solo el inicio de lo que está por venir. El nivel de integración de la Inteligencia Artificial con diversos sectores de la economía y la sociedad aumenta constantemente, a medida que nuevos modelos, nuevos formatos y nuevas tecnologías están creando un nuevo impulso para el desarrollo

económico y social, y la innovación empresarial es cada vez más activa. En el proceso histórico de una nueva ronda de revoluciones científicas y tecnológicas, y cambios industriales, la inteligencia artificial jugará un papel cada vez más importante (Tencent Research Institute, 2021).

En vista de lo anterior, los principales países del mundo han concedido gran importancia al desarrollo de la Inteligencia Artificial. Estados Unidos, por ejemplo, ha establecido la Iniciativa Nacional en Inteligencia Artificial, con el propósito de asegurar su liderazgo continuo en I + D de IA; liderar el mundo en el desarrollo y uso de sistemas confiables de IA en los sectores público y privado; preparar a la fuerza laboral estadounidense presente y futura para la integración de sistemas de IA en todos los sectores de la economía y la sociedad, y coordinar las actividades de IA en curso en todas las agencias federales (National Artificial Intelligence Initiative Office, 2021). China ha lanzado el Plan de Desarrollo de Inteligencia Artificial de Nueva Generación para adoptar enfoques proactivos con el fin de hacer frente a los cambios; aprovechar la oportunidad histórica del desarrollo de la IA; hacer un balance de la situación actual y planes proactivos al servicio del desarrollo socioeconómico, seguridad nacional, y para liderar el avance a pasos agigantados de la competitividad nacional (Department of International Cooperation Ministry of Science and Technology, P.R.China, 2017). Alemania definió su estrategia de Inteligencia Artificial con los propósitos de hacer del país y de Europa un centro líder en IA y así salvaguardar la competitividad alemana en el futuro; desarrollar y usar de manera responsable la IA para el buen servicio de la sociedad, e integrar la IA, en términos éticos, legales, culturales e institucionales, a la sociedad (The German Federal Government, 2018). Según el observatorio de IA de la OECD, existen más de 140 políticas, planes, estrategias o agendas nacionales, solo en el nivel del gobierno nacional (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2021).

Bloom et. al (2021) identificaron algunos hechos interesantes sobre la difusión de tecnologías disruptivas (entre ellas la Inteligencia Artificial) entre empresas y mercados laborales en los EE. UU. En primer lugar, las ubicaciones donde se desarrollan las tecnologías (que luego se trasladan a las empresas) están geográficamente muy concentradas, incluso más que las patentes en general. En segundo lugar, a medida que las tecnologías maduran y aumenta el número de nuevos trabajos relacionados con ellas, se difunden gradualmente por el territorio. Si bien los primeros empleos generados se concentran en trabajos altamente calificados, con el tiempo el nivel medio de habilidad en los puestos asociados con las tecnologías disruptivas disminuye, ampliándose los tipos de trabajos que adoptan una tecnología determinada. Al mismo tiempo, la difusión geográfica de los puestos de baja calificación es significativamente más rápida que la de los de alta calificación. Todo esto implica que las ubicaciones donde se realizaron los descubrimientos iniciales conservan sus posiciones de liderazgo entre los empleos de alta remuneración durante décadas. Además, es más probable que estos centros tecnológicos surjan en áreas geográficas con universidades y grupos de mano de obra altamente calificados. Los resultados de esta investigación evidencian la importancia de desarrollar capacidades nacionales propias en tecnologías disruptivas, como la Inteligencia Artificial, que permitan incrementar la productividad y mejorar la calidad de los empleos.

La influencia de la Inteligencia Artificial es global y revolucionaria. Si bien promete grandes beneficios para quienes puedan desarrollarla o aplicarla, también puede ser origen de problemas económicos, sociales, legales y regulatorios. Por ejemplo, la automatización puede tener efectos muy negativos en la población sin habilidades especializadas, disminuyendo el valor económico de

la mano de obra y relegando a gran parte de la población al desempleo crónico. También existe evidencia de perjuicios ocasionados por sesgos indebidos en los algoritmos aplicados en procesos de selección académica o laboral, o en temas de seguridad. Por otro lado, existen algunas preocupaciones y advertencias futuristas sobre que el desarrollo acelerado de la Inteligencia Artificial pueda descontrolarse y, en algún punto, amenazar la supervivencia humana.

Por todo lo anterior, resulta indispensable contar con una estrategia para desarrollar capacidades nacionales en Inteligencia Artificial y canalizar su potencial para el desarrollo del país y el bienestar de los peruanos y peruanas. Para ello, es indispensable conocer los fundamentos, aplicaciones y posibles impactos de este conjunto de tecnologías disruptivas. Sirva el presente documento para este propósito.

1. ¿Qué es la Inteligencia Artificial?

Para poder arribar a un concepto básico sobre la Inteligencia Artificial, primero es conveniente revisar lo propio respecto de aquello que la IA intenta imitar e incluso superar, la inteligencia humana. Para ello, es importante tener presente que esta es objeto de estudio de múltiples disciplinas, incluyendo la filosofía, la psicología, las ciencias cognitivas y la neurociencia.

Gottfredson (1997) planteó una definición, con el respaldo de profesores e investigadores en el campo de la IA, útil para los propósitos de este documento: la inteligencia es una capacidad mental muy general que, entre otras cosas, implica la capacidad de razonar, planificar, resolver problemas, pensar de manera abstracta, comprender ideas complejas, aprender rápidamente y aprender de la experiencia. La inteligencia refleja una capacidad amplia y profunda para comprender nuestro entorno, es decir captar, dar sentido a las cosas o descubrir qué hacer.

Desde el punto de vista de la Psicología, la Escala Wechsler de inteligencia para adultos IV propone una evaluación cuantitativa en función de índices de comprensión verbal, razonamiento perceptual, memoria de trabajo y velocidad de procesamiento (Wechsler, 2012). Por otro lado, Gardner (2011) introdujo el concepto de inteligencias múltiples, según el cual, la inteligencia es la integración de las inteligencias lógico-matemática, lingüística, espacial, musical, corporal-kinestésica, interpersonal, naturalística e intrapersonal; todas ellas con cierto nivel de independencia entre sí. Así mismo, la Enciclopedia de las Ciencias Cognitivas del Instituto Tecnológico de Massachusetts define la inteligencia como la capacidad para adaptarse, dar forma y elegir el entorno (Wilson & Keil, 1999). Finalmente, desde el punto de vista de la neurociencia, se puede afirmar que la inteligencia tiene su base biológica en el sistema nervioso, donde el cerebro es el órgano principal y está compuesto esencialmente por redes de células especializadas en la conducción de señales denominadas neuronas.

La Inteligencia Artificial es, en principio, un conjunto de tecnologías orientadas para poder replicar la inteligencia humana a través de máquinas y programas informáticos, tecnologías que han ido evolucionando en el tiempo. A continuación, se presenta una breve historia del desarrollo de la IA.

1.1. Breve historia de la Inteligencia Artificial

Uno de los primeros artículos científicos que abordó una temática afín a lo que posteriormente se entendería como Inteligencia Artificial fue el de McCulloch y Pitts (1943). En este documento, se interpretó la actividad neuronal en el cerebro humano como una puerta lógica para el procesamiento de información, siendo esta la base del concepto moderno de red neuronal biológica.

Fue en 1950, en su artículo *Computing Machinery and Intelligence*, cuando el matemático británico Alan Turing planteó la famosa prueba que lleva su nombre y mediante la cual se buscaba evaluar si una máquina presentaba un comportamiento inteligente (Turing, 1950). La prueba es superada si al interactuar con una máquina, un humano no es capaz de distinguir entre ella y otro humano. Aunque la validez de la prueba ha sido cuestionada posteriormente (Stanford, 2020), es posible afirmar que este fue el inicio del desarrollo de la Inteligencia Artificial.

En 1956, un grupo de jóvenes científicos que trabajan en lógica y matemática se reunieron en el campus de la Universidad de Dartmouth, en Estados Unidos, para discutir la posibilidad de producir un programa de computadora que pudiera pensar (Lee, 2020). La denominada “Conferencia de Dartmouth” es reconocida como el evento germinal de la IA y partía de la conjetura de que todo aspecto del aprendizaje o cualquier otra característica de la inteligencia puede, en principio, ser tan precisamente descrita que puede crearse una máquina capaz de simularla. Entre los participantes, destaca John McCarthy, matemático y científico cognitivo, en ese entonces de la Universidad de Dartmouth y quien posteriormente fue el fundador y primer director del laboratorio de IA del MIT y luego de la Universidad de Stanford. Fue el profesor McCarthy quien acuñó el término Inteligencia Artificial. Otros miembros fundadores fueron el científico cognitivo Marvin Minsky, de la Universidad de Harvard, posteriormente director del laboratorio de IA del MIT; el científico de la Computación y psicólogo cognitivo Allen Newell y el economista, politólogo y psicólogo cognitivo Herbert Simon, de la Universidad de Carnegie Mellon (Lee, 2020).

Como planteó Lee (2020), el desarrollo posterior de la IA pasó por altos y bajos. En un primer auge, entre 1956 y 1974, se dieron algunos avances importantes, como la creación del perceptrón o primera red neuronal. Desafortunadamente, algunas de estas iniciativas no cumplieron las expectativas por lo que el financiamiento a investigaciones de este tipo se redujo (Flasiński, 2016). En consecuencia, siguió una etapa de desencanto de esta tecnología entre 1974 y 1980. Luego, se dio un nuevo auge, entre 1980 y 1987, impulsado por desarrollo de robots en el Japón y la introducción conceptual de la red de Hopfield (una red neuronal recurrente con capacidad de almacenamiento en memoria y recuperación) y el desarrollo de los denominados sistemas expertos que buscaban emular el conocimiento de expertos a través de reglas y probabilidades. Sin embargo, el interés por la IA volvió a decaer entre 1987 y 1993 (Lee, 2020). A partir de 1994 y hasta la fecha, la IA se encuentra en su tercer apogeo y es cuando se han suscitado hitos de gran repercusión mundial, como los descritos en la introducción de este documento.

La IA vive este nuevo auge gracias a tres factores importantes: i) la gran producción y disponibilidad de datos – *big data*, ii) el incremento de la capacidad computacional – gracias al uso de *Graphics Processing Units* (GPU), *Tensor Processing Units* (TPU) y el *cloud computing*, y iii) el desarrollo de algoritmos más complejos y precisos, gracias a técnicas de aprendizaje profundo (basados en modelos de redes neuronales que pueden aprender una mayor cantidad de parámetros a través de transformaciones no lineales¹) y que son posibles de entrenar gracias a hitos como la construcción de bases de datos etiquetadas² (Amodei, y otros, 2018) (Janakiram MSV, 2018) (Deng, y otros, 2009).

1.2. Evolución de los enfoques de las definiciones de la Inteligencia Artificial

Así como el concepto de inteligencia humana ha ido adquiriendo nuevos enfoques, según nuevos descubrimientos y el desarrollo de diversos campos del conocimiento, el concepto de inteligencia artificial se ha ido transformado desde sus primeras concepciones. Hasta el día de hoy, no existe

¹La transformación no lineal implica una correspondencia entre un valor de entrada y de salida que no es proporcional, como en el caso de una transformación lineal.

²Una base de datos etiquetada se refiere a un conjunto de muestras o instancias que han sido previamente marcadas para indicar una correspondencia en categoría (variable discreta) o valor (variable continua).

una definición exacta de la IA, pero se intentará, en este documento, mostrar alguna de las formas en las que se le intenta describir.

Como se menciona en la sección 1.1, la IA se empieza a definir en el ámbito de las ciencias matemáticas y computacionales. Así, la Prueba de Turing implica un razonamiento o al menos una simulación del lenguaje natural, base de la comunicación en los humanos. Por otro lado, muchas de las investigaciones en IA están relacionadas a tratar de entender cómo los humanos pensamos y aprendemos. Se puede decir entonces que la lingüística y las ciencias cognitivas son también áreas relacionadas con el desarrollo de la IA.

Un primer concepto básico de la IA es el que brinda la Asociación para el Avance de la Inteligencia Artificial (AAAI, 2021): la comprensión científica de los mecanismos que subyacen al pensamiento y el comportamiento inteligente y su concretización en las máquinas.

Russell y Norvig (2009) identificaron dos dimensiones para definir la Inteligencia Artificial. La primera está relacionada al concepto mismo de inteligencia, que puede plantearse en función de su fidelidad con el desempeño humano o, de manera más abstracta, asociado al concepto de racionalidad. La segunda dimensión tiene que ver con el objeto de estudio, si se enfoca en los procesos de pensamiento y razonamiento, o más bien en el comportamiento inteligente, es decir, una caracterización externa. Combinando estas dos dimensiones, se plantean cuatro posibles combinaciones: sistemas que piensan como humano, sistemas que piensan racionalmente, sistemas que actúan como humanos y sistemas que actúan racionalmente. En el primer enfoque, se imita el proceso cognitivo de aprender y tomar decisiones. El segundo enfoque incluye a los sistemas cuya base se encuentra en la lógica formal y la operacionalización del pensamiento. En el tercer enfoque, los sistemas imitan el comportamiento y los sentidos humanos como la visión, la escucha y el procesamiento del lenguaje. En este tercer enfoque se puede situar la Prueba de Turing. Por último, el cuarto enfoque atañe a los sistemas que actúan racionalmente, haciendo uso o no de la inferencia, para lograr un objetivo en base a un contexto o restricciones.

Estos cuatro enfoques, correspondientes a su vez con el desempeño humano y la racionalidad, podrían estar muy relacionados a la diferenciación entre Inteligencia Artificial e Inteligencia Computacional, respectivamente. Existe mucho debate entre los expertos sobre si alguna forma parte de la otra, sobre la falta de fundamentos teóricos de la Inteligencia Computacional, aunque con buenos resultados en la práctica. Algunos métodos de la Inteligencia Computacional son la lógica difusa y los algoritmos bio-inspirados.

Algunas definiciones más modernas hablan de tres tipos de IA: estrecha (o débil), general (o fuerte) y súper. La IA estrecha es la tecnología actualmente disponible y que se enfoca en realizar una tarea específica, como responder preguntas basadas en las entradas de un usuario, reconocer objetos para guiar la conducción de los carros autónomos, reconocer la voz e identificar instrucciones. La IA general, también conocida como Inteligencia Artificial General o AGI, por sus siglas en inglés, es un concepto teórico que se refiere a sistemas capaces de igualar a la inteligencia humana, razonar en base a estrategias, aprender, resolver problemas complejos, comunicarse con lenguaje natural, planificar el futuro e integrar todas estas capacidades para el logro de objetivos (Lee, 2020). La IA general podría integrar las tareas individuales para las que la IA estrecha da buenos resultados (IBM, 2020). Por ejemplo, sería capaz de interpretar no solamente el panorama de lo que ve un carro autónomo, sino también entender el contexto de acuerdo con los sonidos

que escucha o los mensajes al conducir. Finalmente, la súper IA se refiere a la inteligencia de un agente hipotético que sobrepase las capacidades de las mentes humanas más brillantes y dotadas en todos los dominios del conocimiento, además de desarrollar una conciencia propia. Sin embargo, alcanzar este nivel supondría arribar previamente a un consenso, que aún no se logra, sobre conceptos tan complejos para el propio ser humano como son la conciencia, la percepción, la felicidad, el dolor, entre otros.

Es interesante conocer lo que piensan tres de los ganadores del premio Turing en el 2018 (un premio equivalente al premio Nobel, pero en el área de computación) sobre el futuro de la IA. Yann LeCun opina que no existe la IA general y que, más bien, se puede apuntar a tener diferentes niveles de acuerdo con entes de referencia. En otras palabras, se puede intentar replicar una inteligencia humana, una inteligencia de aves, una inteligencia de mamíferos, etc., de acuerdo con las diferentes características de la inteligencia de estas especies (Wiggers K. , 2020). Por otro lado, Yoshua Bengio se enfoca en los dos niveles de los procesos de decisión propuestos por Kahneman (2011), conocidos también como sistema 1 y sistema 2 (Lex Clips, 2019). El sistema 1 es rápido, intuitivo y automático. Este es el nivel en el que actualmente funciona el aprendizaje profundo. En cambio, el sistema 2 es lento y requiere de mayor análisis (Shapiro, 2019), porque requiere generalizar la experiencia ganada anteriormente hacia nuevos contextos. Un ejemplo bastante usado para mostrar la diferencia de estos sistemas es el de manejar en una ciudad o barrio conocido (en un estado prácticamente automático) y manejar en una nueva ciudad (donde se necesita una mayor concentración para adaptarse, a pesar de saber manejar). Por su parte, Geoffrey Hinton piensa que el aprendizaje profundo será capaz de hacer cualquier cosa, siempre y cuando surjan descubrimientos importantes como el GPT-3, la última versión del modelo de lenguaje creado por OpenAI (Hao K. , 2020).

Por otro lado, desde las ciencias cognitivas y la neurociencia, Gary Marcus plantea que se necesita mucho más que el aprendizaje profundo para imitar la inteligencia humana. Desde una perspectiva transhumanista, el futurólogo Ray Kurzweil introdujo la noción de singularidad referida a la existencia de una súper inteligencia basada en máquinas que sea superior a la inteligencia humana (West & Allen, 2020). Por último, se van abriendo paso también los conceptos de inteligencia colectiva y ciencia social computacional, para analizar, en diferentes niveles de especies y agentes, la colaboración y toma de decisiones consensuadas (Suran, Wishwajeet, & Dirk, 2020).

2. Principales Tecnologías

Para resolver algunas tareas como las de imitar la visión y el lenguaje humano, los sistemas de IA empezaron utilizando métodos estadísticos, modelos y reglas, lo que se conoce también como la escuela del simbolismo. Posteriormente, la recolección de una mayor cantidad de datos dio origen a los métodos conocidos como aprendizaje automático o *machine learning*. Dentro de estos, los modelos de aprendizaje profundo o *deep learning*, de la escuela conexionista (por la emulación de la conexión en las redes neuronales), son los que vienen alcanzando cada vez mejores resultados. En esta sección se explicará de manera muy general en qué consisten algunas de las principales tecnologías comprendidas en el ámbito de la Inteligencia Artificial (Lee, 2020), buscando conciliar los términos usados en la investigación y en la industria.

2.1. Aprendizaje automático (*Machine Learning*)

El aprendizaje automático se refiere al conjunto de modelos de IA que aprenden de manera automática a través de la experiencia. Más formalmente, Tom Mitchell (1997) lo describió como “un programa computacional que aprende a realizar la tarea T y obtiene mejores resultados en la medida P a través de la experiencia E”. En otras palabras, al hacer uso de datos o retroalimentación en línea sobre algunas decisiones tomadas (Experiencia), un programa reconoce una voz, clasifica una imagen o un cliente (T), y la forma de medir qué tan bien realiza esa tarea (P) mejora con esa experiencia.

Entre los métodos más utilizados del *machine learning* se tienen los árboles de decisión, las máquinas de vectores de soporte o *support vector machine*, los modelos gráficos probabilísticos, y las redes neuronales simples o las más complejas como las usadas en *deep learning*. En general, se pueden agrupar los modelos de *machine learning* en cuatro grupos: aprendizaje supervisado, aprendizaje no-supervisado, aprendizaje semi-supervisado y aprendizaje por refuerzo.

Los modelos de aprendizaje supervisado son el tipo básico de aprendizaje automático. En estos modelos se aprende por la correspondencia entre datos, por ejemplo, entre una o más variables independientes y una o más variables dependientes. De esta manera, a la llegada de una nueva instancia con sólo los datos de entrada (variables independientes), se podrá predecir un valor correspondiente de salida. Dependiendo del tipo de variable dependiente, discreta (de clases) o continua, estos modelos pueden ser de clasificación o de regresión, respectivamente.

El aprendizaje no-supervisado no tiene, en el conjunto de datos, una respuesta correcta (como las etiquetas de clases) contra la que comparar el aprendizaje, por lo que resulta sin supervisión. Algunas de las tareas más conocidas abordadas con este tipo de aprendizaje son las de análisis de grupo y de reducción de dimensionalidad. Los análisis de grupo o *clustering* agrupan las instancias parecidas de acuerdo con sus características y un número deseado de grupos. La reducción de dimensionalidad identifica (de un conjunto de datos) variables o la combinación de variables de entrada más importantes para así permitir, por ejemplo, aliviar la capacidad computacional necesaria para desarrollar otras tareas.

Por otro lado, el aprendizaje semi-supervisado combina los dos primeros y se acerca un poco más a la idea de cómo aprenden los humanos, que es la de generalización de una regla (basadas en pocos datos etiquetados), hacia otras instancias nuevas (sin etiqueta).

El aprendizaje por reforzamiento busca optimizar una ganancia acumulada de acuerdo con las acciones tomadas en determinado estado para llegar a un estado final o meta. Expresado de otra forma, el aprendizaje refuerza el comportamiento a través de estímulos positivos (recompensas), si es que se desempeña de forma deseable, o estímulos negativos (castigos), si es que el desempeño es no deseable.

Como demostración de las capacidades del aprendizaje automático por reforzamiento, a las ya mencionadas victorias de *AlphaGo* y *AlphaZero* sobre los mejores jugadores humanos de Go, se suman la victoria de *OpenAI V* sobre el equipo campeón mundial de *Dota 2* (un videojuego competitivo de equipos de cinco contra cinco enormemente complejo) (Statt, 2019) y de *AlphaStar* sobre el 99,8 % de jugadores humanos de *Starcraft* (otro videojuego de estrategia competitivo de gran complejidad) (Statt, 2019). Otro ejemplo, se puede apreciar en la Figura 1, donde se observa cómo interactúan agentes que buscan y agentes que se esconden. Los agentes que buscan aprenden incluso a subirse a los bloques al no encontrar a sus blancos. En cambio, los agentes que se esconden aprenden a realizar la acción de colocar muros alrededor de ellos para esconderse. En otras palabras, estos agentes van descubriendo algunas acciones o estrategias que los ayuda a cumplir sus objetivos (encontrar o esconderse).

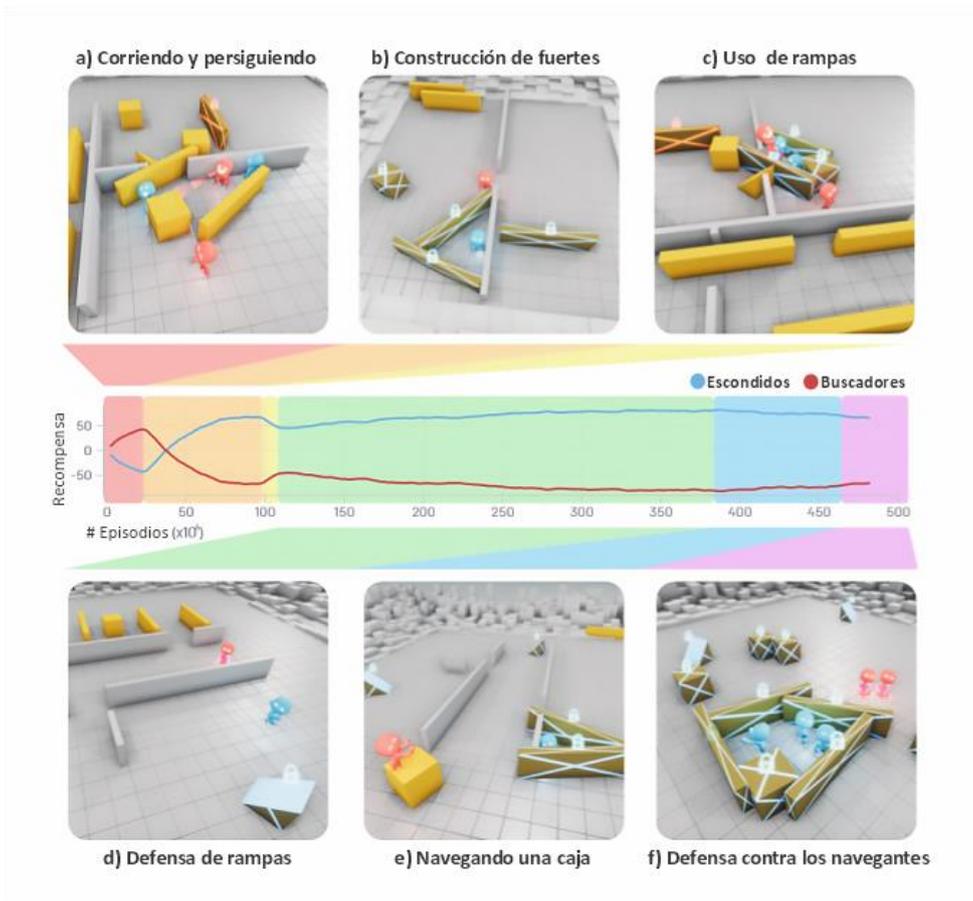


Figura 1. Agentes aprendiendo a jugar a las escondidas en base a un conjunto de acciones permitidas y estados determinados.

Recuperado de “OpenAI teaches AI teamwork by playing hide-and-seek” de The Machine. (Wiggers K. , 2019).

Algunas otras aplicaciones que se van abriendo pase con este tipo de modelo de aprendizaje automático se dan en el campo del control de operaciones. Por ejemplo, en el ahorro de energía eléctrica de acuerdo con los estados alcanzados en los centros de datos de Google (Evans & Gao, 2016), en robótica, vehículos autónomos y en combinación con otras ramas de la IA, como el procesamiento de lenguaje natural y la visión computacional (Mwiti, 2021).

El aprendizaje automático es posible gracias al uso de redes neuronales artificiales (ANN, por sus siglas en inglés), las cuales son una modelación de las redes neuronales biológicas. Como se muestra en la Figura 2, la unidad básica de las redes neuronales, la neurona, es modelada considerando que existen múltiples señales de entrada (cada una con su correspondiente ponderación), una función de activación que toma estas señales de entrada y las combina, y las señales de salida, como resultado. La capacidad de aprendizaje de las neuronas artificiales se logra en la medida que las ponderaciones se ajustan de acuerdo con un algoritmo de aprendizaje predefinido (Lee, 2020). En las redes neuronales artificiales, las neuronas se disponen en un arreglo por capas, donde las capas intermedias se conocen como capas ocultas.

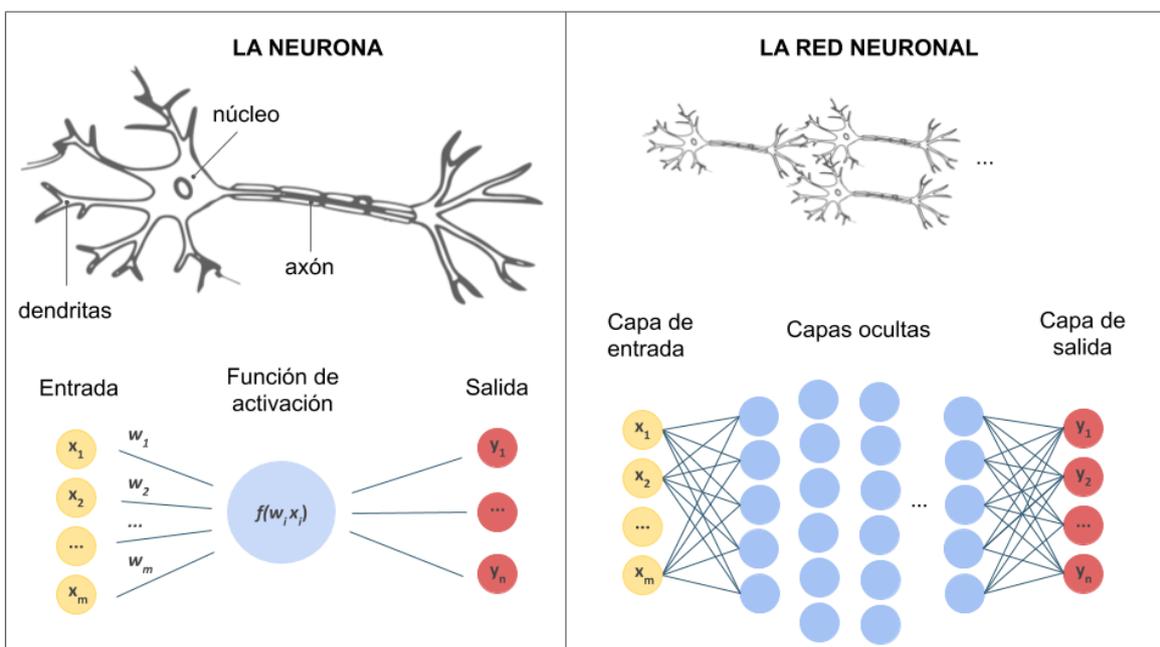


Figura 2. Neurona y redes neuronales, biológicas y artificiales.
 Recuperado de “¿Qué es una red neuronal artificial?” (Barragán, 2020)

El aprendizaje profundo o *deep learning* se basa en modelos cada vez más complejos de redes neuronales artificiales y ha demostrado mucho mejores resultados que otros métodos de aprendizaje automático, sobre todo cuando hay suficientes datos y poder computacional. En la actualidad, la disponibilidad de macrodatos (*big data*) y potentes unidades de procesamiento gráfico (GPU, por sus siglas en inglés) han permitido implementar algoritmos mejorados de aprendizaje profundo con múltiples aplicaciones (Aggarwal, 2018).

2.2. Minería de datos (*Data Mining*)

La minería de datos es el proceso de descubrimiento automático de información útil en grandes repositorios de datos. Para ello, utiliza técnicas de múltiples áreas del conocimiento, como el análisis de datos, la estadística, la inteligencia artificial, el reconocimiento de patrones, las bases de datos y la computación distribuida y paralela (Pang-Ning, Steinbach, Karpatane, & Kumar, 2019).

La minería de datos es parte integral de un proceso más amplio, conocido como Descubrimiento de conocimiento en bases de datos (KDD, por sus siglas en inglés), el cual inicia con el ingreso de datos, continúa con su preprocesamiento, la minería de datos en sí, el posprocesamiento y concluye con la obtención de información útil. En el preprocesamiento, se transforma la data cruda en un formato adecuado para el análisis subsecuente; esto incluye fusionar data de múltiples fuentes, remover el ruido (limpiar los datos), transformar los datos, discretizarlos, normalizarlos, reducirlos y seleccionar los datos y características relevantes. Por su parte, en el posprocesamiento se asegura que solo los resultados válidos y útiles se incorporen en los sistemas de toma de decisiones; ello implica el filtrado de resultados espurios, la visualización de resultados y la interpretación de patrones (Pang-Ning, Steinbach, Karpatane, & Kumar, 2019) (Lee, 2020).

Las principales categorías de métodos de la minería de datos son la clasificación, el agrupamiento (*clustering*), la regresión y la asociación. En la clasificación, los datos se unen en grupos definidos, siendo uno de los métodos más usados el árbol de decisiones. En el agrupamiento, se elimina los grupos definidos y se permite que los datos se clasifiquen entre sí con elementos similares; para ello, el método de K-medias es el más comúnmente utilizado. La regresión se enfoca en la función de la información, incluyendo métodos lineales y no lineales. Finalmente, a través de la asociación se intenta encontrar relaciones entre diversas fuentes de datos; un método frecuentemente utilizado es el de reglas de asociación (Lee, 2020).

La minería de datos puede aprovechar las capacidades del aprendizaje automático. La lógica subyacente es que una mayor cantidad de capas ocultas puede aprender conocimientos más complejos y aceptar datos más masivos. Como ejemplo, en la Figura 3, se muestra la arquitectura básica de una red neuronal que permite realizar predicciones diarias sobre el mercado financiero mundial. El modelo tiene como datos de entrada series de tiempo de indicadores financieros a nivel global, los cuales alimentan a la red neuronal de ocho capas ocultas para proveer como salida pronósticos de los precios al día siguiente (Lee, 2020).

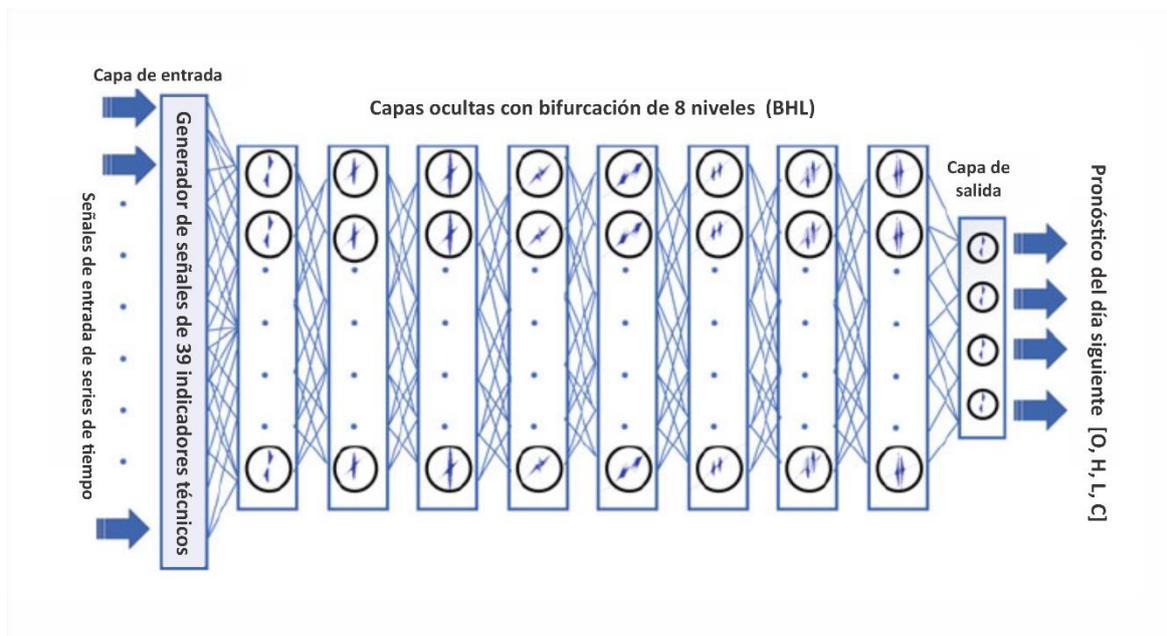


Figura 3. Arquitectura de una red neuronal profunda para minería de datos. Recuperado de “Chaotic Neural Networks in Quantum Finance” (Lee, 2020)

2.3. Visión Computacional (Computer Vision)

El campo de la visión computacional intenta entender las imágenes digitales como, por ejemplo, fotos, exámenes médicos y videos. El entendimiento de una imagen pasa por subprocesos como la adquisición, el procesamiento y el análisis de este tipo de entradas.

Inicialmente, este campo buscaba, por ejemplo, reconocer rostros caracterizando manualmente muchas variables como la distancia entre ojos, labios, nariz, orejas. Ahora, con métodos de aprendizaje profundo, se aprenden esas y otras características no tan evidentes al ojo humano.

Con el avance de este campo, se puede observar también la importancia de la desambiguación y la interpretación. Por ejemplo, al momento de adquirir una imagen, como lo hacen los humanos, se podría querer enfocar cierta parte de la imagen. De este modo, el análisis y la interpretación de lo que se ve puede variar.

Entender una imagen implica concentrarse en algunas de estas tareas específicas: segmentación semántica, localización de objetos, reconocimiento de objetos, segmentación de estos objetos, personas o animales, reconstrucción de una imagen o la clasificación de las acciones realizadas en ella. La Figura 4 muestra algunas de estas tareas.

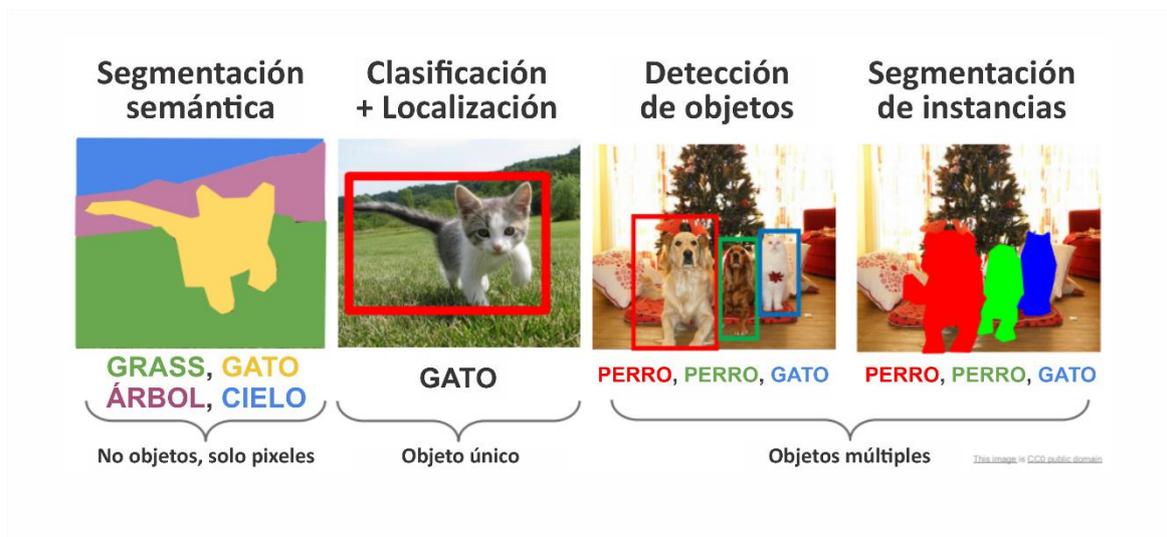


Figura 4. Tareas en visión computacional: segmentación semántica, clasificación y localización, detección de objetos, segmentación de instancias.

Recuperado de: Curso CS 231, Lecture11: Detection and Segmentation de Stanford University (Fei, Johnson, & Yeung, 2018).

La interpretabilidad y explicabilidad son otros campos que complementan otras técnicas de la Inteligencia Artificial para sustentar y explicar los resultados de algunos sistemas. Por ejemplo, Ribeiro, Singh y Guestrin (2016) mostraron cómo un modelo de IA clasificaba erróneamente un perro Husky como un lobo. Como se ve en la Figura 5, las razones (explicación) de esta clasificación se basaron en la presencia de nieve en la imagen, lo cual es una suposición incorrecta derivada de las imágenes que sirvieron para entrenar el modelo.



Figura 5. Resultado de la clasificación de un perro Husky y respectiva explicación.

Recuperado de "Why Should I Trust You?": Explaining the Predictions of Any Classifier de Association for Computing Machinery (Ribeiro, Singh, & Guestrin, 2016).

Además de la segmentación y el reconocimiento de objetos, la visión computacional se extiende a la realidad en tres dimensiones. En este sentido, comprende tecnologías como el modelado tridimensional, la realidad virtual y la realidad aumentada. Por ejemplo, un sistema de visión computacional para conducción automatizada no solo debe ver los vehículos (además de otros objetos) a su alrededor, sino que debe entender como estos se mueven, predecir su ubicación futura y brindar instrucciones para poder navegar evitando colisiones.

2.4. Procesamiento de Lenguaje Natural (*Natural Language Processing*)

El procesamiento de lenguaje natural (NLP por sus siglas en inglés) es el procesamiento automático del lenguaje humano. Es, tal vez, el más asociado con una IA general, ya que es incluso utilizado en la primera propuesta de evaluación de un sistema inteligente (la prueba de Turing). El NLP es un ámbito multidisciplinario que involucra principalmente a la lingüística y las ciencias cognitivas (las cuales estudian más a fondo el lenguaje y la forma en que se elaboran mensajes y se comunican los humanos), pero también a la lógica, matemática, estadística y psicología.

El NLP tiene tres componentes principales: la comprensión del lenguaje natural (que aborda todas las funciones básicas y operaciones para la comprensión en los niveles sintáctico, semántico y pragmático), la adquisición de conocimiento e inferencia (que se enfoca en elaborar la respuesta apropiada) y la generación de lenguaje natural (que involucra la síntesis de lenguaje, en forma escrita u oral).

El NLP ha evolucionado en el tiempo. Inicialmente se trabajaba con reglas explícitamente diseñadas por expertos para poder traducir o reconocer ciertas palabras. Luego, con la llegada del aprendizaje automático, se toman en cuenta propiedades estadísticas de palabras, oraciones y documentos para poder entender textos o agrupar documentos. Actualmente, los modelos que han mostrado mejores resultados han sido los trabajados con aprendizaje profundo, lo cual se conoce también como *neural NLP*.

Como se muestra en la Figura 6, algunas de las aplicaciones más comunes del NLP son las relacionadas a la traducción automática (p. ej. Google Translator), la recuperación de información (p. ej. búsquedas avanzadas en repositorios), el análisis de sentimiento (p. ej. el análisis de reacciones y opiniones sobre un producto o tema en redes sociales), la extracción de información (p. ej. para descubrir temas, patrones y relaciones en un conjunto de documentos), los asistentes virtuales y los *bots* conversacionales (*chatbots*) (p. ej. sistemas que entienden la voz o consultas escritas, las procesan y luego comunican una respuesta oral o escrita a través de la generación de texto o voz), la generación y el resumen de textos, los sistemas de reconocimiento de caracteres, entre otros. Además, los avances más recientes combinan diferentes tipos de datos, como las imágenes y los textos, para generar descripciones de imágenes o identificación de actividades y gestos.



Figura 6. Aplicaciones del procesamiento natural del lenguaje.
Adaptado de “Applications of NLP” (Lee, 2020)

2.5. Motores de búsqueda con base ontológica (*Ontological-based Search Engine*)

Para las Ciencias de la Computación, la ontología aborda las categorías, tipos, propiedades y relaciones entre entidades que permiten describir un ámbito de la realidad. La ontología define un conjunto de primitivas de representación (como clases, atributos y relaciones entre clases) para modelar un área o dominio del conocimiento (Lee, 2020).

Por otro lado, los motores de búsqueda son sistemas computacionales que permiten realizar búsquedas en Internet y obtener resultados como páginas web, imágenes, videos, etc. Debido a la gran cantidad de resultados, el mantenimiento y uso de estas búsquedas se realiza en tres grandes pasos: rastreado o *web scrapping*, indexación y búsqueda.

De manera general, se puede decir que, en el *web scrapping*, los motores de búsqueda recorren una gran cantidad de fuentes o páginas web y a la vez revisan su contenido total o parcialmente. Después, en la indexación, se realiza una correspondencia entre conceptos o entidades con una lista de páginas web que los contengan. Finalmente, la búsqueda final o consulta obtiene un subconjunto de esta gran lista de páginas web, de acuerdo con su pertinencia, en base a una ponderación que considera búsquedas anteriores y otras medidas que los buscadores utilizan para evaluar la utilidad de estos resultados.

Los motores de búsqueda con base ontológica (OSE, por sus siglas en inglés) parten de una modelación base de entidades y relaciones, la cual se actualiza mediante aprendizaje vía la información e interacción con los usuarios. De esta forma, generan modelos ontológicos que permiten consultas y resultados no solo al nivel de páginas enlazadas con las entidades o palabras de una consulta en un motor de búsqueda estándar, sino que también pueden incluir páginas de

entidades relacionadas a las de las consultas. Las relaciones entre estas entidades se pueden representar a través de ontologías y grafos³ (Lee, 2020).

Una de las aplicaciones más importantes de los OSE es posibilitar la web semántica. La web actual está basada principalmente en el lenguaje HTML, que fue diseñado para el intercambio y visualización de información. La visión de la web semántica es que se pueda enriquecer el contenido con datos semánticos. De esta manera, sería posible hacer una navegación más efectiva, en la medida que inteligencia artificial avanzada pueda ayudar en el procesamiento de información en tareas como el filtrado, búsqueda y recomendación.

2.6. Nuevos Horizontes

La Inteligencia Artificial es una de las tecnologías más vibrantes y que más expectativas genera en la actualidad. Por ejemplo, la revista MIT Technology Review consideró, en 2021, al modelo computacional de lenguaje natural GPT-3 y a la IA con múltiples sentidos como parte de su listado anual de diez tecnologías innovadoras (MIT Technology Review, 2021). GPT-3 utiliza el aprendizaje profundo para poder producir textos que simulan la redacción humana. Este modelo, desarrollado por la empresa de investigación OpenAI (2021), utiliza una arquitectura de aprendizaje profundo conocida como *Transformer*, que introduce mecanismos de atención y paralelización en el entrenamiento de textos o secuencias de palabras. Las primeras aplicaciones NLP del modelo son impresionantes. Por ejemplo, no solo son capaces de generar textos en respuesta a un texto base (en ese sentido, se podría establecer una “conversación” en lenguaje natural con la IA), sino inclusive código de programación completamente funcional y a partir de solo pocas instrucciones iniciales dadas en lenguaje humano a nivel de usuario.

Estas innovaciones generan grandes expectativas sobre el futuro de la IA. Las inversiones, públicas y privadas, se incrementan; la potencia computacional y los datos disponibles siguen creciendo; los centros de investigación generan más *papers* sobre el tema; las aplicaciones de la IA, incluso en productos de consumo masivo, se siguen multiplicando; las noticias sobre nuevos desarrollos e hitos de la tecnología inundan los medios, no solo los especializados sino también los generalistas. Surgen, entonces, interrogantes sobre cuándo será posible implementar una IA general, es decir, una IA que tenga una inteligencia de nivel comparable a la habilidad y flexibilidad de la inteligencia humana, o una súper IA, que supere largamente la inteligencia humana. Algunos futuristas pronostican que la singularidad (cuando exista una súper IA) está tan cerca como 2030 (Rosenberg, 2017), 2040 (Winston, 2018) o 2045 (Kurzweil, 2005). A su vez, figuras eminentes en el campo de la ciencia (como Stephen Hawking) y la tecnología (como Elon Musk y Bill Gates) han alertado sobre los riesgos de una súper IA (Santos, 2018) (Shead, 2020) (Rawlinson, 2015).

Sin embargo, también es importante tener conciencia de las limitaciones de la tecnología. Los sistemas de aprendizaje automático pueden ser engañados o confundidos por situaciones que no han visto antes. Un automóvil autónomo queda desconcertado por un escenario que un conductor

³ Los grafos son estructuras de datos que almacenan información de dos tipos: nodos (que representan las entidades) y aristas (que representan relaciones).

humano podría manejar fácilmente. Un sistema de inteligencia artificial entrenado laboriosamente para llevar a cabo una tarea (identificar gatos, por ejemplo) tiene que ser enseñado de nuevo a hacer otra cosa (identificar perros). En el proceso, es probable que se pierda parte de la experiencia que se tenía en la tarea original. Los informáticos llaman a este problema "olvido catastrófico". Estas deficiencias tienen algo en común: existen porque los sistemas de Inteligencia Artificial no comprenden la causalidad. Ven que algunos eventos están asociados con otros eventos, pero no determinan qué cosas hacen que sucedan otras cosas directamente. Entender relaciones de causa y efecto es un aspecto fundamental de lo que se denomina sentido común, un elemento básico de la inteligencia humana. Este es uno de los frentes importantes de la investigación actual, la Inteligencia Artificial Causal (Bergstein, 2020).

El estado actual del aprendizaje profundo permite que un algoritmo pueda utilizarse para aprender más de una tarea. Por ejemplo, AlphaZero puede aprender a jugar ajedrez, Go, shogi (un juego de mesa japonés) (DeepMind, 2020) o Agent57 puede superar a los humanos en 57 juegos de Atari (una consola de videojuegos) (DeepMind, 2020), pero se puede aprender una sola cosa a la vez, porque cada nuevo aprendizaje implica borrar la memoria y empezar de cero. Evidentemente, esto no es el caso de una inteligencia humana. Poder avanzar de la IA de un solo algoritmo a una IA de múltiples aprendizajes es otro de los desafíos actuales (Davis, 2020).

Por ello, algunos investigadores cuestionan las declaraciones demasiado optimistas. Después de todo, ya ha pasado en este campo que anteriormente se generaron grandes expectativas que no se pudieron cumplir, siendo todo ello bastante contraproducente, puesto que derivó en periodos de estancamiento y desilusión. Así, una encuesta realizada en 2019 a 32 doctores investigadores de IA tuvo como resultado que 24 % consideró que la singularidad se alcanzaría antes de 2060, pero también 21 % que era posible que jamás se lograra alcanzar (Azulay, 2019). Todavía más complejo sería dotar a una IA de un nivel de conciencia de sí misma. Los científicos de diversas disciplinas ni siquiera tienen un concepto claro de lo que esto significa en un ser humano y mucho menos lo que hipotéticamente podría ser en una máquina.

Otras ramas que se van investigando cada vez más son las intersecciones de lo computacional y otras áreas. Entre ellas, tenemos las que se enfocan en conocer mejor las diferentes formas del pensamiento humano, como la neurociencia cognitiva y el aprendizaje auto supervisado. La hipótesis que se comprueba es que muchas veces al humano le basta sólo una experiencia para aprender de ella y generalizar, sin la necesidad de una inmensa cantidad de datos.

Asimismo, las ciencias sociales computacionales intentan entender el comportamiento colectivo a través de las interacciones digitales como las mostradas en las redes sociales. Este enfoque complementa los hallazgos que el análisis de directo puede ofrecer, o brindan explicaciones a los hallazgos que no tienen mucho sentido desde una interpretación estricta de los datos.

Por el lado de la industria, esta hace lo propio al requerir cada vez más profesionales especializados en las diferentes etapas de la construcción de sistemas computacionales, de plataformas para la toma de decisiones y/o de servicios con un alto componente tecnológico. Así, se han ido definiendo roles o perfiles como *data engineer*, *machine learning engineer*, *data modeler*, *research scientist*, *data scientist*, etc. Además, para poder viabilizar el escalamiento de servicios de Inteligencia Artificial, también se estima que muchas empresas migrarán sus operaciones a la nube (plataformas *cloud*).

3. Aplicaciones en sectores principales

Desde los primeros usos comerciales de la IA en la década de 1980, la investigación científica ha estado detrás de muchos avances como la traducción automática y el reconocimiento de voz. Sin embargo, a veces se tiende a exagerar su capacidad o a usar el término para describir cualquier tipo de automatización. Un ejemplo claro de qué no es IA son los cajeros automáticos cuyos sistemas informáticos realizan un conjunto de instrucciones al recibir diferentes entradas. Sin embargo, si un banco toma los datos de las transacciones y otras variables de uso y, a través de técnicas de minería de datos, genera información que le permita tomar decisiones sobre dónde ubicar los cajeros, dónde y cómo reponer dinero y así optimizar su uso, es posible que sí se esté utilizando métodos de IA para estas tareas.

En esta sección se muestran aplicaciones mundiales y nacionales en los sectores de servicio al ciudadano, así como en los sectores productivos más importantes para la economía del país.

3.1. Salud

Desde el 2015, en plataformas como el Foro Económico Mundial (WEF) ya se comentaba ampliamente sobre el potencial uso de la IA en el sector Salud (Borukhovich, 2015). Algunos de los casos de estudio fueron: la predicción de la resistencia a medicamentos en base a la interacción genética; el monitoreo visual para asegurar el cumplimiento de la medicación; el desarrollo de nuevos fármacos en base al análisis de una gran cantidad de estudios clínicos y su similitud; la extracción de patrones desde dispositivos portátiles o *wearables*.

Si bien los avances en el diagnóstico automático van alcanzando resultados sorprendentes, estos apuntan a complementar las decisiones de los especialistas. La IA puede mejorar el pre-diagnóstico; sin embargo, la decisión o resultado final debe ser revisado aún por los expertos en el dominio. Por ejemplo, en el 2019, el grupo de investigación de aprendizaje automático de Stanford University logró construir un modelo de IA para el reconocimiento de arritmias con el nivel de precisión de un cardiólogo (Hannun, y otros, 2019), (Kubota, 2019). Por otro lado, las investigaciones de Google (IA, 2016) mostraron un gran avance en el reconocimiento de retinopatía diabética, una consecuencia de la diabetes que puede incluso generar ceguera en los pacientes que la sufren (Seenig potential, 2016), (IA, 2016). Sin embargo, implementar este tipo de sistemas en producción puede tener más de una dificultad (Heaven W. , 2020). Por ejemplo, algunas imágenes de baja calidad son descartadas en el entrenamiento, pero, en el día a día, es necesario reemplazarlas con unas de buena calidad. En otras palabras, incluso para la recolección de imágenes, la falta de un flujo de proceso que entienda e incluya a los usuarios involucrados puede impactar negativamente en la construcción de estos modelos.

Los aportes de la IA contra la pandemia de la COVID-19 también son destacables y han permitido acelerar las búsquedas y reconocimiento de patrones. Por ejemplo, investigadores del MIT adaptaron un modelo de lenguaje natural para reconocer mutaciones (Heaven W. D., 2021) y otro grupo de la misma universidad pudo reconocer personas asintomáticas a través de las grabaciones de su tos a través de sus celulares (Chu, 2020). Del mismo modo, varios *chatbots* han sido

desplegados para recolectar datos sobre síntomas de pacientes (Miner, Laranjo, & Kocaballi, 2020).

La municipalidad de Espoo (ciudad situada en la costa sur de Finlandia) experimentó con un algoritmo para segmentar a la población en veinte categorías de acuerdo con su estado de salud y calcular la probabilidad de que los ciudadanos se muevan entre categorías. Este caso de uso podría ser útil para planificar el presupuesto que se asigna para servicios o gastos públicos en salud. Sin embargo, debido a la posibilidad de trasgredir la regulación europea de protección de datos personales (GDPR, por sus siglas en inglés), la implementación de una aplicación así ha quedado desestimada.

Una mayor cantidad de datos, como los hábitos de las personas, podrían aportar datos valiosos en la prevención de una enfermedad o diseño del tratamiento de enfermedades, según perfiles. Sin embargo, estos beneficios deben garantizar la privacidad de los pacientes y brindar modelos más interpretables que brinden confianza en los resultados de la predicción de diagnósticos o asignación de tratamientos.

3.2. Educación

Una de las condiciones más importantes para el buen desempeño del sector Educación es contar con profesores bien capacitados. Sin embargo, los docentes muchas veces se ven inmersos en tareas administrativas y documentales que les restan tiempo para dedicarse a su labor pedagógica. Por otro lado, existe amplia evidencia de la deficiencia en logros de aprendizaje en los educandos, en comunicaciones y matemática.

Algunos casos de uso y aplicaciones de inteligencia artificial más usadas para atender estas problemáticas son los *chatbots*, los algoritmos de recomendación para el aprendizaje personalizado y el uso de la visión computacional para el monitoreo de la clase y generación alertas. A continuación, se explicará con más detalle estos casos de uso.

Los *chatbots* para la educación se pueden usar para muchas tareas, entre ellas la contestación de las preguntas más comunes que los estudiantes puedan tener al estar aprendiendo un nuevo tema (Smith, 2019). Otro proceso en el que pueden ayudar es como asistente virtual para enviar recordatorios de matrícula o responder consultas sobre este proceso. En el 2016, Georgia State University (Shailaja, 2020) tenía una alta tasa de estudiantes admitidos que no se matriculaban en el primer semestre de sus carreras. Por ese motivo, se creó “Pounce”, un *chatbot* capaz de responder preguntas sobre los tiempos y pasos para la matrícula, información de financiamiento, etc. De este modo, se redujo en 22% el número de estudiantes que no terminaban su proceso de matrícula en esa universidad. Estos mismos asistentes podrían también guiar las consultas de los profesores sobre temas generales o administrativos.

Los algoritmos de recomendación se usan comercialmente para brindar alternativas de contenido como videos, películas, libros o de productos y servicios a comprar. Estos mismos esquemas se pueden utilizar para personalizar el aprendizaje de los estudiantes. Las personas aprenden de formas diferentes, según las motivaciones personales. La Inteligencia Artificial puede ser usada para proveer de esta información a los profesores (Smith, 2019) o para crear rutas de aprendizaje

personalizadas que planteen temas y preguntas según la interacción de cada usuario con el sistema (Rouhiainen, 2019). Por otro lado, en China, algunos estudiantes de educación inicial, primaria y secundaria son monitoreados a través de vinchas electrónicas (The Wall Street Journal, 2019) que procesan sus ondas cerebrales para alertar de su distracción en las clases.

Sin embargo, otros expertos son escépticos sobre los beneficios que la IA puede aportar a la educación. Por ejemplo, el profesor Kentaro Toyama resaltó que lo que importa en el sistema educativo es tener buenos profesores y todo lo demás es secundario (Klein, 2020). En resumen, es muy importante contar con un enfoque multidisciplinario para entender cómo utilizar la IA y otras tecnologías en el proceso de aprendizaje de manera que siempre estén al servicio del estudiante y los maestros, y no al revés.

Si bien en el Perú aún no existen casos de uso conocidos o muy extendidos de aplicación de la IA al proceso educativo, una que vale la pena resaltar es la realizada en el marco de elaboración del Proyecto Educativo Nacional al 2036, a cargo del Consejo Nacional de Educación. En este contexto, se recogieron las opiniones de estudiantes, docentes, padres de familia, personas con discapacidad y ciudadanos de diferentes grupos étnicos en 847 jornadas por la educación y 49 espacios de diálogo en diferentes regiones. Utilizando un modelo de aprendizaje automático, se pudo sistematizar esta información y las 220 259 respuestas a una encuesta virtual que generaron aprendizajes sobre todos los textos procesados.

3.3. Agricultura

Muchas iniciativas mundiales se han centrado en la recolección de todas las posibles variables que puedan afectar a las cosechas. Así mismo, el monitorear su crecimiento genera también una cantidad muy grande de datos de los que se puede obtener valor con un mayor análisis computacional. A continuación, se revisará algunos de los casos de uso de Países Bajos, Estados Unidos y de una organización peruana.

Con un territorio limitado, los Países Bajos son considerados hoy en día el Silicon Valley de la Agricultura (Schults, 2017). La Wageningen University realiza agricultura vertical en invernaderos monitoreando todo el proceso de crecimiento de una planta a través de sensores que miden la temperatura, la humedad y los nutrientes. Según los resultados de las cosechas, se realiza un análisis sobre qué variables impactaron más en el buen crecimiento de las plantas.

Empresas, como Gro Intelligence en Estados Unidos, reúnen diferentes fuentes de información útiles en la agricultura, como de satélites y pronósticos de clima, para predecir la cantidad de la cosecha, lo que a su vez ayuda a tomar mejores decisiones con respecto a la asignación de recursos y precios (Gro Intelligence, 2021).

Aunque en Perú, las iniciativas aún son incipientes, se ven cada vez más ejemplos de la adopción de la IA. Aquatec señala que, gracias a un riego inteligente, se podría ahorrar hasta 30% los costos de agua y energía (Revista Agroexportaciones, 2021). Por otro lado, SpaceAG es una empresa que está realizando más apuestas por tecnificar la agricultura: utilizan Inteligencia Artificial para realizar el conteo de arándanos a través de la visión computacional. Por otro lado, investigadores del el Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones de la Universidad

Nacional de Ingeniería (Inictel), han desarrollado dos proyectos relacionados a las plantaciones de paltas Hass. El primero es una aplicación que permite monitorear el estado de los cultivos a través de fotografías que alertan a los productores sobre deficiencias, plagas y monitorean otras variables relacionadas a la temperatura y calidad de aire. Un segundo proyecto analiza imágenes aéreas conseguidas con drones y estima el estado nutricional e hídrico de las plantaciones (Moreno Luna, 2020)

3.4. Pesquería y Minería

Algunos ejemplos mundiales en Pesquería van desde la optimización de mantenimiento de barcos hasta la identificación de pesca en zonas de veda. Por ejemplo, Caterpillar (Marr B. , 2017) ayudó a sus clientes a agendar la limpieza de corrosión de los barcos con una mayor frecuencia, a pesar de que esta se realizaba cada dos años por ser muy costosa. Gracias al monitoreo de variables como el uso de combustible, la energía utilizada, el rendimiento y la velocidad de los barcos, se halló que el periodo óptimo de limpieza era de seis meses. Aunque pareció ser contra intuitivo en su momento, el análisis de estas variables permitió encontrar un valor óptimo que no coincidía exactamente con el supuesto anterior en la frecuencia de limpieza de barcos.

Otro ejemplo de IA aplicado al sector pesquero es el rastreo de embarcaciones a través de imágenes satelitales que permiten identificar la pesca en zonas de veda y la pesca ilegal (Sortino, 2020). Por otro lado, también se usa la IA para la selección de especímenes a pescar a través de la identificación de sus medidas con cámaras bajo el agua y así respetar los estándares de pesca (Kourantidou, 2019). Otras aplicaciones están siendo desarrollados en Noruega y la Unión Europea. En la misma línea, la firma tecnológica japonesa UMITRON ofrece un sistema de toma de decisión, basado en IA, con el objetivo de optimizar los horarios de alimentación de las granjas de peces. De esta forma se puede mejorar tanto el rendimiento como la sostenibilidad de estas (UMITRON, 2019).

Entre las aplicaciones usadas en el sector minero a nivel mundial se tiene a la identificación de potenciales áreas de excavación a través de la información geológica de las tierras, el ordenamiento de trozos rocosos según algún criterio como el de potencial de tener menos merma en su limpieza, el uso de vehículos autónomos para el transporte interno de materiales (Marr B. , 2020). Por otro lado, otras aplicaciones incluyen el anticipar cuando una planta de mineral está a punto de exceder su capacidad o para alertar sobre problemas en el proceso de triturado antes de que ocurran (Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, 2021). De igual modo, al combinarse con la tecnología del Internet de las cosas, partes de los procesos de una mina podrían ser controlados de manera remota, reduciendo el riesgo de accidentes.

Si bien el sector minero aún tiene pocos casos de usos desarrollados en Perú, el reconocimiento del potencial de la Inteligencia Artificial, los macrodatos y la minería de datos está creciendo (Tecnología minera, 2021; Tecnología Minera, 2020). Por ejemplo, en la mina San Rafael de Puno, la minera Minsur (2019), implementó sistemas de visión computacional que están ayudando a supervisar el tratamiento de aguas (Revista Energiminas, 2019). Los colaboradores de la mina hicieron la anotación manual de muchas imágenes de videos identificando en qué momentos deberían tener una alarma por la calidad de agua de los vertederos. Estas imágenes son compartidas con proveedores de servicios de IA, en sus plataformas en la nube, para entrenar un

modelo que luego el equipo de la mina pueda usar automáticamente para este tipo de reconocimiento.

3.5. Ciudades Inteligentes y Turismo

El Internet de las cosas permite la interconexión de las personas, dispositivos y servidores que soportan todas las aplicaciones que permite estas interacciones. Así como las personas van generando muchísimos datos al interactuar con el Internet, las ciudades también generan un gran volumen de datos a cada momento. Una vez recolectados estos datos, los modelos de Inteligencia Artificial pueden agregar valor en las operaciones requeridas para llevar un servicio de calidad a los ciudadanos.

Por ejemplo, la IA puede mejorar la predicción del consumo de energía y agua y así permitir a las compañías proveedoras planificar y coordinar la generación de fuentes adicionales para la atención de la demanda (Ratka, Boshell, & Anisie, 2020) (Bejarano, Kulkarni, Raushan, Seetharam, & Ramesh, 2019). La predicción de la velocidad de vientos puede complementar las fuentes principales de generación de energía y brindar información sobre su potencial y capacidad (Energías renovables, 2020). En algunas ciudades con mucha contaminación o cercanas a bosques que sufren incendios forestales, la predicción de la calidad de aire es un servicio que muchos ciudadanos encuentran valioso (Siemens, 2020).

Así mismo, otra aplicación muy útil es la mejora continua del sistema de transporte público en base a datos de demanda y movilidad (Lizasoain, 2019). Varios algoritmos bioinspirados han mostrado ser bastante útiles en el diseño de rutas de transporte público, la modificación dinámica de rutas al presentarse eventos inesperados, la definición de la frecuencia de buses, la asignación de horarios y rutas a conductores (López C & Twin, 2019). Incluso, debido a la pandemia de la COVID-19, aplicaciones como Distancia2 (Riobo, Márquez, & Calatayud, 2020), creadas por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), muestran el potencial del uso de la IA para monitorear el distanciamiento social y alertar sobre aglomeraciones. En general, los casos de uso que promuevan un menor contacto en las interfaces de uso y compra de pasajes, el monitoreo de temperatura y uso de mascarillas serán más necesarias (Stone, 2020).

En otras palabras, el uso de la Inteligencia Artificial en las ciudades puede potenciar los servicios brindados por privados y por el mismo sector público. Por ejemplo, los Emiratos Árabes Unidos ha creado un centro que combina la IA con un componente humano para atender servicios de catorce instituciones gubernamentales (UAE, 2020). Por su lado, Estonia, considerada la sociedad digital más avanzada (Reynolds, 2016) y líder en el uso responsable de la IA (Oxford Insights, 2020), cuenta con un *chatbot* para atender las consultas de los ciudadanos en el sector público en al menos tres idiomas: estonio, inglés y ruso (Fourtané S. , 2020).

En el sector Turismo, la ciencia de datos y métodos de Inteligencia Artificial pueden ayudar a saber cómo, cuándo y en qué gastan su dinero los turistas visitantes. De ese modo, se puede personalizar más la experiencia de cada visitante a través de sistemas de recomendación. Los *chatbots* y traductores también juegan un papel importante a la hora de hacer accesible el contenido turístico a visitantes que hablan diferentes idiomas (De Frutos, 2020).

Por otro lado, las dos tecnologías que acompañan el crecimiento de la IA en este sector son la realidad aumentada y la realidad virtual (Redacción APD, 2020). En el 2020, se habló mucho de la prepublicación de un modelo de Inteligencia Artificial que permitía reconstruir lugares turísticos en base a fotografías públicas de visitantes (Pérez, 2020), (Mildenhall, y otros, 2020). Las visitas virtuales podrían brindar una experiencia previa a los turistas que quieran visitar estos sitios físicamente o ser una alternativa para los visitantes que prefieran hacerlo desde otros sitios.

4. Impacto Económico, Social y Ambiental

El impacto de una tecnología de propósito general como la IA es transversal al quehacer humano y se evidencia en muchos ámbitos. En esta sección, se brindan algunos ejemplos del impacto de la IA en el ámbito económico, social, ético y ambiental.

Por el lado económico, se presentan estimaciones de su contribución en medidas macroeconómicas como el Producto Bruto Interno (PBI) y el Valor Agregado Bruto (VAB). Si bien la automatización no implica necesariamente el uso de la IA, en este documento, se aproxima el impacto de la IA en el empleo a través del impacto de la automatización. Además, el alto porcentaje de empleo informal en el país dificulta un análisis por tipo de empleo, lo cual es un factor clave para medir la magnitud del impacto.

Desde la perspectiva ambiental, la IA puede ser usada para monitorear y apoyar los esfuerzos para controlar el cambio climático. Sin embargo, la gran energía que demandan los servidores para el alojamiento de datos y procesamiento computacional tendría un impacto negativo de no buscar fuentes alternativas para su funcionamiento.

Además, considerando que la inteligencia artificial ha empezado a alterar significativamente la forma en que las personas trabajan y se relacionan, se debe garantizar el uso ético de esta tecnología esté al servicio del ser humano y no al revés.

4.1. Impacto Económico

El mercado de la IA ha ido aumentando desde que la mejora de sus métodos permitió escalar y llevar a producción muchas de sus aplicaciones, en la segunda década de este siglo. En particular, el mercado de la IA estaría alcanzando los 70 mil millones⁴ de dólares al 2020 (National Program for Artificial Intelligence, 2020). Por ese motivo, es importante desagregar el impacto y así poder adoptar las mejores medidas para aprovechar esta tecnología y reducir los posibles impactos negativos. En esta sección se describen algunos estudios que estiman el impacto económico de la Inteligencia Artificial en términos de medidas económicas y productividad. Por otro lado, como se menciona anteriormente, se presenta algunas perspectivas del impacto de la IA en el empleo a través de una aproximación del impacto de la automatización.

4.1.1. Aumento de la productividad

Entidades privadas como Accenture Research (Ovanessoff & Plastino, 2017) o el Centro de Implementación de Políticas Públicas para la Equidad y el Crecimiento, por encargo de Microsoft (Albrieu, Rapetti, Brest, Larroulet, & Sorrentino, 2018), han realizado estimaciones sobre la productividad generada por la IA en Latinoamérica. No obstante, se debe tomar en cuenta que estos fueron realizados antes de la pandemia de la COVID-19.

⁴ El documento en referencia está en inglés y es publicado en los Emiratos Árabes Unidos por lo que se asume que los *70 billions* significa 70 mil millones en español.

Para resaltar el posible potencial de la IA, ambos estudios mencionan inicialmente la poca relación de la bonanza económica de los primeros años de este siglo con la mejora de la productividad en países latinoamericanos, entre ellos Perú. Por ejemplo, Accenture Research resaltó la diferencia de crecimiento porcentual de la productividad total de los factores (PTF) promedio de cinco países de Sudamérica y algunos países de Asia. Mientras que el promedio sudamericano en el periodo 2001-2005 fue de 0,7 %, en Indonesia alcanzó 2,1% y en Corea 2,0% (Ovanessoff & Plastino, 2017).

El análisis de Accenture Research señaló también que “la IA tiene el potencial de aumentar las tasas de crecimiento económico anual en Sudamérica hasta en un punto porcentual en términos del valor agregado bruto”. La Figura 7 compara el Valor Agregado Bruto (VAB) en porcentajes sin adoptar y adoptando la IA para algunos países del mundo, siendo 3,2 % y 4,2 % respectivamente para Perú. (Ovanessoff & Plastino, 2017). Sin embargo, también es importante tener en cuenta que estas ganancias no necesariamente se distribuyen equitativamente en el mundo y que, por el contrario, podrían incrementar la inequidad (West & Allen, 2020).

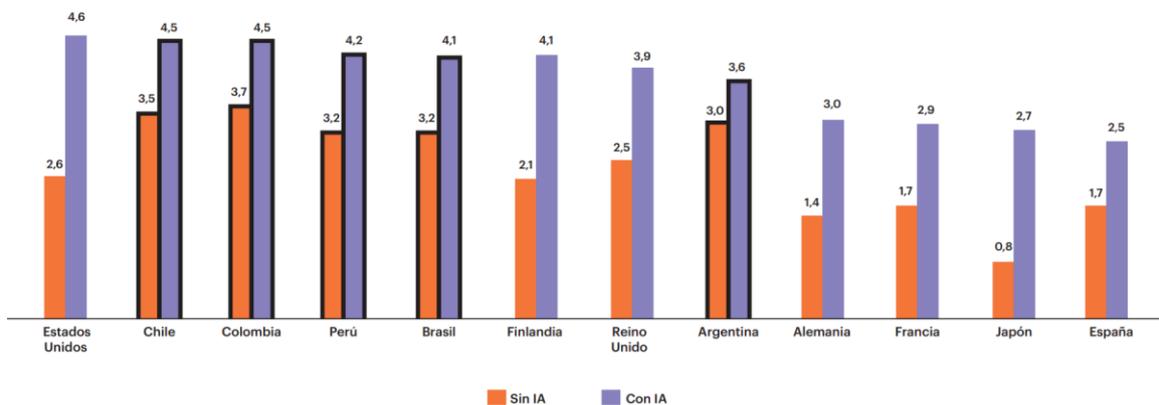


Figura 7. Porcentaje de crecimiento del Valor Agregado Bruto (VAB). Recuperado de “Cómo la inteligencia artificial puede generar crecimiento en Sudamérica”, de Accenture. (Ovanessoff & Plastino, 2017).

Por otro lado, la consultora PwC estimó que la IA pueden incrementar el PBI en 15,7 billones de dólares a nivel mundial, un 14.5 % de incremento del PBI en Norteamérica y 5.4 % en Latinoamérica al 2030 (Rao & Verweij, 2017), (Entrevista PwC Anand RAO. Global & US Artificial Intelligence Data & Analytics Leader. PwC EE.UU, 2019). La Figura 8, tomada del reporte de PwC, muestra el detalle de estos cálculos por región.

Albrieu et. al evaluaron tres escenarios alternativos de adopción de la IA en el Perú. El escenario negativo implica que ninguna IA es adoptada para la automatización o la innovación; el escenario neutral implica una adopción parcial de la IA donde se realiza alguna automatización y el escenario positivo implica no solamente mayor automatización del proceso de producción sino la incorporación de la innovación para la creación de nuevas tareas y productos. Para el escenario negativo, estimaron una disminución del ritmo de crecimiento desde el 4,9 % anual, observado como tendencia histórica desde 1990, a un 3,7 % para la próxima década. En el escenario neutral, se registraría una tasa de crecimiento anual promedio técnicamente igual a la de la tendencia histórica. En el caso positivo, la estimación anticipó una aceleración del ritmo de crecimiento económico hasta un 6,0 % anual. (Albrieu, Rapetti, Brest, Larroulet, & Sorrentino, 2018). Cabe

reiterar que estas estimaciones se realizaron en 2018, antes de la pandemia de la COVID-19, la cual ha tenido efectos negativos en la economía, pero también ha acelerado notablemente la transformación digital.



Figura 8. Impacto estimado de la IA en el PBI por regiones a nivel mundial al 2030.

Recuperado de "What's the real value of AI for your business and how can you capitalise?" de PWC, 2017. p.7, (Rao & Verweij, 2017).

4.1.2. Automatización del empleo

A pesar de que la automatización no implica necesariamente el uso de Inteligencia Artificial (Simkoff & Mahdavi, 2019), se toma el impacto de esta para estimar el impacto de la IA con respecto al reemplazo del empleo (Rao & Verweij, 2017). Desde el 2018, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) viene publicando datos y análisis de la serie "El futuro del trabajo en América Latina y el Caribe", donde las últimas entregas se enfocan especialmente en el trabajo en el contexto de la pandemia COVID-19.

La cuarta entrega de esta serie del BID analiza las ocupaciones más demandadas e identifica cuatro categorías: rutinarias (más automatizables) y no rutinarias (menos automatizables), manuales (como operarios o personal de limpieza) y del conocimiento (usualmente profesionales con alto grado de especialización) (Azuara Herrera, y otros, 2019). En la Figura 9, se muestra la variación de la proporción de ocupaciones en cada una de estas categorías entre el 2000 y 2015 para América Latina y el Caribe. Se observa que el trabajo manual altamente automatizable ha sufrido una importante caída en América Latina y el Caribe.

Sin embargo, una entrega posterior de esta misma serie del BID analiza el impacto de la automatización en los empleos y muestra que sería más pertinente analizar este con un enfoque en tareas en vez de un enfoque por ocupaciones (Ripani, Kugler, Soler, Kugler, & Rodrigo, 2020). De esta forma, se puede considerar que personas que desempeñan las mismas ocupaciones no necesariamente realizan la misma cantidad de tareas rutinarias. La Figura 10 muestra la diferencia en el riesgo de automatización de estos enfoques en porcentaje para cinco países de la región.

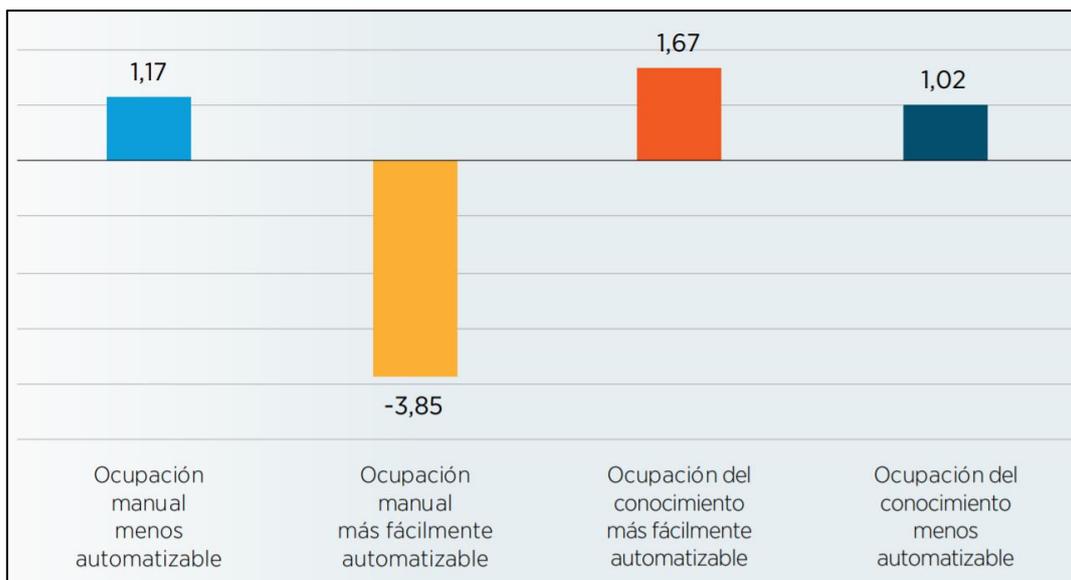


Figura 9. Variación de la proporción del empleo según la categoría (2000 - 2015).

Recuperado de “El futuro del trabajo en América Latina y el Caribe: ¿cuáles son las ocupaciones y las habilidades emergentes más demandadas en la región?”, del BID, 2019, p. 11. (Azuara Herrera, y otros, 2019).

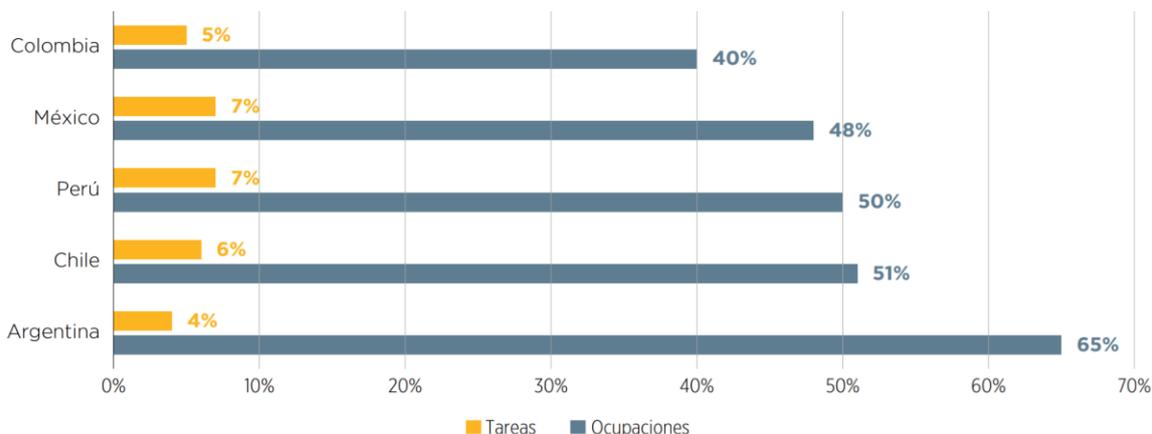


Figura 10. Probabilidades de automatización de empleos según distintos enfoques.

Recuperado de “El futuro del trabajo en América Latina y el Caribe: ¿cuál es el impacto de la automatización en el empleo y los salarios?”, del BID, 2020, p.15. (Ripani, Kugler, Soler, Kugler, & Rodrigo, 2020).

Sobre la base de la investigación de Benedikt y Osborne (2017) y la ENAHO, Albrieu et. al elaboraron una lista de las diez ocupaciones más susceptibles de ser automatizadas en el Perú y encontraron que estas representan solamente un 0.8 % del mercado laboral. Por ese motivo, en los dos primeros escenarios planteados, la necesidad de la readaptación de los trabajadores peruanos sería bastante baja. Sin embargo, en un escenario de adopción alta de la IA, alrededor de un 84% de trabajadores deberán readaptar sus habilidades para complementarse mejor con la tecnología (percepción y manipulación en contextos complejos, creatividad e inteligencia social) (Albrieu, Rapetti, Brest, Larroulet, & Sorrentino, 2018).

4.2. Impacto Social y Ético

Los sesgos y la discriminación son conceptos que muchas veces los humanos practican consciente o inconscientemente. Esta realidad se refleja en la información que generan y que es utilizada para entrenar los algoritmos de Inteligencia Artificial. Por lo tanto, la IA puede escalar el sesgo y la discriminación cometida por los seres humanos al mundo digital. Ser conscientes de este hecho permite evaluar y analizar mejor las aplicaciones de IA que puedan afectar a ciertas comunidades y acentuar brechas sociales. Por lo tanto, como mencionó Fei-Fei Li, directora del Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence, los valores de las máquinas deben ser los valores humanos (Li, 2019). Estos no son otros que los ya establecidos en las leyes que garantizan los derechos humanos global y localmente.

4.2.1. Sesgos e inequidad

Algunos ejemplos concretos de discriminación se enfocan sobre todo en “premios” como oportunidades de estudio o de trabajo, y “castigos” como la automatización de una sentencia y el uso de sistemas de vigilancia para el reconocimiento automático de delincuentes. Por ejemplo, en 2015, Amazon encontró que su algoritmo de reclutamiento discriminaba los perfiles de mujeres para preferir los de hombres en puestos técnicos como el de desarrollador de software. La razón de este resultado se debió a que el algoritmo fue entrenado con perfiles de candidatos pasados, en su mayoría hombres, siendo estos también los mayormente escogidos dada la superación en cantidad de postulantes comparada con candidatas mujeres (Li, 2019; El País, 2018).

Por el lado de los castigos, es conocida la investigación de ProPublica sobre COMPAS (Angwin, Larson, Mattu, & Kirchner, 2016), una compañía que predecía qué tan probable era que algunos criminales sean reincidentes en base a un cuestionario de 137 preguntas. Algunas de estas preguntas estaban relacionadas al contexto del individuo y si bien este puede influir en su conducta, no pueden ser tomadas en cuenta para juzgar su reincidencia (P. ej. ¿sus padres estuvieron en prisión alguna vez?, ¿sus amigos consumen drogas ilegalmente?). En este estudio, se encontró que criminales afroamericanos era más propensos a ser catalogados como reincidentes que criminales blancos, aun cuando en el futuro no reincidieran realmente, como se muestra en la Tabla 1. En esta tabla, se puede observar cómo las predicciones se comportan diferente para los diferentes grupos a pesar de tener una precisión general de 61 %.

Tabla 1.
Predicción de reincidencia

	Blanco	Afroamericano
Etiquetado como de alto riesgo de reincidencia, pero en realidad no volvió a reincidir	23,5 %	44,9 %
Etiquetado como de bajo riesgo de reincidencia, pero en realidad sí volvió a reincidir	47,7 %	28,0 %

Nota. Adaptado de “Machine bias”, de Angwin et al., 2016.

4.2.2. Inteligencia Artificial usada para el bien común

A pesar de que son varios los casos en que el uso inteligencia artificial ha tenido efectos al menos cuestionables también existen ejemplos en los que su uso aporta muchos beneficios. McKinsey lista algunas formas en las que la IA puede ayudar a resolver algunos de los retos más difíciles para nuestra sociedad (Chui, y otros, 2018).

La Inteligencia Artificial puede organizar las respuestas ante crisis o desastres naturales. Más concretamente, la IA puede contribuir con métodos que mejoren la predicción de lluvias, huacicos, epidemias o que estimen con una mayor precisión las zonas y poblaciones más vulnerables. Además, la IA puede monitorear la respuesta ante una crisis a través del análisis de imágenes satelitales o de drones con visión computacional para, por ejemplo, identificar el tipo de ayuda que se necesita en cada zona, según las características de las imágenes obtenidas. Por otro lado, la planificación de asignación de recursos, tanto humanos como materiales, puede realizarse en base a variables del tipo geográfico, demográfico y de capacidad de respuesta.

Por otro lado, los profesores y el personal de salud podrían dedicar más tiempo a las labores más complejas o que necesitan de un componente más humano y dejar que *chatbots* o asistentes virtuales respondan las preguntas más frecuentes de alumnos o pacientes, o apoyen en tareas administrativas. Además, plataformas con componentes de IA pueden recomendar rutas de aprendizaje y mejores tratamientos a enfermedades, respectivamente.

Al imitar los sentidos humanos, la inteligencia artificial puede acortar las brechas producidas por discapacidades como la ceguera, sordera, parálisis, etc. Por ejemplo, la visión computacional, junto al procesamiento de lenguaje natural, pueden permitir la descripción de imágenes para las personas ciegas, el procesamiento de señales podría generar la voz de personas mudas o con parálisis facial y el reconocimiento de gestos podría traducir una lengua de señas.

4.2.3. La polarización y el escalamiento de algoritmos de Inteligencia Artificial

Otro tema bastante relevante con respecto a la ética en aplicaciones de Inteligencia Artificial es la recomendación de productos y servicios. En el contexto de las redes sociales, algunas investigaciones y antiguos trabajadores han dado a conocer cómo los algoritmos de recomendación de estas plataformas buscan retener el mayor tiempo posible a sus usuarios. Para ello, se podría estar llegando a puntos en los que se presenta un contenido vicioso y polarizante, como, por ejemplo, en el caso de Facebook (Hao, 2021). Además, se conoce también que el contenido con más potencial de convertirse en viral es muchas veces contenido con desinformación. Esta situación podría generar, en algún momento, una amenaza a las democracias debido a la influencia y manipulación de la opinión.

4.2.4. Lineamientos para el uso ético de la Inteligencia Artificial

Los valores tomados en cuenta para una conducta ética también varían de acuerdo con la cultura y región. Debido a la importancia de establecer un conjunto de guías con respecto a estos asuntos, se han creado distintos documentos con principios de evaluación (UAE, 2020), uso fiable (Fraunhofer-IAIS, 2019) e incluso algunos adaptados a un dominio en específico, como en salud (Van Houten, 2020).

El portal web Algorithm Watch reúne guías sobre el impacto ético de la IA elaboradas por distintas instituciones, empresas y gobiernos. Muchos de ellos se centran en la inclusión, desarrollo sostenible, valores centrados en el humano, transparencia, interpretabilidad, robustez, seguridad y responsabilidad con la que deben contar las aplicaciones desarrolladas de IA (Algorithm Watch, 2021). Por otro lado, en Latinoamérica y Perú, una reciente iniciativa, EmpatIA Lab, busca hacer lo propio en la región analizando las políticas públicas relacionadas con la IA y capacitando a distintas entidades en el uso ético de la IA (EmpatIA Lab, 2020).

El Perú se adhirió en el año 2019 a los principios intergubernamentales sugeridos por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (2021) que recomienda cinco medidas: i) la inversión en la investigación y desarrollo de la IA, ii) promover un ecosistema digital para la IA, iii) definir y habilitar un ambiente de políticas para la IA, iv) construir la capacidad humana y preparación de la transformación del mercado laboral, y v) cooperación internacional para una IA confiable.

En abril del 2021, la Unión Europea publicó la primera propuesta de regulación de la IA, convirtiéndola en la primera región con una estructura legal concreta. Su objetivo es garantizar la seguridad y derechos fundamentales de las personas y los negocios mientras se fortalece la adopción de la IA, la inversión y la innovación en toda la Unión Europea (Comisión Europea, 2021).

Por otro lado, listas de clasificación como el Responsible AI Sub-Index, de Oxford Insights (2020), evalúan a los países en cuatro pilares: inclusividad, responsabilidad, transparencia y privacidad. Es interesante mencionar que en este último pilar alguno de los subíndices está relacionado a la cantidad de servicios de video vigilancia que el país esté utilizando o exportando. Los países líderes de esta lista son Estonia, Noruega, Luxemburgo, Finlandia y Suecia. En el caso de Estonia es interesante notar que su estrategia de Inteligencia Artificial está muy ligada a la mejora de sus servicios al ciudadano, en términos de facilidad y seguridad del uso proveyendo asistentes virtuales e interacción por reconocimiento de voz. Algunos de los servicios a los que los estonios pueden acceder automática y fácilmente es la solicitud de un nuevo pasaporte o consultas sobre la COVID-19. Por otro lado, el Ministerio de Agricultura (Fourtané S. , 2020) monitorea si los agricultores podan sus tierras, un cierto número de veces al año, a través de imágenes satelitales y así pueden entregar fondos con este requisito.

4.3. Impacto Ambiental

El impacto ambiental que tiene la IA presenta efectos positivos y negativos. Por el lado positivo, supone más y mejores herramientas para predecir los embates del cambio climático (Rolnick, y otros, 2019). Podemos resaltar que existen modelos predictivos para la demanda y oferta de servicios como agua potable, gas y electricidad o para detectar fugas de cualquiera de estos servicios, como anomalías con respecto al consumo. Otros modelos de IA pueden ser usados para monitorear la calidad de aire, así como también predecir la velocidad y fuerza de los vientos. Con respecto al transporte, por ejemplo, los modelos de IA pueden ayudar al diseño de rutas de transporte público más eficientes en términos de uso de combustible. Del mismo modo, pueden definir frecuencias óptimas de buses que mantengan la calidad del servicio y la cobertura de la

demanda. En general, el poder predictivo de estas aplicaciones puede ayudar a optimizar la generación, uso y almacenamiento de todos estos recursos de una ciudad.

Por otro lado, un efecto negativo de los modelos más recientes de IA es que hacen gran uso de energía por su complejidad y por la cantidad de datos que utilizan. En el año 2019, Strubell, Ganesh y McCallum calcularon que el entrenamiento de un modelo de *deep learning* (como un Transformer⁵ con una GPU y que podría durar algunas semanas o incluso meses⁶) puede emitir aproximadamente 284 mil kilogramos⁷ de CO₂ (Strubell & Ganesh, 2019; Toews, 2020). Para colocar en perspectiva este número, reportaron también que la generación promedio de CO₂ de un estadounidense en un año es de 16 mil kilogramos.

Para reducir la energía de la necesidad computacional, se deben impulsar métodos que trabajan con menos datos y, en consecuencia, podrían hacer un menor uso de energía. Los *métodos few-shot-learning* y *transfer-learning* trabajan con distintas tareas para poder reusar el aprendizaje en una menor cantidad de instancias si es necesario. Estos enfoques pueden ser usados en diferentes ramas como visión computacional, procesamiento de lenguaje natural o procesamiento de señales. Por ejemplo, en visión computacional se puede reutilizar el aprendizaje obtenido en la segmentación de objetos para para la clasificación de objetos. Si bien el entrenamiento es la parte más costosa del proceso de implantación de un modelo de IA, el uso final de una herramienta basada en IA podría generar también un alto consumo de energía. Por ejemplo, un usuario promedio de los servicios de *Google* realiza veinticinco búsquedas al día, mira 60 minutos de *YouTube* y tiene una cuenta de *Gmail* produciendo un poco menos de 8 gramos de CO₂ al día (Griffiths, 2020).

⁵ Un *Transformer* es un modelo base de lenguaje que es considerado el actual estado del arte en tareas relacionados al procesamiento de lenguaje natural.

⁶ El tiempo del entrenamiento de un modelo contempla la afinación de éste y sus hiperparámetros para asegurar la mejor precisión.

⁷ El estudio reporta que un modelo Transformer (grande) con una arquitectura de búsqueda especial consume 626 155 libras.

5. Estado actual e iniciativas de políticas

Debido al potencial que ofrece la IA, muchos países han definido ya sus políticas o estrategias nacionales. En esta sección, se analiza algunas de estas procurando mostrar una diversidad de enfoques. Para los ámbitos de la Academia y la Industria, se resumirán los aportes de expertos peruanos en Inteligencia Artificial de estos sectores y del sector público que participaron en la conferencia TECHSUYO 2020, entre otros. Así mismo, se incluyen también varias ideas y sugerencias discutidas en Prospecta Américas (Conferencia Prospecta Américas , 2019). Para el análisis de la situación en el sector público, se resumirá la Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial del Perú presentada en mayo del 2021. Finalmente, se complementan estos aportes con otras fuentes, noticias e investigaciones.

5.1. Panorama internacional de políticas y desarrollo de la inteligencia artificial

Los análisis realizados por Tim Dutton (2018) y HolonIQ (2020) sobre las estrategias, planes y políticas nacionales en Inteligencia Artificial de algunos países muestran que la perspectiva varía de país en país y puede tener un foco en investigación, desarrollo del talento, educación, adopción desde el sector público o privado, entre otros.

Algunos países como Canadá, Estados Unidos, Francia y China orientan estas políticas a la investigación y desarrollo de tecnología. Por los temas mencionados en el resumen de HolonIQ (2020), otros países parecen apostar más por el impulso del uso, el emprendimiento y la aplicación en el sector privado como Colombia, Malta y Sudáfrica. Un tercer grupo se enfoca en incentivar su desarrollo y uso en el sector público, como Estonia, Italia y muchos otros países de Europa y Rusia. Otro grupo apuesta primordialmente por desarrollar el talento digital necesario para aprovechar la IA, como en los casos de India, Países Bajos y Suecia.

Dependiendo de la institución impulsora, las estrategias pueden ser trabajadas por la oficina encargada de la ciencia y tecnología, por un ministerio, por una oficina más transversal, por iniciativas independientes desde varias oficinas, o desde la academia, el sector privado o la sociedad civil. Es interesante mencionar inclusive la creación de un Ministerio de Inteligencia Artificial, como parte de la visión a largo plazo de los Emiratos Árabes Unidos. Por otro lado, muchas estrategias señalan la creación de centros de investigación, como las de Brasil, Canadá y Francia.

Algunas estrategias describen con bastante detalle su implementación, indicando tiempos de realización como Colombia, o comparten el avance de sus indicadores en línea, como Uruguay (Uruguay Digital, 2020). Estas características están relacionadas precisamente a lo que enfatizaron Fatima, Desouza y Dawson (2020), quienes luego de la revisión de estrategias de 34 países, indicaron que muchas de ellas omiten un plan de ejecución, un panorama claro de financiamiento y una estrategia de comunicación sobre estas iniciativas. La definición de estos plazos y el monitoreo del avance de estos planes pueden reforzar la confianza de la ciudadanía sobre lo que hacen sus estados con respecto a esta tecnología.

Al contrastar las políticas y estrategias de IA de algunos países, se identificaron correlaciones entre esas declaraciones y los valores obtenidos en algunos indicadores. Este es el caso del porcentaje de penetración de habilidades en Inteligencia Artificial liderado por India en sectores como

Educación, Manufactura, Finanzas entre otros, mostrado en la Figura 11. Se hipotetiza que este nivel logrado por la India se debe al foco en el desarrollo de talento en su plan nacional. Adicionalmente, India cuenta con el programa *CSpaathshala* desde el 2016, liderado por ACM India⁸, para enseñar en los colegios el pensamiento computacional sin necesidad de computadoras (Universidad de Ingeniería y Tecnología-UTEC, 2020).

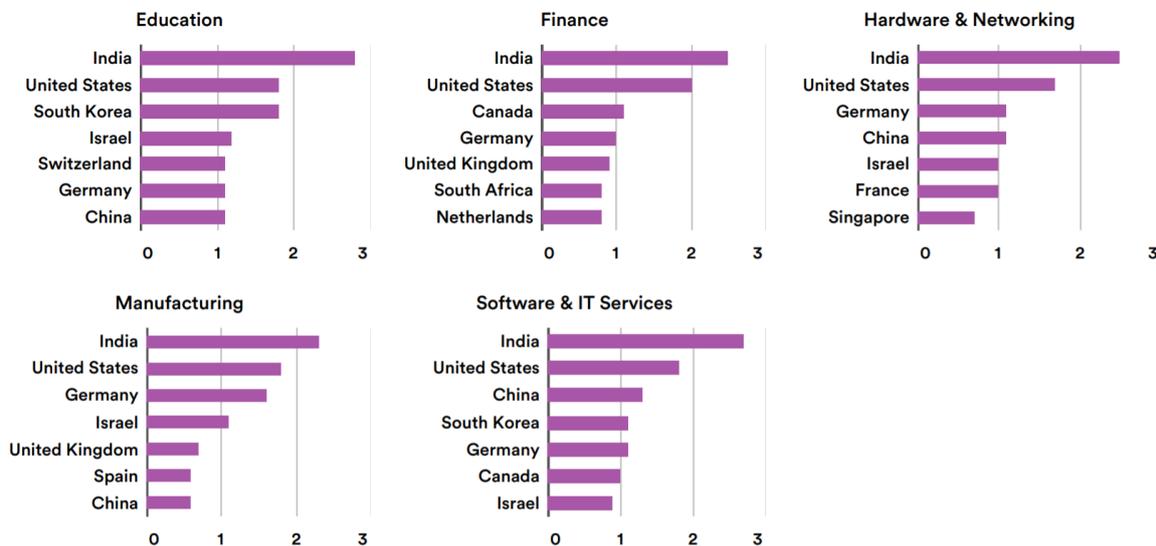


Figura 11. Ratio de penetración de habilidades en IA (2015 - 2020). Recuperado de “Artificial Intelligence Index Report 2021” (Stanford University, 2021).

Una forma de medir el avance de las políticas en Inteligencia Artificial de los diferentes países es la revisión de reportes, listas de clasificación e índices mundiales. Por ejemplo, el Global Connectivity Index de Huawei (GCIH) (Huawei, 2020), el Government AI Readiness Report de Oxford Insights (GAIR20) (Oxford Insights, 2020) y el Artificial intelligence Index Report 2020 (AIIR20) de la Universidad de Stanford (Universidad de Stanford, 2021). El portal de Oxford Insights también da algunas luces sobre qué hace a una estrategia de IA una buena estrategia (Kendall, Asare, Shearer, Stirling, & Westgarth, 2020). Menciona que esta debe tener un propósito claro y realista, un periodo de realización, metas medibles, financiamiento y sólida coordinación.

El GCIH mide algunos de los factores habilitantes de desarrollo de la IA, como son la interconectividad y la adopción de tecnologías de información. Como se puede ver en la Figura 12, esta lista de clasificación agrupa a los países en tres: los que están en vanguardia o *front-runners*, los que están en adopción o *adopters* y los que están iniciando o *starters*. Es interesante notar que los países desarrollados, que son muchos de los que se consideran en vanguardia, son los que más importancia y apoyo le dan a la investigación y desarrollo de la IA en sus estrategias nacionales. También se puede notar en este reporte que tres países de la región como Colombia, Perú y Chile pertenecen al grupo en adopción. Sin embargo, Chile sobresale entre los primeros de este grupo mientras que Colombia y Perú estarían entre los últimos.

⁸ACM India es uno de los comités que existen en diferentes países de la sociedad educativa y de computación científica más grande del mundo, Association for Computing Machinery (ACM),

Como se muestra en la Figura 13, el GAIR20 mide tres pilares: i) datos e infraestructura, ii) gobierno y iii) sector tecnológico. En el primer pilar, se miden dimensiones como la representatividad de los datos (qué tanto los datos del país representan a todos los ciudadanos y comunidades), su disponibilidad y la infraestructura que permite su recolección y organización. En el pilar de gobierno, se mide dimensiones como visión (si se cuenta con políticas nacionales para el desarrollo de la IA), gobernanza, capacidad digital y adaptabilidad. En el pilar tecnológico se mide la capacidad de innovación (que mide si el sector tecnológico tiene las condiciones necesarias para soportar la innovación), el tamaño del sector y el capital humano.

FRONTRUNNERS			ADOPTERS			STARTERS		
RANK	COUNTRIES	SCORE	RANK	COUNTRIES	SCORE	RANK	COUNTRIES	SCORE
1	United States	87	21	United Arab Emirates	62	40	Uruguay	50
2	Singapore	81	22	China	62	41	Romania	50
3	Switzerland	81	23	Spain	61	42	Russia	50
4	Sweden	80	24	Estonia	61	43	Oman	48
5	Denmark	77	25	Portugal	61	44	Brazil	47
6	Finland	76	26	Italy	60	45	Kazakhstan	47
7	Netherlands	75	27	Lithuania	58	46	Thailand	46
8	United Kingdom	75	28	Czech Republic	57	47	Belarus	46
9	Japan	75	29	Slovenia	56	48	Kuwait	46
10	Norway	73	30	Chile	54	49	Turkey	46
11	Australia	72	31	Hungary	54	50	Argentina	45
12	New Zealand	72	32	Slovakia	54	51	Serbia	45
13	South Korea	71	33	Saudi Arabia	53	52	Ukraine	43
14	Luxembourg	70	34	Malaysia	53	53	Mexico	43
15	Germany	70	35	Greece	52	54	Colombia	42
16	France	70	36	Bulgaria	52	55	Vietnam	41
17	Canada	70	37	Bahrain	51	56	South Africa	41
18	Ireland	69	38	Croatia	51	57	Peru	40
19	Belgium	66	39	Poland	51			
20	Austria	66						
						58	Indonesia	39
						59	Philippines	38
						60	Morocco	38
						61	Ecuador	38
						62	Paraguay	37
						63	India	37
						64	Egypt	36
						65	Venezuela	35
						66	Jordan	35
						67	Lebanon	32
						68	Bolivia	32
						69	Algeria	32
						70	Kenya	31
						71	Botswana	31
						72	Ghana	30
						73	Bangladesh	30
						74	Namibia	28
						75	Pakistan	28
						76	Nigeria	27
						77	Uganda	26
						78	Tanzania	25
						79	Ethiopia	23

Figura 12. Lista de clasificación del Global Connectivity Index de Huawei. Recuperado de “Shaping the new normal with intelligent connectivity. Mapping your transformation into a digital economy with GCI 2020” (Huawei, 2020).

Comparando los índices y las listas de clasificación mencionados, se puede notar que los países considerados en vanguardia en GCIH, mostrados en la Figura 12, también están en mejores puestos en los índices de talento y de capacidad de innovación en el GAIR20. Así mismo, la Figura 14 muestra cómo los países en vanguardia tuvieron una menor caída, 50 % menor en promedio, de sus PBI per cápita (proyectados) con relación a los valores alcanzados antes de la pandemia de la COVID-19. Como indica el informe, las organizaciones en economías con puntajes GCI más altos pueden reaccionar más rápido a la nueva normalidad y utilizar herramientas y servicios digitales para mitigar el impacto de los bloqueos y el distanciamiento social. Gracias a la disponibilidad de banda ancha de alta velocidad, servicios en la nube, la Inteligencia Artificial y soluciones de Internet de las cosas, pueden implementar rápidamente modelos de trabajo distribuidos, migrar a plataformas de comercio electrónico y transformar digitalmente sus operaciones para mantener su continuidad de negocios (Huawei, 2020).



Figura 13. Pilares del Government Readiness Index de Oxford Insights. Recuperado de “Government AI readiness index 2020” (Oxford Insights, 2020)



Figura 14. Comparación de la proyección de caída del PBI per cápita antes y durante la pandemia de la COVID-19. Recuperado de “Shaping the new normal with intelligent connectivity mapping your transformation into a digital economy with GCI 2020”, 2020, de Huawei. p.18 (Huawei, 2020).

Desde una perspectiva regional, el BID y C-MINDS brindan un panorama sobre los avances de la IA en doce países de Latinoamérica, en base a revisión documental y opinión de expertos como se muestra en la Figura 15. También se brinda detalle por cada país en las áreas de Gobierno, Academia, Ecosistema emprendedor y Sociedad Civil al 2020. Es destacable que Uruguay y Colombia ya formularon sus estrategias nacionales de IA, mientras que Brasil, Chile y Perú estaban en proceso hasta ese año, aunque Chile y Perú han realizado grandes avances en sus estrategias el 2021.

	Gobierno	Academia	Ecosistema emprendimiento	Sociedad civil
Argentina	77,5	52	52,4	75
Brasil	77,4	88	41,8	50
Chile	79,1	76	50,9	75
Colombia	89,1	68	47,3	25
Costa Rica	65,1	75	n/d	100
Ecuador	61,4	60	n/d	75
México	76,4	64	52,1	25
Paraguay	61,8	46,4	n/d	50
Perú	62,6	46,4	45,4	50
República Dominicana	61,6	46,4	45,7	75
Trinidad y Tobago	38,5	60,3	n/d	75
Uruguay	91,5	60	47,2	100

Fuente: Elaboración propia.

*Para "Gobierno" se calculó el promedio del Índice de Adopción Digital del Banco Mundial, el Índice de Disponibilidad de Red del Foro Económico Mundial (FEM) y el índice de formulación de estrategias digital, de datos y de IA (100% si el país ya cuenta con ellas, 50% si están en curso o en espera y 0% si no las tiene).

Para "Academia", el rubro se obtuvo calculando el porcentaje de universidades públicas, no centralizadas, con carreras afines a la IA, con investigación relacionada con la IA y con laboratorio de IA, sobre el total de universidades estudiadas (3, 4 o 5).

Para "Ecosistema de emprendimiento" se usó el indicador de contexto nacional de emprendimiento (NECI), el cual mide cuán propicio es el entorno para los emprendedores.

Para "Sociedad Civil" se usó el indicador de Civicus Monitor, el cual mide el estado de las libertades de la sociedad civil.

Figura 15. Panorámica de los avances en IA en doce países seleccionados de América Latina y el Caribe (%) al 2020.

Recuperado de "La inteligencia artificial al servicio del bien social en América Latina y el Caribe: panorámica regional e instantánea de doce países", de Banco Interamericano de Desarrollo, 2020, p.21. (Mont, Pozo, Pinto, & del Campo Alcocer (C Minds), 2020).

5.2. Tendencias en investigación y empresas emergentes

La investigación en temas de IA es una de las principales fuerzas para el avance de esta tecnología. Por ese motivo, es pertinente analizar la tendencia en la formación de profesionales preparados para el desarrollo y la investigación en esta tecnología. La encuesta Taulbee del Computing Research Association⁹ (CRA) del 2019 analiza muchos datos pertinentes sobre los ingresantes, egresados, profesores y la inclusión y diversidad en el área, en términos de género y minorías étnicas. Las estadísticas son obtenidas mediante consultas a instituciones trabajando en áreas de la computación en Estados Unidos y Canadá (Zweben & Bizot, 2020). La Figura 16 y la Figura 17 muestran la cantidad de ingresantes a estas carreras y la cantidad de nuevos graduados, respectivamente.

El Artificial Intelligence Index Report de la Universidad de Stanford también reporta algunas tendencias relacionadas a la producción científica en estas áreas en base a fuentes como Elsevier. La Figura 18 muestra la tendencia en el número de artículos publicados en Scopus anualmente por los tres países/regiones líderes en el mundo como China, Europa y Estados Unidos. También podemos observar en esta figura que China empezó a liderar esta métrica. Sin embargo, la Figura 19 muestra que la región con artículos de mayor impacto sigue siendo aún Estados Unidos, pero con una tendencia a la baja. En Perú, el número de publicaciones relacionados a IA es muy bajo aún.

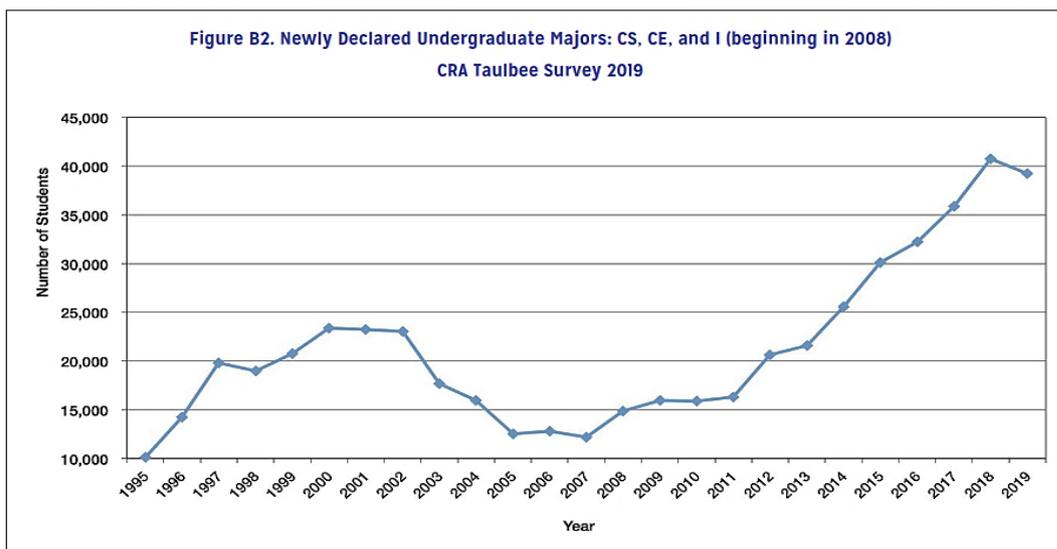


Figura 16. Número de nuevos ingresantes a las tres carreras relacionadas a la IA anualmente. Recuperado de “2019-Taulbee Survey”, de Computing Research Association, 2020, p. 25. (Zweben & Bizot, 2020).

⁹ Los resultados de esta encuesta toman en cuenta los programas de ciencia de la computación (CS), ingeniería en computadoras (CE) e información (I).

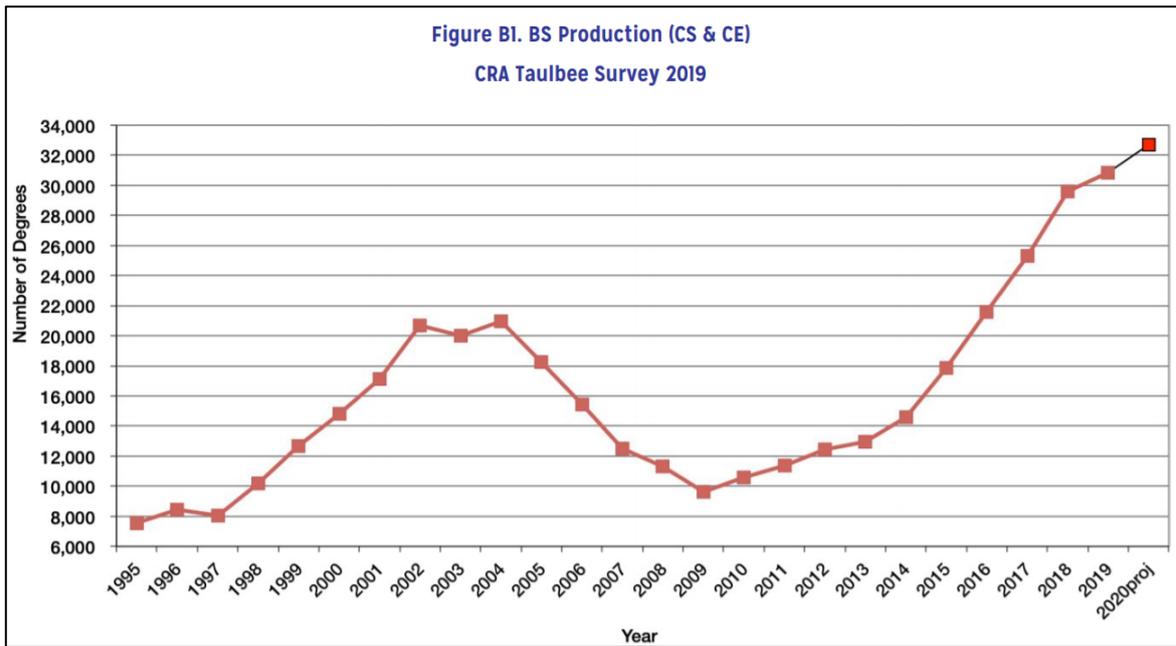


Figura 17. Número de egresados de las tres carreras relacionadas a la IA anualmente. Recuperado de “2019-Taulbee Survey”, de Computing Research Association, 2020, p.25. (Zweben & Bizot, 2020)

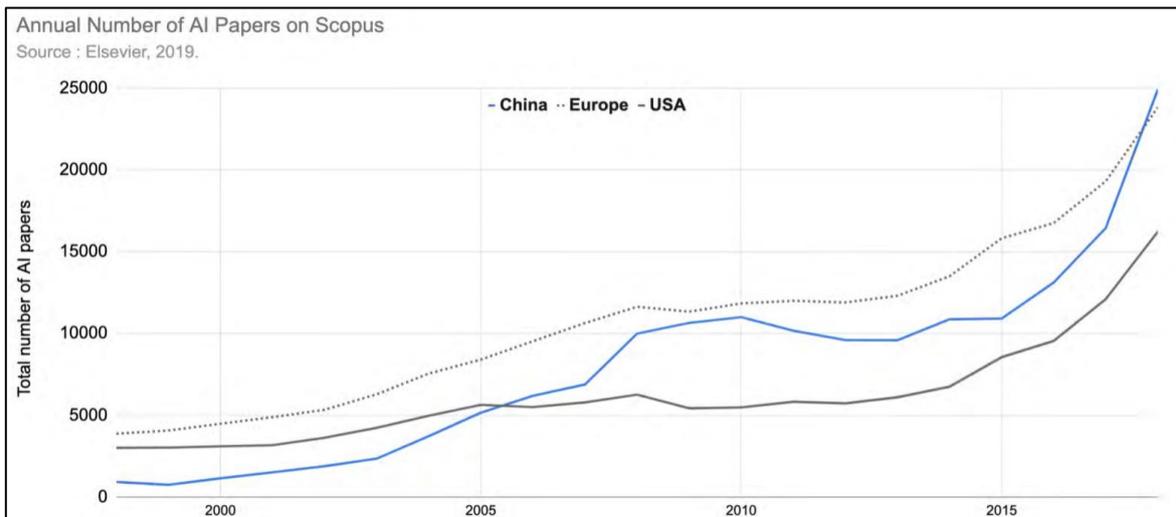


Figura 18. Número de papers sobre IA publicados anualmente por Scopus. Recuperado de “Artificial Intelligence Index 2019”, de Stanford University (Stanford University, 2019).

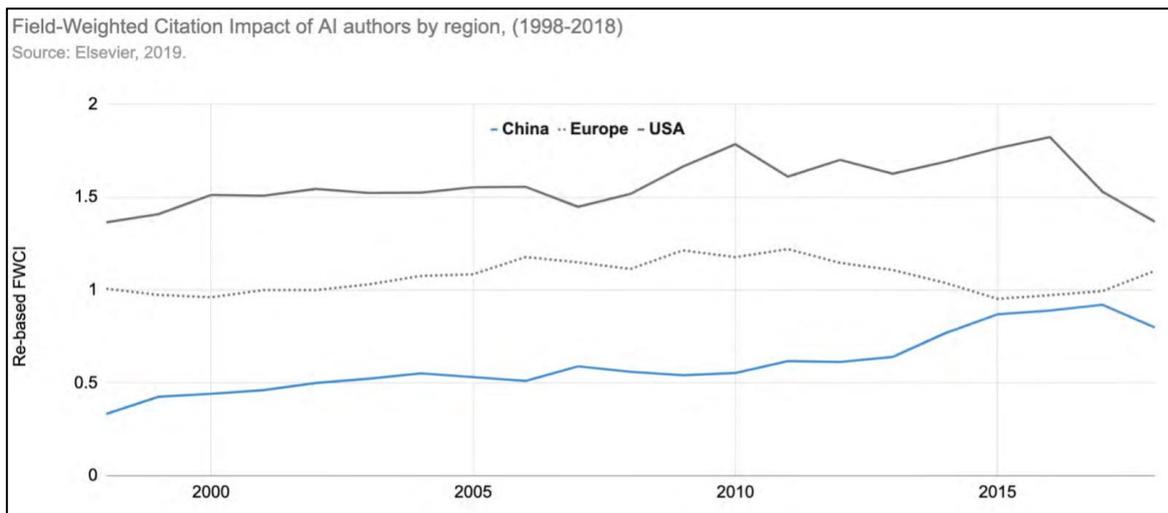


Figura 19. Impacto del citado de autores por región en Elsevier.
Recuperado de “Artificial Intelligence Index 2019”, de Stanford University (Stanford University, 2019).

Con respecto al ecosistema emprendedor, varios países y fondos de inversión están apostando por el apoyo a empresas emergentes con un componente de Inteligencia Artificial. En la Figura 20, se muestra la estimación realizada por la OECD de la inversión privada en empresas emergentes de IA al primer semestre del 2018 de las principales economías mundiales.

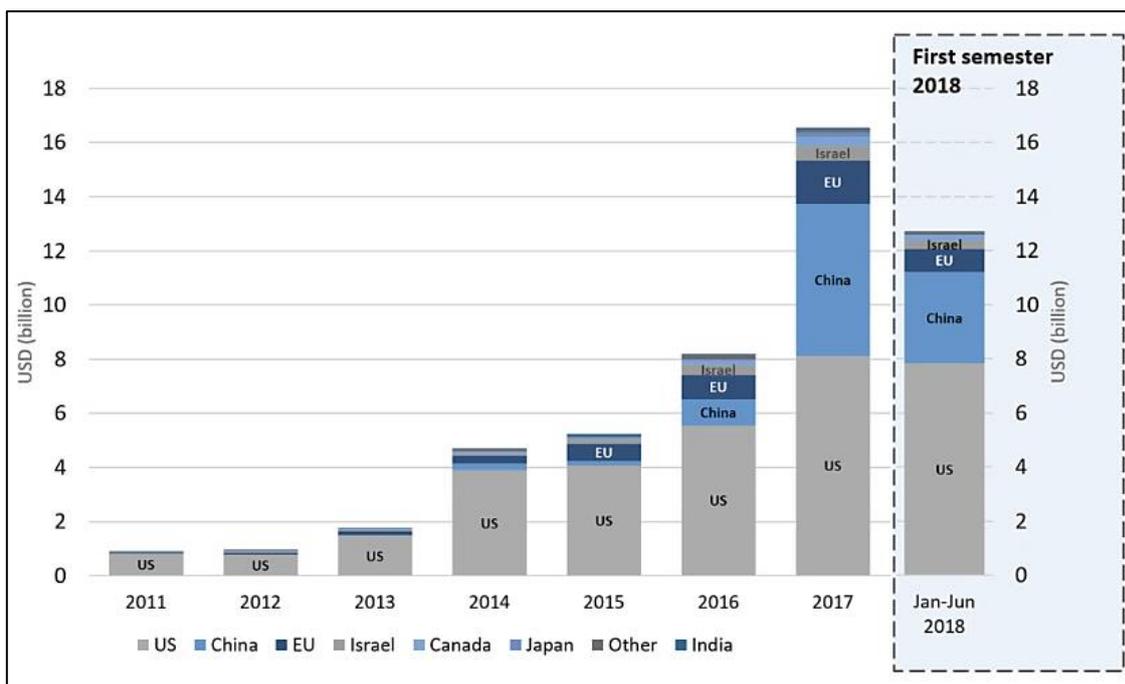


Figura 20. Estimación de la inversión en empresas emergentes de IA.
Recuperado de “Private Equity Investment in Artificial Intelligence, OECD Going Digital Policy”, de The Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), 2018, p.1, Paris.

5.3. Situación y perspectivas de la IA en el Perú

De acuerdo con las fuentes revisadas y expertos consultados, se puede decir que la IA se encuentra en una etapa intermedia de desarrollo en el Perú. Si bien se difunde y se conoce bastante su potencial entre los expertos en tecnología, este aún no es explorado totalmente en todas las industrias y dominios. Las grandes coincidencias transversales a los sectores Industria, Academia y Estado se centran en el reconocimiento de las carencias en factores habilitantes de la tecnología como son la infraestructura, la conectividad, una cultura basada en datos y el acceso a datos abiertos de calidad.

Si bien, como se mencionó anteriormente, la automatización no es lo mismo que la aplicación de IA, el empezar a adoptar estas tecnologías abre la puerta a la digitalización, la recolección de datos más fiables y por ende la posibilidad de empezar a usar IA. Adicionalmente, muchos expertos peruanos señalan la importancia de la colaboración entre estos sectores en aras del aprovechamiento de la investigación para mejora de la productividad y la innovación. En las siguientes secciones se brindan puntos de vista de expertos en cada sector, como una referencia de la situación y perspectivas de la IA en el país.

5.3.1. Industria

Según Miguel Paredes, Chief AI & Data Officer y vicepresidente ejecutivo de RIMAC Seguros y Reaseguros, en las empresas más grandes del país, como las pertenecientes a la banca, operadores de telefonía, seguros, *retail* y mineras, se usa principalmente la analítica predictiva. Recién desde el 2017, se empezó a incentivar en este tipo de empresas el uso de modelos de *machine learning* y lenguajes de programación más potentes, como Python. Los modelos de *machine learning*, entre ellos los de *deep learning*, son los que mejores resultados han mostrado al escalar soluciones desde los laboratorios de investigación a las empresas, sobre todo en data no estructurada como las imágenes, texto, audio y otro tipo de señales.

Por otro lado, Paredes mencionó que algunas empresas emergentes como Quantum Talent, Emptor, Fitness Pass, Xertica, Teckton Labs, Latin Fintech y Chazki también se encuentran utilizando IA. Con respecto a los perfiles profesionales con los que cuenta RIMAC para desarrollar IA, Paredes mencionó que son tres los que han permitido el escalamiento y uso de la IA en toda la empresa: científicos de datos (*data scientists*), ingenieros de aprendizaje automático (*machine learning engineers*) y líderes de proyectos IA (*AI Project lead*).

Con respecto a las capacidades desarrolladas, Paredes mencionó que RIMAC se ha enfocado en tres: IA conversacional (procesamiento de lenguaje natural y *chatbots*), visión IA (inspección vehicular, digitalización de documentos, etc.) e IA digital (modelos de priorización de *leads*¹⁰). Paredes también resaltó el foco de RIMAC en el valor agregado que genera la IA en comparación con el desarrollo y uso por sí mismo. Asimismo, indicó que lo más importante es obtener los datos

¹⁰ Un *lead* se refiere a un esfuerzo de contacto realizado por una organización para conseguir un cliente o consumidor.

Referencia: <https://www.beedigital.es/captacion-clientes/que-es-lead-ventas/>

ya que muchos servicios de IA se siguen tratando como materias primas en vez de procesarlos hasta que se conviertan en información útil y relevante para el negocio.

Si bien la pandemia ha afectado mucho la economía del país, cada vez más empresas entienden el valor de su transformación digital para permanecer competitivas. Por ejemplo, Microsoft muestra que nueve de cada diez pymes peruanas consideran que la tecnología es el principal factor para su reactivación económica (Microsoft. New Center Latinoamérica, 2021). Por otro lado, el porcentaje de comercio electrónico con respecto a otros años aumentó durante la cuarentena del 2020 en Perú, según BBVA Research (Carvalho, y otros, 2021). Estos hechos impulsan el procesamiento debido de los datos para luego construir plataformas de IA que contribuyan con los diferentes modelos de negocio en base a estos.

Según José Chancafe, Data & AI Sales Specialist de Microsoft, existen interesantes aplicaciones y proyectos con Inteligencia Artificial en diversos sectores, tanto en el ámbito privado como el público. Por ejemplo, en el sector Agricultura, se están utilizando técnicas de IA para la predicción de cosechas. En una aplicación implementada, se utilizan drones para sobrevolar los sembríos y se usa visión computacional y modelos cognitivos para realizar una cuantificación aproximada de las cosechas. Otras aplicaciones combinan IoT e IA para estimar valores de múltiples variables de interés para la agroindustria, como, por ejemplo, la cantidad de fertilizante que se requiere para optimizar la producción.

En el sector Pesca, también se está utilizando visión computacional para identificar la presencia de juveniles y, en función de los resultados, reducir su proporción sobre la captura total, en cumplimiento de las normas y a fin de asegurar la sostenibilidad biológica de las especies. También se utiliza IoT e IA para optimizar procesos y generar ahorros. Por ejemplo, en una implementación con la empresa Hayduk, se utiliza información de posicionamiento y desplazamiento de las embarcaciones y cardúmenes; variables ambientales, como temperaturas, vientos y corrientes, y datos de las embarcaciones, como revoluciones del motor y uso de combustible, para estimar rutas óptimas de captura y reducir costos, especialmente de combustible.

En el sector Minería y Petróleo, con la empresa Minsur en Puno, se ha implementado una solución que emplea IA para el proceso de control visual durante el tratamiento del agua utilizada en la mina San Rafael. De esta forma, la supervisión ahora es remota, automatizada y en tiempo real, generando alertas que permiten mantener los estándares de calidad (Microsoft, 2019). Por otro lado, con otra empresa se contempló un proyecto que utilizaba visión computacional para procesar imágenes en tiempo real y emitir alertas si es que, por ejemplo, los parámetros de calor superaban umbrales de seguridad. Asimismo, se estudió la posibilidad de utilizar video analítica e IoT para detectar oportunamente derrames de crudo.

En Educación, Chancafe comentó que existen soluciones que se están implementando tanto en el sector privado como el público. Por ejemplo, una vez que se ha puesto a disposición material didáctico, a través de plataformas digitales, es posible aplicar técnicas de IA para recomendar al docente cual es la ruta de aprendizaje más apropiada, según los tópicos que se están abordando o las habilidades que se quiere desarrollar en los alumnos. En las universidades, también se utilizan herramientas cognitivas para introducir más información o sugerencias de cursos complementarios, personalizados para cada alumno, lo cual se complementa con técnicas de gamificación y logro de metas (*badges*) para estimular el aprendizaje. Otras aplicaciones involucran

el uso de PLN para analizar el contenido de las clases dictadas por un profesor y evaluar si estas desarrollan el contenido del curso, o herramientas analíticas multivariable y modelos cognitivos para hacer seguimiento al rendimiento de los alumnos y brindar recomendaciones personalizadas.

En el ámbito de la Seguridad, también existen soluciones de IA, basadas en visión computacional, que buscan evitar accidentes a través de la identificación automatizada de peligros como herramientas cortantes mal ubicadas en áreas de trabajo o la carencia de equipos de protección. Asimismo, existe interés en la aplicación de herramientas de IA semántica, las cuales ingieren, analizan y visualizan datos de cualquier fuente para capacitar a las organizaciones gubernamentales y comerciales para aprovechar el valor de su ecosistema de datos (Semantic AI, 2021)

Chancafe indicó que, como en el resto del mundo, en el Perú la transformación digital se ha acelerado por la pandemia. Muchas empresas han tenido que cambiar sus modelos de negocios. En este contexto, las decisiones de innovación y uso de IA no son requeridas por las áreas de TI, sino directamente por las áreas de negocios, para obtener ventajas competitivas o reducir costos. Así, por ejemplo, ya es bastante común la utilización de chatbots para el soporte comercial. Además, las empresas, y también entidades gubernamentales, están incorporando científicos de datos para distintos procesos como logística, mercadeo, operaciones, mantenimiento (predictivo) y control. Sin embargo, destacó la importancia de data local para entrenar los modelos de IA y que realmente funcionen para la realidad nacional. Asimismo, indicó que cada vez tienen más importancia los temas asociados a la ética en IA (Microsoft, 2021), así como el uso convergente con otras tecnologías como IoT y 5G.

5.3.2. Academia

Por el lado de la Academia, según el profesor César Beltrán, coordinador del Grupo de Investigación en Inteligencia Artificial (IA-PUCP), la carrera que prepara a más profesionales en la implementación de algoritmos de IA es Ciencias de la Computación. Si bien existen otras carreras que revisan algunos conceptos de las Ciencias de la Computación (Ingeniería Informática, Ingeniería de Software e Ingeniería de Sistemas Computacionales), aún se necesitan más profesionales con conocimientos en los fundamentos de la IA. Beltrán señaló también que la cantidad de programas profesionales en Ciencias de la Computación es mínima en todo el país (seis en pregrado, cuatro en maestría y dos en doctorado en todo el Perú). Beltrán hizo énfasis en la necesidad de crear más programas en todos los niveles, además de establecer una política de formación en pensamiento computacional desde la escuela primaria, con el fin de formar a los ciudadanos del futuro que posean habilidades para la investigación e innovación en IA. Por otro lado, alentó a desarrollar IA aplicada a áreas que hacen único al país, como el aprovechamiento de los datos de lenguas nativas, cultura, historia y biodiversidad; además de fortalecer con IA las áreas estratégicas (minería, pesca, turismo, agricultura, entre otros) y promover la formación de nuevas áreas de desarrollo (industria del software, IoT, entre otros).

En el 2013, y debido al mejor y mayor apoyo a la investigación desde el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (Concytec), se observó un despegue en el número de publicaciones en estas áreas en Perú, como se muestra en la Figura 21 (Zela, y otros, 2021). Los

expertos en la Academia hacen énfasis de la necesidad de seguir incrementando el financiamiento para producir investigaciones de calidad que abran paso a instituciones peruanas a publicar en las más reconocidas conferencias del área. Con la creciente brecha en Educación, y la demanda por las habilidades técnicas y de programación, es necesario revisar los planes de estudios de universidades e institutos para que puedan atender con premura esta brecha. Existen plataformas de cursos en línea que pueden complementar la formación de estudiantes técnicos y universitarios, como los que brindan *Coursera*, *EdEX* y *Udacity*. Entre estos cursos destacan el de *Machine Learning* y la especialización de *Deep Learning*, de Andrew Ng.

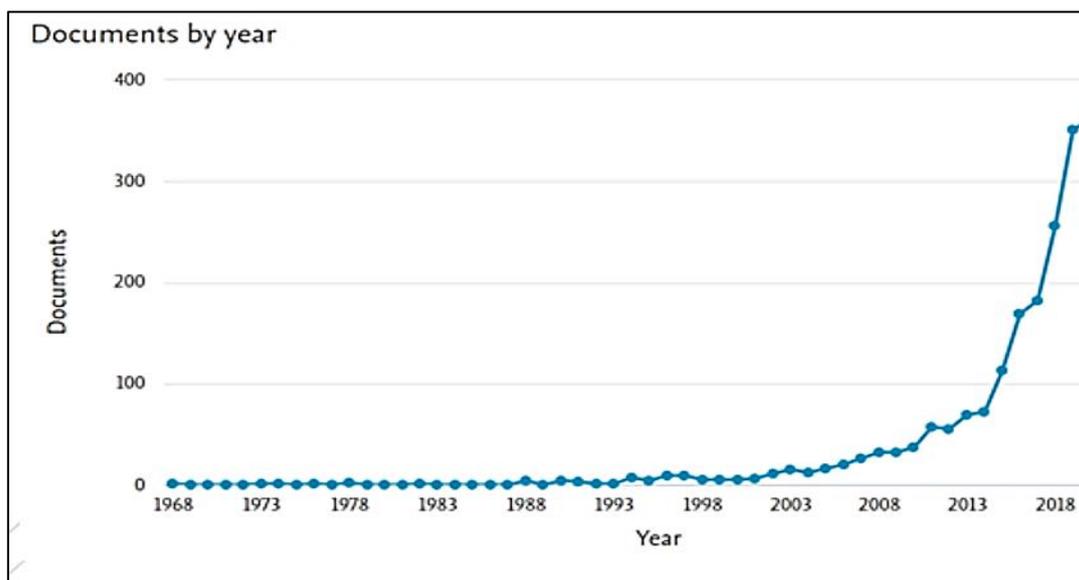


Figura 21. Número de publicaciones peruanas relacionadas a la Inteligencia Artificial.

Recuperado de “Estrategia nacional de inteligencia artificial para Perú – ENIA”, de la Presidencia del Consejo de Ministros, 2021. (Zela, y otros, 2021).

5.3.3. Estado

El Estado ha empezado la adopción y difusión de la IA, en el marco de la Política Nacional de Transformación Digital, con la puesta en consulta de la Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial en mayo del 2021. Esta estrategia contempla seis ejes: i) Formación y talento, ii) Modelo Económico, iii) Infraestructura Tecnológica, iv) Datos, v) Ética y vi) Colaboración. En líneas generales, esta estrategia busca impulsar el desarrollo de profesionales que creen y adopten la IA en sus entornos, dinamice la productividad de diferentes sectores económicos, asegure la interconectividad y transmisión de datos para un uso oportuno tomando en cuenta las dimensiones éticas que aseguren se respeten los derechos fundamentales de los ciudadanos. La estrategia también busca acercar las universidades de las distintas regiones con las que tengan una mayor trayectoria en el tema en todo el país, así como también el acercamiento a universidades e instituciones reconocidas mundialmente.

En el marco de la creación de esta estrategia, la Secretaría de Gobierno Digital realizó una encuesta sobre el uso de esta tecnología en las entidades gubernamentales. La Tabla 2 presenta las respuestas obtenidas por 454 oficinas a la pregunta “¿Estás usando Inteligencia Artificial (IA) o

Ciencia de Datos en tu institución?” Si bien las oficinas de gobiernos locales representan un mayor número de usuarios, en porcentaje, estas solo componen el 7 % de oficinas usando en IA. Son las oficinas del Poder Ejecutivo las que representan un mayor porcentaje por tipo de oficina, alcanzando un 26 %.

Un caso destacable es el de AYNÍ LAB del Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social, de la Universidad Peruana Cayetano Heredia y del Ministerio de la Producción. Se trata de una aplicación que se usa para la detección rápida y oportuna de la anemia en los niños de manera no invasiva. Consta de un sistema portátil de fácil uso y bajo costo para el diagnóstico de la anemia basado en la evaluación de las características de la conjuntiva del párpado ocular sin necesidad de que el médico esté presente. El personal de salud a cargo toma una fotografía a la conjuntiva ocular del menor y la envía a un sistema de redes neuronales que procesa la imagen para determinar el nivel de hemoglobina y con ello, la presencia o no de anemia (Mont, Pozo, Pinto, & del Campo Alcocer (C Minds), 2020).

Por otro lado, el Gobierno Regional de Cajamarca está trabajando intensamente en la Transformación Digital. Por ello, está impulsando la articulación de un ecosistema regional que involucra a distintos actores, incluyendo a otras instituciones del sector público, como el Instituto Tecnológico de la Producción (ITP) del Ministerio de la Producción, los Centros de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica (CITE) Digital y de Madera; la academia, con las Universidades Nacionales de Cajamarca y Jaén, y el sector privado, con el apoyo del Clúster Perú Digital y empresas como Huawei, Microsoft y Google.

En este marco, el Gobierno Regional está implementando diversos servicios e iniciativas en favor de la población utilizando Inteligencia Artificial. Por ejemplo, en el sector Salud, con la implementación del sistema de gestión hospitalaria *Open Clinic* y las historias clínicas digitales, se ha incorporado y entrenado un componente de IA que permite analizar estas historias, reconocer los síntomas que presenta un paciente, realizar un diagnóstico automatizado de imágenes y, con base en esta información, identificar una posible enfermedad. Este diagnóstico previo es validado posteriormente por el médico tratante. Esta innovación se está aplicando con éxito en el Hospital Simón Bolívar de la ciudad de Cajamarca y el Hospital General de la ciudad de Jaén.

Por otro lado, se está trabajando en la implementación de una IA para la gestión de atención a los pacientes del futuro Hospital Virtual de la Red Integrada de Salud de la Región Cajamarca. Esta IA implementará procesamiento de lenguaje natural, en voz y texto, para interactuar con los pacientes, identificar sus síntomas y, dependiendo de la complejidad del caso, realizar un diagnóstico previo y referir un posible tratamiento, o derivarlo a personal especializado. El propósito es brindar mayor cobertura en la atención de consultas de los pacientes y aliviar la carga del personal de salud.

En el ámbito de la seguridad, con el apoyo de Huawei y el CITE Digital, se están finalizando las pruebas para el próximo despliegue de un sistema de videovigilancia con una componente de IA para el reconocimiento facial. Este sistema se implementará como piloto en la ciudad de Jaén, con el propósito de apoyar en la lucha contra la delincuencia y reducir los actuales altos índices de criminalidad.

También se está trabajando en la construcción de capacidades. Con el apoyo de Huawei y Microsoft, se están implementando programas para dar a conocer los conceptos, aplicaciones y oportunidades de la Inteligencia Artificial. Así, se han realizado charlas abiertas y gratuitas sobre el tema en general, pero también otras más específicas (por ejemplo, en programación e IA con el lenguaje Python). Próximamente, se espera ofrecer cursos más avanzados que permitan a los participantes acceder también a una certificación.

En el nivel estratégico, el Gobierno Regional de Cajamarca está liderando la definición y el lanzamiento de una Agenda Regional de IA, tomando como referencia la Agenda Nacional y con el concurso del ecosistema regional de Transformación Digital. Se espera aprobar formalmente esta agenda vía ordenanza regional, lo cual permitirá contar con una hoja de ruta que pueda continuar siendo implementada por la siguiente administración. Entre las prioridades, se busca aprovechar la IA para facilitar procesos críticos administrativos, como la logística, el abastecimiento y la contratación de personal, pero también productivos, como el apoyo a las micro y pequeñas empresas, sobre todo en los sectores de agricultura y turismo.

Algunas iniciativas que sirvieron como preámbulo al planteamiento de la estrategia nacional fueron las Conferencias TECHSUYO2020 y Prospecta Américas, donde diversos expertos resaltaron los factores habilitantes que hasta ese momento consideraban poco desarrollados. Por un lado, mencionaron que se debe proveer de más y mejores servicios digitales a los ciudadanos que muchas veces podrían tener un componente de Inteligencia Artificial. Por ejemplo, la respuesta y guía inmediata de las consultas en líneas a través de *chatbots* o por reconocimiento de voz, y otros servicios que pueden ser alojados en la nube. Por otro lado, la Academia demanda¹¹ una mayor velocidad de Internet, centros de investigación y de datos conectados para incrementar la investigación en modelos de Inteligencia Artificial. Por último, también se señala la necesidad de mayores fondos para financiar la innovación con Inteligencia Artificial.

Tabla 2.

Número de oficinas por tipo que reportan estar usando IA o Ciencia de datos en sus instituciones

Tipo de Institución	No	Sí	Total general
Empresa del Estado	12		12
Gobierno Local	375	29	404
Gobierno Regional	28	2	30
Organismos Autónomos	7	1	8
Poder Ejecutivo	17	6	23
Poder Judicial	1		1
Programa Social	3		3
Universidad	6	1	7
Total general	449	39	488

(*) Respondieron 454 instituciones públicas

Nota. Adaptado de “Estrategia nacional de inteligencia artificial para Perú – ENIA”, de la Secretaría de Gobierno Digital-PCM, 2021, Perú.

¹¹ La base para estas demandas se puede confirmar con los puestos alcanzados por Perú en reportes como el GCI del Foro Económico Mundial y el GAIR20 (Oxford Insights, 2020). Algunas medidas interesantes del Global Competitiveness Index del Foro Económico Mundial (diferente al GCI de Huawei) para el país son la infraestructura (puesto 88 de 141), adopción de las TICs (puesto 98 de 141) y la capacidad de innovación (puesto 90 de 141) como se muestra en la Figura 22 al 2019.

Peru

65th / 141

Global Competitiveness Index 4.0 2019 edition

Rank in 2018 edition: 63rd/140

Performance Overview 2019 Key ◇ Previous edition ▲ Upper-middle-income group average □ Latin America and the Caribbean average



Figura 22. Desempeño del Perú en el índice de competitividad del Foro Económico Mundial. Recuperado de "The Global Competitiveness Report 2019", de The World Economic Forum, 2019, p.458. (Schwab, 2019)

Conclusiones y recomendaciones

La Inteligencia Artificial es una tecnología de propósito general, probablemente la más trascendental en el siglo XXI. Es parte de la actual cuarta revolución industrial, pero también es el heraldo de una siguiente era en la historia de la humanidad. En el potencial de esta tecnología está no solo multiplicar, sino elevar a la enésima potencia la capacidad humana más distintiva y transformadora, el intelecto. Por ello, a la par de tener muy presente los riesgos que tal poder conllevaría, es igualmente necesario ser conscientes de las posibilidades reales y las limitaciones presentes y previsibles.

Los países más avanzados, pero también otros países de la región están invirtiendo en esta tecnología, porque existe evidencia de grandes mejoras de productividad y soluciones innovadoras para las industrias, pero también para los servicios y vida diaria de la población. El Perú no puede quedarse atrás y, por el contrario, debe implementar medidas concretas para aprovechar esta tecnología transformadora para el desarrollo. En el caso contrario, se corre el riesgo de, una vez más, quedar en la periferia de la tecnología, la innovación, la productividad y el bienestar.

En ese sentido, se recomiendan trabajar en varios frentes: i) talento humano: formación general en capacidades básicas mínimas (alfabetización digital) y formación de especialistas nacionales; ii) inversión en infraestructura digital (redes y centros de datos), cierre de brechas con enfoque territorial; iii) impulso de una sociedad de la información y el conocimiento, partiendo de una cultura basada en los datos en toda institución para mejorar su recolección, organización y uso; iv) apertura de los datos de las entidades para mayor transparencia y permitir que otras instituciones o privados puedan crear valor a través de ello; v) generación de ecosistemas empresariales tecnológicos que contribuyan al desarrollo y aprovechamiento local de estas tecnologías; vi) afianzar el marco legal de propiedad intelectual y privacidad de datos; vii) atender las implicancias éticas y sociales, y viii) la comunicación y divulgación del potencial de su uso y mal uso.

Es imprescindible que al momento de utilizar la IA se consideren aspectos éticos, no sólo optimizar el beneficio económico sino también el beneficio social. Así mismo, la normativa que se establezca sobre el desarrollo de la IA, principalmente para evaluar temas de privacidad y sesgos, debe ser evaluada en conjunto con especialistas de distintas disciplinas.

Es importante que las aplicaciones de la IA sean construidas desde la diversidad y la inclusión, especialmente para la reducción de brechas sociales y atención de necesidades de grupos minoritarios como pueblos originarios y personas en situación de vulnerabilidad. Este enfoque podría incluso contribuir a la identidad de una estrategia nacional de Inteligencia Artificial con foco en la cultura, historia y biodiversidad del Perú.

La utilización de una gran cantidad de datos personales y análisis de la interacción que los usuarios tienen con diferentes plataformas puede ayudar a la personalización de la experiencia y recomendación de más y mejores servicios. Sin embargo, se debe tener cuidado para no traspasar la delgada línea que divide la personalización de la manipulación y considerar los temas éticos y legales asociados a la privacidad y la seguridad de la información.

Las grandes empresas tecnológicas proveen a muchas empresas de servicios de reconocimiento de voz y visión computacional. Sin embargo, algunos de estos servicios podrían brindar resultados

no tan buenos cuando los datos de entrada corresponden, por ejemplo, a formas de hablar o de vestir en regiones que no participaron de los datos de entrenamiento. En otras palabras, los servicios de estas empresas podrían estar basados en datos de otros lugares del país o el mundo y funcionar deficientemente con datos peruanos. Por ese motivo, se debe evaluar cuándo puede convenir adquirir herramientas de IA empaquetadas y cuándo conviene el desarrollo nacional o al menos la construcción de un *dataset* con datos nacionales. Por ejemplo, en el caso de reconocimiento de voz, se debe tomar en cuenta una variedad de rangos de voz por localidad, edad y género, además de considerar las lenguas originarias, para poder realmente reconocer lo que dice la voz de los peruanos y peruanas.

Referencias

- AAAI. (2021). *Welcome to the Association for the Advancement of Artificial Intelligence*. Retrieved from <https://www.aaai.org/>
- Acemoglu, D., & Robinson, J. A. (2014). *Por qué fracasan los países*. Barcelona: Booket.
- Aggarwal, C. C. (2018). *Neural Networks and Deep Learning. A Textbook*. Cham: Springer.
- Albrieu, R., Rapetti, M., Brest, C., Larroulet, P., & Sorrentino, A. (2018, octubre). *Inteligencia artificial y crecimiento económico. Oportunidades y desafíos para Perú*. Retrieved from New. Microsoft: <https://news.microsoft.com/uploads/prod/sites/41/2018/11/IA-y-Crecimiento-PERU.pdf>
- Algorithm Watch. (2021). *AI Ethics Guidelines Global Inventory*. Retrieved from <https://inventory.algorithmwatch.org/>
- Algorithm Watch. (2021). *AI Ethics Guidelines Global Inventory*. Retrieved from <https://inventory.algorithmwatch.org/>
- Amodei, D., Hernandez, D., Sastry, G., Clark, J., Brockman, G., & Sutskever, I. (2018). *AI and Compute*. Retrieved from AI and Compute: <https://openai.com/blog/ai-and-compute/>
- Angwin, J., Larson, J., Mattu, S., & Kirchner, L. (2016). *Machine Bias*. Retrieved from Machine Bias: <https://www.propublica.org/article/machine-bias-risk-assessments-in-criminal-sentencing>
- Azuara Herrera, O., Pagés, C., Rucci, N., Ospino, C., Torres, J., & González, S. (2019, 4). *BID*. doi:<http://dx.doi.org/10.18235/0001677>
- Azulay, D. (2019, marzo 18). *When Will We Reach the Singularity? – A Timeline Consensus from AI Researchers*. Retrieved from Emerj: <https://emerj.com/ai-future-outlook/when-will-we-reach-the-singularity-a-timeline-consensus-from-ai-researchers/>
- Barragán, A. (2020, setiembre 1). *¿Qué es una red neuronal artificial?* Retrieved from Una pizca de ciencia: https://cebebelgica.es/es_ES/blog/10/que-es-una-red-neuronal-artificial.html
- Bejarano, G., Kulkarni, A., Raushan, R., Seetharam, A., & Ramesh, A. (2019). SWaP: Probabilistic Graphical and Deep Learning Models for Water Consumption Prediction. *Proceedings of the 6th ACM International Conference on Systems for Energy-Efficient Buildings, Cities, and Transportation*, (pp. 233–242).
- Benedikt, C., & Osborne, M. (2017). *The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?* (Vol. 114). (J. & Books, Ed.) doi:<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.019>
- Bergstein, B. (2020, febrero 19). *What AI still can't do*. Retrieved from MIT Technology Review: <https://www.technologyreview.com/2020/02/19/868178/what-ai-still-cant-do/>

- Bloom, N., Hassan, T. A., Kalyani, A., Lerner, J., & Tahoun, A. (2021, julio). *The Diffusion of Disruptive Technologies*. Retrieved from <https://www.nber.org/papers/w28999>
- Borukhovich, E. (2015). *How will artificial intelligence change healthcare?* Retrieved from How will artificial intelligence change healthcare?: https://www.weforum.org/agenda/2015/10/how-will-artificial-intelligence-change-healthcare?utm_content=buffere601b&utm_medium=social&utm_source=twitter.com&utm_campaign=buffer
- Carvalho, V. M., García, J. R., Hansen, S., Ortiz, A., Rodrigo, T., Mora, J. V., & Ruiz, P. (2021). *Tracking the COVID-19 Crisis with High-Resolution Transaction Data*. Retrieved from Tracking the COVID-19 Crisis with High-Resolution Transaction Data: <https://www.bbvaesearch.com/en/publicaciones/tracking-the-covid-19-crisis-with-high-resolution-transaction-data/>
- Chu, J. (2020). *Artificial intelligence model detects asymptomatic Covid-19 infections through cellphone-recorded coughs*. Retrieved from Artificial intelligence model detects asymptomatic Covid-19 infections through cellphone-recorded coughs: <https://news.mit.edu/2020/covid-19-cough-cellphone-detection-1029>
- Chui, M., Harrysson, M., Manyika, J., Roberts, R., Chung, R., Nel, P., & van Heteren, A. (2018). *Applying artificial intelligence for social good*. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/applying-artificial-intelligence-for-social-good>
- Comisión Europea. (2021). *Europe fit for the Digital Age: Commission proposes new rules and actions for excellence and trust in Artificial Intelligence*. Bruselas. Retrieved from https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_1682
- Conferencia Prospecta Américas . (2019). Retrieved from <https://prospectaamericas.org/7-2/>
- Davis, A. (2020, octubre 15). *Artificial general intelligence: Are we close, and does it even make sense to try?* Retrieved from MIT Technology Review: <https://www.technologyreview.com/2020/10/15/1010461/artificial-general-intelligence-robots-ai-agi-deepmind-google-openai/>
- De Frutos, A. M. (2020). *Business Insider*. Retrieved from <https://www.businessinsider.es/ia-clave-turismo-tenga-exito-google-facebook-566299>
- DeepMind. (2020, marzo 31). *Agent57: Outperforming the human Atari benchmark*. Retrieved from <https://deepmind.com/blog/article/Agent57-Outperforming-the-human-Atari-benchmark>
- DeepMind. (2020). *AlphaGo is the first computer program to defeat a professional human Go player, the first to defeat a Go world champion, and is arguably the strongest Go player in history*. Retrieved from <https://deepmind.com/research/case-studies/alphago-the-story-so-far>

- Deng, J., Dong, W., Socher, R., Li, L.-J., Li, K., & Fei-Fei, L. (2009). ImageNet: A large-scale hierarchical image database. *2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 248-255. doi:doi: 10.1109/CVPR.2009.5206848
- Department of International Cooperation Ministry of Science and Technology, P.R.China. (2017, setiembre 15). *China Science and Technology Newsletter 17*. Retrieved from <http://fi.china-embassy.org/eng/kxjs/P020171025789108009001.pdf>
- Dutton, T. (2018). *An Overview of National AI Strategies*. Retrieved from An Overview of National AI Strategies: <https://medium.com/politics-ai/an-overview-of-national-ai-strategies-2a70ec6edfd>
- El País. (2018, octubre 11). *Amazon prescinde de una inteligencia artificial de reclutamiento por discriminar a las mujeres*. Retrieved from https://elpais.com/tecnologia/2018/10/11/actualidad/1539278884_487716.html
- EmpatIA Lab. (2020). *EmpatIA Lab*. Retrieved from <https://empatialab.org/>
- Energías renovables. (2020, febrero 27). *Inteligencia artificial para mantener al 100% la producción eólica y optimizar las inversiones*. Retrieved from <https://www.energias-renovables.com/eolica/inteligencia-artificial-para-mantener-al-100-la-20200227>
- Entrevista PWC Anand RAO. Global & US Artificial Intelligence Data & Analytics Leader. PwC EE.UU. (2019, 6). *Advance. Una revista de PwC Perú*, 1, 18–21. Retrieved from <https://www.pwc.pe/es/assets/document/Advance/PwC-Revista-Advance-1.pdf>
- Evans, R., & Gao, J. (2016). *DeepMind AI Reduces Google Data Centre Cooling Bill by 40%*. Retrieved from <https://deepmind.com/blog/article/deepmind-ai-reduces-google-data-centre-cooling-bill-40>
- Fatima, S., Desouza, K., & Dawson, G. (2020). *How different countries view artificial intelligence*. Retrieved from <https://www.brookings.edu/research/how-different-countries-view-artificial-intelligence/>
- Fei, L., Johnson, J., & Yeung, S. (2018). *Standord Edu*. Retrieved from http://cs231n.stanford.edu/slides/2018/cs231n_2018_lecture11.pdf
- Flasiński, M. (2016). History of Artificial Intelligence. In *Introduction to Artificial Intelligence*. Springer International Publishing. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-319-40022-8_1
- Fourtané, S. (2020). *KrattAI: Estonia's National Artificial Intelligence Strategy*. Retrieved from KrattAI: Estonia's National Artificial Intelligence Strategy: <https://interestingengineering.com/krattai-estonias-national-artificial-intelligence-strategy>
- Fourtané, S. (2020). *KrattAI: Estonia's National Artificial Intelligence Strategy*. Retrieved from <https://interestingengineering.com/krattai-estonias-national-artificial-intelligence-strategy>

- Fraunhofer-IAIS. (2019). *Trustworthy use of. Priorities from philosophical, ethical, legal and technological*. Retrieved from https://www.iais.fraunhofer.de/content/dam/iais/KINRW/Whitepaper_Thrustworthy_AI.pdf
- Gardner, H. (2011). *Frame of mind: The theory of multiple intelligence*. Basic Books.
- Gottfredson, L. (1997). Mainstream science on intelligence: An editorial with 52 signatories, history, and bibliography. *Intelligence*, 24(1), 13-23.
- Griffiths, S. (2020). *Why your internet habits are not as clean as you think*. Retrieved from Why your internet habits are not as clean as you think: <https://www.bbc.com/future/article/20200305-why-your-internet-habits-are-not-as-clean-as-you-think>
- Gro Intelligence. (2021). *Gro Is the Story of What on Earth Is Going On*. Retrieved from <https://gro-intelligence.com/>
- Hannun, A., Rajpurkar, P., Haghpanahi, M., Tison, G., Bourn, C., Turakhia, M., & Ng, A. (2019, 1). Cardiologist-level arrhythmia detection and classification in ambulatory electrocardiograms using a deep neural network. *Nature Medicine*, 25. doi:10.1038/s41591-018-0268-3
- Hao. (2021). *How Facebook got addicted to spreading misinformation*. Retrieved from How Facebook got addicted to spreading misinformation: <https://www.technologyreview.com/2021/03/11/1020600/facebook-responsible-ai-misinformation/>
- Hao, K. (2020). *AI pioneer Geoff Hinton: "Deep learning is going to be able to do everything*. Retrieved from AI pioneer Geoff Hinton: "Deep learning is going to be able to do everything: <https://www.technologyreview.com/2020/11/03/1011616/ai-godfather-geoffrey-hinton-deep-learning-will-do-everything/>
- Heaven, W. (2020). *Als that read sentences are now catching coronavirus mutations*. Retrieved from <https://www.technologyreview.com/2020/04/27/1000658/google-medical-ai-accurate-lab-real-life-clinic-covid-diabetes-retina-disease/>
- Heaven, W. D. (2021). Retrieved from https://www.technologyreview.com/2021/01/14/1016162/ai-language-nlp-coronavirus-hiv-flu-mutations-antinbodies-immune-vaccines/?truid=887c09275852319911ec968e1de67603&utm_source=weekend_reads&utm_medium=email&utm_campaign=weekend_reads.unpaid.engagement&utm_content=02.27.non-subs&mc_cid=5ab8605a07&mc_eid=2e1a03c93a
- HoloniQ. (2020). *The 2020 AI Strategy Landscape: 50 National Artificial Intelligence strategies shaping the future of humanity*. Retrieved from <https://www.holoniq.com/notes/50-national-ai-strategies-the-2020-ai-strategy-landscape/>

- Huawei. (2020). *Shaping the New Normal with Intelligent Connectivity*. Retrieved from https://www.huawei.com/minisite/gci/assets/files/gci_2020_whitepaper_en.pdf?v=20201217v2
- Huawei. (2020). *Shaping the New Normal with Intelligent Connectivity. Mapping your transformation into a digital economy with GCI 2020*. Retrieved from *Shaping the New Normal with Intelligent Connectivity. Mapping your transformation into a digital economy with GCI 2020*: <https://www.huawei.com/minisite/gci/en/>
- IA, O. (2016). *Google prueba con éxito su tecnología de IA para diagnosticar la retinopatía diabética*. Retrieved from <https://observatorio-ia.com/google-ia-para-diagnosticar-la-retinopatia-diabetica>
- IBM. (2011). *IBM100 Icons of Progress*. Retrieved from Deep Blue: <https://www.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/deepblue/>
- IBM. (2020, agosto 31). *Strong AI*. Retrieved from https://www.ibm.com/cloud/learn/strong-ai?mhsrc=ibmsearch_a&mhq=weak%20ai#toc-strong-ai--YaLcx8oG
- Instituto de Ingenieros de Minas del Perú*. (2021). Retrieved from <https://iimp.org.pe/asociados/inteligencia-artificial-aborda-uno-de-los-problemas-mas-antiguos-en-mineria>
- Janakiram MSV. (2018). *Forbes*. Retrieved from <https://www.forbes.com/sites/janakirammsv/2018/05/27/here-are-three-factors-that-accelerate-the-rise-of-artificial-intelligence/?sh=66bcc91aadd9>.
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. New York: Farrar, Straus and Giroux. Retrieved from https://www.amazon.de/Thinking-Fast-Slow-Daniel-Kahneman/dp/0374275637/ref=wl_it_dp_o_pdT1_nS_nC?ie=UTF8&colid=151193SNGKJT9&coliid=I3OCESLZCVDFL7
- Kendall, J., Asare, I. N., Shearer, E., Stirling, R., & Westgarth, T. (2020). *What Makes a Good AI Strategy?* Retrieved from *What Makes a Good AI Strategy?*: <https://www.oxfordinsights.com/insights/whatmakesagoodaistrategy>
- Klein, A. (2020). *Three Reasons to Be Skeptical of Artificial Intelligence in Schools*. Retrieved from *Three Reasons to Be Skeptical of Artificial Intelligence in Schools*: <https://www.edweek.org/technology/three-reasons-to-be-skeptical-of-artificial-intelligence-in-schools/2020/02>
- Kourantidou, M. (2019). *Artificial intelligence makes fishing more sustainable by tracking illegal activity*. Retrieved from *Artificial intelligence makes fishing more sustainable by tracking illegal activity*: <https://theconversation.com/artificial-intelligence-makes-fishing-more-sustainable-by-tracking-illegal-activity-115883>
- Kubota, T. (2019). *Stanford computer scientists develop an algorithm that diagnoses heart arrhythmias with cardiologist-level accuracy*. Retrieved from *Stanford computer scientists develop an algorithm that diagnoses heart arrhythmias with cardiologist-level*

accuracy: <https://news.stanford.edu/2017/07/06/algorithm-diagnoses-heart-arrhythmias-cardiologist-level-accuracy/>

Kurzweil, R. (2005). *Singularity is Near*. Viking.

Lee, R. S. (2020). A Brief History of AI. In *Artificial Intelligence in Daily Life* (pp. 23-28). Singapur: Springer.

Lee, R. S. (2020). Chaotic Neural Networks in Quantum Finance. In *Quantum Finance. Intelligent Forecast and Trading Systems* (p. 252). Singapur: Springer.

Lee, R. S. (2020). Part II. AI Technology. In *Artificial Intelligence in Daily Life* (pp. 40-241). Singapur: Springer.

Lex Clips. (2019, diciembre 12). *Yoshua Bengio: From System 1 Deep Learning to System 2 Deep Learning (NeurIPS 2019)*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=T3sxeTgT4qc>

Li, F.-F. (2019, marzo 16). *Una inteligencia artificial buena para la gente*. Retrieved from Una inteligencia artificial buena para la gente: <https://elcomercio.pe/opinion/ia-buena-gente-fei-fei-li-noticia-617231-noticia/>

Lizasoain, E. G. (2019). *Insights de movilidad: la clave para la mejor planificación urbana*. Retrieved from Insights de movilidad: la clave para la mejor planificación urbana: <https://blogs.iadb.org/transporte/es/insights-de-movilidad-la-clave-para-la-mejor-planificacion-urbana/>

López C, M., & Twin, I. (2019). *How Artificial Intelligence is Making Transport*. Retrieved from <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/7c21eaf5-7d18-43b7-bce1-864e3e42de2b/EMCompass-Note-75-AI-making-transport-safer-in-Emerging-Markets.pdf?MOD=AJPERES&CVID=mV7VCeN>

Marr, B. (2017). *IoT And Big Data At Caterpillar: How Predictive Maintenance Saves Millions Of Dollars*. Retrieved from IoT And Big Data At Caterpillar: How Predictive Maintenance Saves Millions Of Dollars: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2017/02/07/iot-and-big-data-at-caterpillar-how-predictive-maintenance-saves-millions-of-dollars/?sh=368907117240>

Marr, B. (2020). *The 4th Industrial Revolution: How Mining Companies Are Using AI, Machine Learning And Robots*. Retrieved from <https://bernardmarr.com/default.asp?contentID=1559>

McCulloch, W., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5, 115-133.

Microsoft. (2019, febrero 7). *Aumentando los estándares de sostenibilidad con Microsoft AI y Azure Video Analytics*. Retrieved from <https://customers.microsoft.com/es-es/story/minsur-artificial-intelligence-azure-cognitive-services-machine-learning-mining-oil-arkano-peru-es>

- Microsoft. (2021, octubre). *Responsible AI*. Retrieved from <https://www.microsoft.com/en-us/ai/responsible-ai?activetab=pivot1:primaryr6>
- Microsoft. New Center Latinoamerica. (2021). *Microsoft. New Center Latinoamerica*. Retrieved from <https://news.microsoft.com/es-xl/un-ano-de-pandemia-9-de-10-pymes-peruanas-considera-que-la-tecnologia-es-el-principal-factor-para-su-reactivacion-economica/>
- Mildenhall, B., Srinivasan, P. P., Tancik, M., Barron, J. T., Ramamoorthi, R., & Ng, R. (2020). Nerf: Representing scenes as neural radiance fields for view synthesis. *European Conference on Computer Vision*, (pp. 405–421).
- Miner, A. S., Laranjo, L., & Kocaballi, A. B. (2020). Chatbots in the fight against the COVID-19 pandemic. *NPJ digital medicine*, 3, 1–4.
- Ministerio de Educación. (2017). *En el Perú hay 47 lenguas originarias que son habladas por cuatro millones de personas*. Retrieved from <http://www.minedu.gob.pe/n/noticia.php?id=42914>
- Minsur, C. (2019). *Inteligencia artificial en el monitoreo de calidad de agua*. Retrieved from *Inteligencia artificial en el monitoreo de calidad de agua*: <https://www.youtube.com/watch?v=wBBMLrICOfg>
- MIT Technology Review. (2021, febrero 24). *10 Breakthrough Technologies 2021*. Retrieved from <https://www.technologyreview.com/2021/02/24/1014369/10-breakthrough-technologies-2021/#gpt3>
- Mitchell, T. M. (1997). *Machine Learning*. McGraw-Hill.
- Mont, C. G., Pozo, C. M., Pinto, C. M., & del Campo Alcocer (C Minds), A. V. (2020). *La Inteligencia Artificial al servicio del Bien Social en América Latina y el Caribe: panorámica regional e instantánea de doce países*. Retrieved from <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/La-inteligencia-artificial-al-servicio-del-bien-social-en-America-Latina-y-el-Caribe-Panor%C3%A1mica-regional-e-instant%C3%A1neas-de-doce-paises.pdf>
- Moreno Luna, H. (2020, octubre 10). *Aplicaciones, drones e inteligencia artificial para el cultivo de la palta en Perú*. Retrieved from Canal TI: <https://canalti.pe/aplicaciones-drones-e-inteligencia-artificial-para-el-cultivo-de-la-palta-en-peru/>
- Mwiti, D. (2021). *10 Real-Life Applications of Reinforcement Learning*. Retrieved from *10 Real-Life Applications of Reinforcement Learning*: <https://www.kdnuggets.com/2021/04/10-real-life-applications-reinforcement-learning.html>
- National Artificial Intelligence Initiative Office. (2021). *Legislation and Executive Orders*. Retrieved from <https://www.ai.gov/legislation-and-executive-orders/>
- National Program for Artificial Intelligence. (2020). *AI Guide*. Retrieved from *AI Guide*: https://ai.gov.ae/wp-content/uploads/2020/02/AIGuide_EN_v1-online.pdf

- OECD. (2021). *Recommendation of the Council on Artificial Intelligence*. Retrieved from Recommendation of the Council on Artificial Intelligence: <https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0449>
- OpenAI. (2021). *OpenAI. About*. Retrieved from <https://openai.com/about/>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2021). *OECD AI Policy Observatory*. Retrieved from National strategies, agendas and plans: https://www.oecd.ai/dashboards/policy-instruments/National_strategies_agendas_and_plans
- Ovanessoff, A., & Plastino, E. (2017). *Cómo la inteligencia artificial puede generar crecimiento en Sudamérica*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/316172894_Como_la_inteligencia_artificial_puede_generar_crecimiento_en_Sudamerica
- Oxford Insights. (2020). *Government AI Readiness Index 2020*. Retrieved from Government AI Readiness Index 2020: <https://www.oxfordinsights.com/government-ai-readiness-index-2020>
- Pang-Ning, T., Steinbach, M., Karpatane, A., & Kumar, V. (2019). *Introduction to data mining* (Segunda ed.). Nueva York: Pearson.
- Pastor, J. (2020). *Xacata*. Retrieved from <https://www.xataka.com/robotica-e-ia/cuando-nota-no-te-pone-profesor-sino-algoritmo-caos-estudiantes-reino-unido>
- Pérez, E. (2020). *NeRF: esta red neuronal recrea monumentos en gráficos 3D a partir de imágenes publicadas en internet por turistas y usuarios*. Retrieved from NeRF: esta red neuronal recrea monumentos en gráficos 3D a partir de imágenes publicadas en internet por turistas y usuarios: <https://www.xataka.com/robotica-e-ia/nerf-esta-red-neuronal-recrea-monumentos-graficos-3d-a-partir-imagenes-publicadas-internet-turistas-usuarios>
- Rao, D. A., & Verweij, G. (2017). Retrieved from <https://www.pwc.com/gx/en/issues/analytics/assets/pwc-ai-analysis-sizing-the-prize-report.pdf>
- Ratka, S., Boshell, F., & Anisie, A. (2020). *Unleashing the power of advanced weather forecasting with artificial intelligence*. Retrieved from Unleashing the power of advanced weather forecasting with artificial intelligence: <https://energycentral.com/c/iu/unleashing-power-advanced-weather-forecasting-artificial-intelligence>
- Rawlinson, K. (2015, enero 29). *Microsoft's Bill Gates insists AI is a threat*. Retrieved from BBC News: <https://www.bbc.com/news/31047780>
- Redacción APD. (2020). *Aplicaciones de la inteligencia artificial en el turismo*. Retrieved from Asociación para el Progreso de la Dirección-APD: <https://www.apd.es/inteligencia-artificial-turismo-aplicaciones/>

- Revista Agroexportaciones. (2021). Retrieved from <https://agroexportaciones.com/2021/02/03/un-riego-inteligente-permite-ahorrar-hasta-el-30-de-agua-a-los-agricultores/>
- Revista Energiminas. (2019). *Revista Energiminas*. Retrieved from <https://energiminas.com/minsur-opta-por-la-inteligencia-artificial-para-el-tratamiento-de-aguas-en-san-rafael/>
- Reynolds, M. (2016). *Welcome to E-stonia, the world's most digitally advanced society*. Retrieved from Welcome to E-stonia, the world's most digitally advanced society: <https://www.wired.co.uk/article/digital-estonia>
- Ribeiro, M. T., Singh, S., & Guestrin, C. (2016). "Why Should I Trust You?": Explaining the Predictions of Any Classifier. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery.
- Riobo, A., Márquez, J. M., & Calatayud, A. (2020). *Distancia2: inteligencia artificial para una movilidad más segura en época de COVID*. Retrieved from Distancia2: inteligencia artificial para una movilidad más segura en época de COVID: <https://blogs.iadb.org/transporte/es/distancia2-inteligencia-artificial-para-una-movilidad-mas-segura-en-epoca-de-covid/>
- Ripani, L., Kugler, A., Soler, N., Kugler, M., & Rodrigo, R. (2020, 12). *BID*. doi:<http://dx.doi.org/10.18235/0002960>
- Rolnick, D., Donti, P. L., Kaack, L. H., Kochanski, K., Lacoste, A., Sankaran, K., . . . others. (2019). Tackling climate change with machine learning. *arXiv preprint arXiv:1906.05433*.
- Rosenberg, L. (2017, setiembre 7). *New Hope for humans in AI world*. Retrieved from TEDx Talks: https://www.youtube.com/watch?v=Eu-RyZt_Uas
- Rouhiainen, L. (2019). *The Machines Are Learning, and So Are the Students*. Retrieved from The Machines Are Learning, and So Are the Students: <https://www.nytimes.com/2019/12/18/education/artificial-intelligence-tutors-teachers.html>
- Russell, S. J., & Norvig, P. (2009). *Artificial Intelligence: a modern approach* (3 ed.). Pearson.
- Santos, A. (2018, marzo 15). *The Conversation*. Retrieved from Stephen Hawking warned about the perils of artificial intelligence – yet AI gave him a voice : <https://theconversation.com/stephen-hawking-warned-about-the-perils-of-artificial-intelligence-yet-ai-gave-him-a-voice-93416>
- Schults, H. (2017). *Step Inside the Silicon Valley of Agriculture*. Retrieved from Step Inside the Silicon Valley of Agriculture: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/netherlands-agriculture-food-technology-innovation>
- Schwab, K. (2019). *World Economic Forum*. Retrieved from http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf

- Seenig potential*. (2016). Retrieved from Seenig potential:
https://about.google/intl/ALL_us/stories/seeingpotential/
- Semantic AI. (2021, octubre). *CORTEX Enterprise Intelligence Platform*. Retrieved from
<https://www.semantic-ai.com/cortexeip>
- Shailaja, N. (2020). *Successful AI Examples in Higher Education That Can Inspire Our Future*. Retrieved from <https://edtechmagazine.com/higher/article/2020/01/successful-ai-examples-higher-education-can-inspire-our-future>
- Shapiro, D. (2019). *Can Artificial Intelligence “Think”?* Retrieved from Can Artificial Intelligence “Think”?:
<https://www.forbes.com/sites/danielshapiro1/2019/10/23/can-artificial-intelligence-think/?sh=2af0a08f2d7c>
- Shed, S. (2020, mayo 13). *Elon Musk has a complex relationship with the A.I. community*. Retrieved from CNBC:
<https://www.cnn.com/2020/05/13/elon-musk-has-a-complex-relationship-with-the-ai-community.html>
- Siemens. (2020). *Ciudades del futuro*. Retrieved from Siemens:
<https://ciudadesdelfuturo.es/como-puede-la-inteligencia-artificial-mejorar-la-calidad-del-aire.php>
- Simkoff, M., & Mahdavi, A. (2019). *AI Doesn’t Actually Exist Yet*. Retrieved from AI Doesn’t Actually Exist Yet:
<https://blogs.scientificamerican.com/observations/ai-doesnt-actually-exist-yet/>
- Smith, C. S. (2019). *How AI and Data Could Personalize Higher Education*. Retrieved from How AI and Data Could Personalize Higher Education:
<https://hbr.org/2019/10/how-ai-and-data-could-personalize-higher-education>
- Sortino, J. (2020). *The Explorer. Green and sustainable solutions from Norway*. Retrieved from
<https://www.theexplorer.no/stories/technology/this-is-how-norway-puts-artificial-intelligence-to-use/>
- Stanford. (2020, febrero 20). *The Chinese Room Argument*. Retrieved from Stanford Encyclopedia of Philosophy:
<https://plato.stanford.edu/entries/chinese-room/>
- Stanford University. (2019). *Artificial Intelligence Index 2019*. Retrieved from
https://hai.stanford.edu/sites/default/files/ai_index_2019_report.pdf
- Stanford University. (2021). *Stanford University*. Retrieved from https://aiindex.stanford.edu/wp-content/uploads/2021/03/2021-AI-Index-Report_Master.pdf
- StartCounter GlobalStats. (2021). *Search Engine Market Share Worldwide*. Retrieved from Search Engine Market Share Worldwide:
<https://gs.statcounter.com/search-engine-market-share>
- Statt, N. (2019, octubre 30). *DeepMind’s StarCraft 2 AI is now better than 99.8 percent of all human players*. Retrieved from The Verge:

- <https://www.theverge.com/2019/10/30/20939147/deepmind-google-alphastar-starcraft-2-research-grandmaster-level>
- Statt, N. (2019, abril 13). *OpenAI's Dota 2 AI steamrolls world champion e-sports team with back-to-back victories*. Retrieved from The Verge:
<https://www.theverge.com/2019/4/13/18309459/openai-five-dota-2-finals-ai-bot-competition-og-e-sports-the-international-champion>
- Stone, T. (2020). *Traffic Technology Today*. Retrieved from
<https://www.trafficechnologytoday.com/features/white-paper-how-ai-and-iot-can-reshape-public-transit-in-the-covid-era.html>
- Strubell, E., & Ganesh, A. (2019). *Arxiv*. (C. University, Editor) Retrieved from
<https://arxiv.org/pdf/1906.02243.pdf>
- Suran, S., Wishwajeet, P., & Dirk, D. (2020). *Frameworks for Collective Intelligence: A Systematic Literature Review*. doi:<https://doi.org/10.1145/3368986>
- TechRepublic. (2013, setiembre 9). *IBM Watson: The inside story of how the Jeopardy-winning supercomputer was born, and what it wants to do next*. Retrieved from
<https://www.techrepublic.com/article/ibm-watson-the-inside-story-of-how-the-jeopardy-winning-supercomputer-was-born-and-what-it-wants-to-do-next/>
- Tecnología Minera. (2020). *Tecnología Minera*. Retrieved from
<https://tecnologiaminer.com/actualidad/presentan-nuevas-innovaciones-en-inteligencia-artificial-para-mineria-1560525915>
- Tecnología minera. (2021). *Deep Data: análisis eficiente de datos*. 15. Retrieved from
<https://tecnologiaminer.com/actualidad/presentan-nuevas-innovaciones-en-inteligencia-artificial-para-mineria-1560525915>
- Tencent Research Institute. (2021). *Artificial Intelligence: a National Strategic Initiative*. Singapur: Palgrave, Macmillan.
- The German Federal Government. (2018). *Artificial Intelligence Strategy*. Retrieved from
<https://www.ki-strategie-deutschland.de/home.html>
- The Wall Street Journal. (2019). *The Wall Street Journal*. Retrieved from
<https://www.wsj.com/articles/chinas-efforts-to-lead-the-way-in-ai-start-in-its-classrooms-11571958181>
- Toews, R. (2020). *Deep Learning's Carbon Emissions Problem*. Retrieved from *Deep Learning's Carbon Emissions Problem*: <https://www.forbes.com/sites/robtoews/2020/06/17/deep-learning-climate-change-problem/?sh=7665c9036b43>
- Turing, A. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, LIX(236), 433-460.
- UAE. (2020). *Independent High-Level expert group on artificial intelligence set up by the European Commission*. Retrieved from <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/assessment-list-trustworthy-artificial-intelligence-altai-self-assessment>

UMITRON. (2019). *UMITRON has developed a new smart feeding system called "UMITRON CELL" and has installed the first units at farm sites in Ainan City, Ehime, Japan.* Retrieved from <https://pr-en.umitron.com/post/182279007121/umitron-cell-launch>

Universidad de Ingeniería y Tecnología-UTEC. (2020). Retrieved from [https://www.utec.edu.pe/noticias/conferencia-internacional-acerca-de-computing-curricula-2020-se-desarrollo-en-utec#:~:text=Computing%20Curricula%202020%20\(CC2020\)%20es,Information%20Systems%2C%20Information%20Technology%2C%20Software](https://www.utec.edu.pe/noticias/conferencia-internacional-acerca-de-computing-curricula-2020-se-desarrollo-en-utec#:~:text=Computing%20Curricula%202020%20(CC2020)%20es,Information%20Systems%2C%20Information%20Technology%2C%20Software)

Universidad de Stanford. (2021). *Stanford University.* Retrieved from https://aiindex.stanford.edu/wp-content/uploads/2021/03/2021-AI-Index-Report_Master.pdf

Uruguay Digital. (2020). *Uruguay Digital.* Retrieved from <https://uruguaydigital.gub.uy/>

Van Houten, H. (2020). Five guiding principles for responsible use of AI in healthcare and healthy living. Retrieved from <https://www.philips.com/a-w/about/news/archive/blogs/innovation-matters/2020/20200121-five-guiding-principles-for-responsible-use-of-ai-in-healthcare-and-healthy-living.html>

Wechsler, D. (2012). *WAIS-IV. Escala de inteligencia Wechsler para Adultos.* Madrid: Pearson.

West, D. M., & Allen, J. R. (2020). *Turning Point: Policymaking in the Era of Artificial Intelligence.* Brookings Institution Press.

Wiggers, K. (2019). *The Machine.* Retrieved from <https://venturebeat.com/2019/09/17/openai-and-deepmind-teach-ai-to-work-as-a-team-by-playing-hide-and-seek/>

Wiggers, K. (2020). *The Machine.* Retrieved from <https://venturebeat.com/2020/05/02/yann-lecun-and-yoshua-bengio-self-supervised-learning-is-the-key-to-human-level-intelligence/>

Wilson, R. A., & Keil, F. C. (1999). *The MIT encyclopedia of the cognitive science.* MIT Press.

Winston, P. (2018, febrero 14). *The "Father of Artificial Intelligence" Says Singularity Is 30 Years Away.* (J. Creighton, Editor) Retrieved from Futurism: <https://futurism.com/father-artificial-intelligence-singularity-decades-away>

Zela, W., Bejarano, G., Paredes, M., Flórez, O., Ávila, C., Calderón, C., . . . Chavez, S. (2021). *Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial para Perú - ENIA.*

Zweben, S., & Bizot, B. (2020). *Computing Research Association.* Retrieved from 2019 Taulbee Survey: <https://cra.org/wp-content/uploads/2020/05/2019-Taulbee-Survey.pdf>