

3.1. LA “CRIATURA NUEVA” DEL DIARIO DE ADÁN Y EVA

En el desafío de apropiarnos del ecosistema de la IA, pensamos una analogía basada en la magistral obra de Mark Twain, *El diario de Adán y Eva*. Aquí el autor pone en diálogo a Adán y a Eva, esa “criatura nueva” en el jardín del edén. Hemos comprobado que este ejercicio de imaginación facilita nuestra comprensión acerca de las formas en las que el computador (la máquina) “trabaja” cuando actúa como agente inteligente, es decir, provisto de IA.

Pensemos al humano como Eva y al computador como Adán. Este último aprende los nombres de los objetos con base en las etiquetas que Eva les asigna, pero sin embargo él no la concibe como su semejante. A las emociones de ella las percibe como “agua que brota por los agujeros de su cara”; sin embargo, aprende a reaccionar adecuadamente frente a esas situaciones, sin dar luz a lo que encierran esas lágrimas. Su lenguaje, su racionalidad y todo su ser son esencialmente diferentes.

En otras palabras, los resultados de la máquina inteligente podrán ser sumamente eficientes, adecuados en tiempo y forma, pero carecerá de perspectiva humana. No sabrá de derecho, ni de educación, ni de salud; mucho más aún: carecerá de ética y de sentimientos; pero podrá responder correctamente frente a un problema, conforme a sus percepciones, si ha sido diseñada a tal fin.

Entonces, el diálogo que se entabla entre el humano usuario de la IA y la máquina inteligente es análogo al de Eva y Adán en el paraíso de Mark Twain. El desarrollador de un sistema inteligente diseña y entrena algoritmos que se orientan a construir agentes inteligentes o, en otras palabras, debe representar la información, construir la base de conocimiento, el razonamiento y el modo de aprendizaje para que el *agente* sea capaz de percibir el ambiente y ejecutar sus resultados. Así, alcanza su autonomía, ya que adquiere la capacidad de aprender a partir de su propia experiencia y se constituye en “inteligente”.

Sin embargo, el programador *no* ha desarrollado un algoritmo de solución del problema percibido, dado que esta es la razón de ser de la IA: actuar de manera no convencional a la programación tradicional.

IA débil. Es frecuente debatir acerca de nuestra inteligencia como especie. Gracias a Howard Gardner, nos hemos alejado de considerarla, exclusivamente, en función de obtener altos puntajes en test, jugar mejor al ajedrez, resolver rápidamente ecuaciones matemáticas, o ser una especie de Sherlock Holmes para solucionar crímenes. Por el contrario, hay muchas clases y se pueden evaluar en función de los contextos y objetivos

propuestos. Una palabra de aliento a un ser querido en el momento justo, puede ser clave en una situación crucial para mejorar una vida.

Aunque es difícil ponerse de acuerdo en un concepto omnicomprendensivo, hay un elemento común en muchas definiciones de la inteligencia humana: la *capacidad de procesar información para resolver problemas en función de alcanzar objetivos*⁽²⁹⁾. Y en esta capacidad de procesamiento se ubica un factor crucial: el reconocimiento de patrones. En nuestro cerebro se presentan dos grandes procesos simultáneos.

Por un lado, lo que se conoce bajo el nombre de etiquetas emocionales, como cuando Eva les pone nombre a las cosas, en la obra de Mark Twain. En estas etiquetas se apoya el cerebro para seleccionar la información más relevante para la toma de decisiones. Son marcas que imprime en los pensamientos y experiencias almacenadas en la memoria, que contienen información afectiva en cada recuerdo. Por ejemplo, peligroso, agradable o molesto. Cuando nos encontramos con una situación o estímulo etiquetado, entonces poseemos información útil para decidir rápidamente qué acción debemos tomar.

Por otra parte, el reconocimiento de patrones y el pensamiento jerárquico o el llamado modelo jerárquico de la estructura de la inteligencia⁽³⁰⁾. Esta forma de razonar, pensar y clasificar los objetos se vincula con

(29) Ampliar en Gardner, Howard, *La inteligencia reformulada*, Paidós, ps. 52 y ss.; Roeckelein, Jon E., *Dictionary of Theories, Laws, and Concepts in Psychology*, Greenwood, 1998; Gottfredson, "Mainstream science on intelligence: An editorial with 52 signatories, history, and biography", *Intelligence*, 1997 y Ardila, Rubén, "Inteligencia. ¿Qué sabemos y qué nos falta por investigar?", *Revista Académica Colombiana de Ciencias*, nro. 35, 2010; Kurzweil, Ray, *La era de las máquinas espirituales*, Planeta, p. 107 y el mismo autor en *La singularidad está cerca*, Lola Books, p. 339; Manes, Facundo - Niro, Mateo, *Usar el cerebro*, Planeta, ps. 114-115; *Diccionario de ciencias cognitivas*, Amorrortu, p. 226; Siegel, Daniel J., *Viaje al centro de la mente*, Paidós, Barcelona, 2017, ps. 10 y ss.; Marina, José Antonio, *El cerebro infantil: la gran oportunidad*, Ariel, Barcelona, 2011, ps. 37-42.

(30) Sobre todas estas cuestiones, ampliar en Manes, Facundo - Niro, Mateo, *El cerebro argentino*, Planeta, ps. 269-270; Sigman, Mariano, *La vida secreta de la mente*, Debate, Buenos Aires, 2016, ps. 133-134, 197 y ss.; Kerkhoff, Georg - Kalmbach, Dorothea - Rosenthal, Alisha, "Salir de un mundo a medias", *Investigación y Ciencia*, nro. 78, ps. 60-65; Viosca, José, "¿Qué nos hace humanos?", *Investigación y Ciencia —Mente & Cerebro—*, nro. 78, mayo/junio 2016, p. 52; Bachrach, Estanislao, *En cambio*, 5a ed. Sudamericana, Buenos Aires, 2015, p. 261; Kurzweil, Ray, *Cómo crear una mente*, Lola Books, p. 1; Siegel, Daniel J., *Viaje al centro de la mente*, Paidós, p. 53; Kaku, Michio, *La física del futuro*, Debate, p. 116. Además de un modelo jerárquico de la estructura de la inteligencia, se habla de un "modelo factorial jerárquico". Véase, *Diccionario de ciencias cognitivas*, Amorrortu, p. 133. Sobre los aspectos vinculados al proceso de toma de decisiones en las personas, véase, Kahneman, Daniel, *Pensar rápido, pensar despacio*, Debate, ps. 569-590. Ciertos estudios establecen la existencia de ocho redes parciales de "conec-

una estructura compuesta de diferentes elementos dispuestos, accesibles, ordenados según un patrón.

Ambos procesos están asociados a la definición de inteligencia humana, entendida como la *capacidad de procesar información para resolver problemas en función de alcanzar objetivos* (Ray Kurzweil). Todo esto está relacionado con la flexibilidad, velocidad y precisión para adaptarnos a los entornos.

La IA se basa en obtener, por otros métodos artificiales, lo que alcanzamos con la inteligencia humana: el reconocimiento de patrones para alcanzar objetivos o resolver problemas. Esta es una concepción amplísima y macro de lo que hace la IA. Sin embargo, como sucede con algunas categorías del derecho público como la discrecionalidad, podemos hablar de dos sentidos⁽³¹⁾: débil y fuerte.

En uno amplio, se llama IA “débil”, “restringida”, “estrecha” o “blanda” al procesamiento de datos e información para resolver problemas y tomar decisiones a partir de utilizar algoritmos inteligentes, sobre la base de aplicar diferentes técnicas informáticas. La idea básica, en esta conceptualización, es obtener resultados específicos en ciertas actividades o ámbitos concretos que antes solo podían obtenerse a partir de nuestros cerebros⁽³²⁾. Idónea para un problema en un dominio definido *a priori*.

Mientras que los humanos transitamos un camino biológico de aprendizaje evolutivo, la IA se basa en algoritmos, datos históricos, computadoras, programación humana y, sobre todo, aprovechando tres características que superan por mucho nuestras capacidades cognitivas: velocidad de procesamiento, posibilidad de conectarse y articular con otros sistemas de forma instantánea y, por último, la enorme capacidad de almacenamiento de los datos e información. Se trata de versiones muy mejoradas del personaje de Borges Funes el Memorioso.

tividad cerebral”. A saber: red mediofrontal, red frontoparietal, red en reposo, red de las áreas subcorticales y el cerebelo, red motora, red visual primaria, red visual secundaria y red de áreas de asociación visual. Ver Wolf, Christian, *El cerebro, un órgano personal, Investigación y Ciencia*, nro. 79, 2016, p. 69. También véase Fuster, Joaquín M., *Cerebro y libertad*, Ariel, Barcelona, 2014, ps. 101-115.

(31) La clasificación más habitual que se realiza ha sido introducida por Searle, J. R., “Minds, brains, and programs”, *Behavioral and Brain Science*, 3 (3), Cambridge (UK), 1980, ps. 417-457.

(32) En las organizaciones públicas, la IA permite llevar adelante la transición de una burocracia imprenta o digital, hacia una burocracia inteligente. Ampliar en Corvalán, Juan G., *Prometea. Inteligencia artificial para transformar organizaciones públicas*, Astrea, Ciudad de Buenos Aires, 2019, p. 29; Corvalán, Juan G., *Hacia una administración pública 4.0: digital y basada en inteligencia artificial. Decreto “Tramitación digital completa”*, La Ley, 2018, cita online AR/DOC/1683/2018.

Este concepto de IA débil o restringida es el que sustenta al género aprendizaje de máquina o *machine learning*⁽³³⁾ que abarca una serie de técnicas más o menos sofisticadas. En las redes neuronales, la actualmente más conocida es el aprendizaje profundo (*deep learning*)⁽³⁴⁾. Estas redes requieren de cantidades muy grandes de datos para ser “entrenadas”, y por su modo de funcionar, se asemeja a una “caja negra” (*black box*). Esto quiere decir que no es posible visibilizar el paso a paso (o algoritmo) de la lógica que explica la resolución del problema, tal cual como sucede entre Adán y Eva en el jardín del edén de Mark Twain.

En otras palabras, no se puede interpretar lo que sucede en las “capas ocultas de la red”⁽³⁵⁾. Sobre esto volveremos más adelante.

IA fuerte. Elon Musk es el Director General de SpaceX, de Tesla y también es copresidente de OpenAI, una organización sin fines de lucro des-

(33) Según la ONU, el aprendizaje automático se vincula con la inteligencia artificial restringida que se usan en la capacitación de algoritmos para que usen conjuntos de datos a fin de reconocer y ayudar a resolver problemas. Por ejemplo, los dispositivos domésticos inteligentes dotados de IA “aprenden” continuamente, de los datos reunidos sobre el lenguaje cotidiano y las pautas lingüísticas, a procesar y responder más exactamente a las preguntas de sus usuarios (véase la resolución 73/348 de la Asamblea General “Promoción y protección del derecho a la libertad de opinión y expresión” A/73/348; 29 de agosto de 2018, consid. 4, disponible en <http://undocs.org/es/A/73/348> [consultado el 18/04/2021]).

Además, véase Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL, *Datos, algoritmos y políticas: la redefinición del mundo digital* (LC/CMSI.6/4), Santiago de Chile, 2018, p. 171, disponible en https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/43477/S1800053_es.pdf [consultado el 18/04/2021]).

(34) Una red neuronal artificial puede ser comprendida como una combinación masiva de unidades de procesamiento simple, que aprenden del entorno a través de un proceso de aprendizaje y almacenan el conocimiento en sus conexiones. Véase Haykin, Simon, *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, Prentice Hall, New Jersey, 1999. En otras palabras, son un conjunto enorme de algoritmos y valores, donde cada componente de la red (neurona) es capaz de manejar distintas variables y arribar a distintos resultados, aprendiendo en conjunto.

Véase también: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, “El Correo de la UNESCO, inteligencia artificial, promesas y amenazas”, París, julio-septiembre de 2018, p. 8, disponible en https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265211_spa (consulta el 18/04/2021); la resolución 72/540 de la Asamblea General “El derecho a la privacidad” A/72/540 (19/10/2017), consid. 131, disponible en <http://undocs.org/es/A/72/540> (consultado el 18/04/2021).

(35) Téngase en cuenta que la referencia a capas es específica a las redes neuronales. “La IA moderna es, básicamente, una caja negra, que logra un desempeño superior al humano sin que las personas comprendan cabalmente cómo se obtiene ese resultado” (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL, *Datos, algoritmos y políticas: la redefinición del mundo digital*, LC/CMSI.6/4, Santiago de Chile, 2018, p. 171, disponible en https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/43477/S1800053_es.pdf [consultado el 18/04/2021]).

tinada a investigar la IA para hacerla amigable. Este “todólogo”, magnate y físico, quiere cambiar el mundo y la humanidad para lograr una sociedad “multiplanetaria”. Desde hace varios años, Musk y otras personalidades en el mundo de la innovación piden regulación porque, con mucha razón, piensan que la llegada de un tipo de inteligencia artificial herculeana llamada “fuerte o dura” podría poner en riesgo a la humanidad, principalmente en lo que se refiere a las armas autónomas⁽³⁶⁾. La IA Hércules o fuerte, representaría la transformación más importante de este siglo⁽³⁷⁾, a las puertas de la Cuarta Revolución Industrial. Representa la fase final de transición de la IA débil, que incluye a todos los sistemas de IA que desarrollamos en este artículo, catalogados como IA débil o blanda.

Mientras que la IA Hércules se relaciona con dos grandes fenómenos. En primer lugar, se vincula con el hecho de alcanzar algunos aspectos claves de la especie humana: el sentido común, la capacidad de “sentir”, de reconocer el entorno y la llamada “autoconsciencia”. En segundo lugar, así como se alude a una inteligencia general humana que es producto de abarcar diferentes áreas de contenido, se busca desarrollar una Inteligencia Artificial General (IAG), que se traduce en una capacidad general de aprender en cualquier contexto, frente a nuevas situaciones problemáticas. Es decir, se trata de simular el comportamiento o la inteligencia humana en un plano integral⁽³⁸⁾. Si ambos aspectos pueden lograrse, sobre esta IA fuerte se podría producir una “explosión de inteligencia”. Inteligencia general, conocimiento profundo de su propio diseño, conocimientos específicos de programación para iniciar el círculo de automejora y

(36) Sobre inteligencia artificial fuerte o superinteligencia como riesgo existencial para la humanidad ver López Oneto, Marcos, “Fundamentos antropológicos, éticos, filosóficos, históricos, sociológicos y jurídicos para la constitución universal de un Derecho de la Inteligencia Artificial (DIA)”, apart. 1 “Introducción” y apart. 2.2.1 “¿Qué es la inteligencia artificial?”, tomo I del presente *Tratado*. Sobre armas autónomas ver Martino, Antonio Anselmo, “Ética y sistemas inteligentes”, apart. 4.2 “La cosa se pone más peligrosa”, tomo I del presente *Tratado*.

(37) Kurzweil, Ray, *La singularidad está cerca*, Lola Books, p. 339.

(38) En algunas ocasiones también se habla de IA “general”, pero los términos no son exactamente iguales. Toda IA fuerte será general, pero a la inversa no tiene por qué siempre darse. En la comunidad científica, hay un debate intenso entre especialistas acerca de si esta clase de IA llegará y, eventualmente, cuándo hará su aparición. Ver Instituto Español de Estudios Estratégicos, “Documentos de Seguridad y Defensa 79, la inteligencia artificial aplicada a la defensa”, *ieee.es*, Ministerio de Defensa, publicación de marzo de 2019, <https://publicaciones.defensa.gob.es/la-inteligencia-artificial-aplicada-a-la-defensa-n-79-libros-ebook.html> [consultado el 18/04/2021].

Desde otra óptica, véase Bostrom, Nick, *Superinteligencia caminos, peligros, estrategias*, SL TEEEL Editorial, España, 2016.

“autoconsciencia”, constituyen la llamada IA fuerte que para muchos nos llevará a una explosión de la inteligencia⁽³⁹⁾.

Como estos sistemas todavía no se han desarrollado, es importante considerar que es meramente conjetural la diferencia entre IA fuerte e IA débil, y está fuertemente correlacionada con los alcances que se le asigna a la inteligencia humana y a dónde se desee poner el acento. Por ejemplo, cuando las máquinas simulan o actúan como si fueran inteligentes en ciertos ámbitos o tareas concretas, se conoce como *débil, blanda o estrecha*. En cambio, cuando se afirma que las máquinas “realmente” demuestran inteligencia y no solo la simulan, entonces estaríamos en presencia de la *IA fuerte*⁽⁴⁰⁾. Las máquinas aprendan de manera autónoma a adecuarse en diferentes roles y diferentes contextos. Otra vez, *conocimiento situado*.

Ahora bien, por un lado, es importante tener presente que todavía no se han desarrollado sistemas de IA que posean sentido común y la habilidad de manejar diversos campos de conocimiento a la vez⁽⁴¹⁾. Por otra

(39) IJ Good fue el primero en desarrollar la noción de superinteligencia en 1965. Básicamente la “máquina ultrainteligente” es una que pueda superar “por mucho” todas las actividades humanas. Y una máquina ultrainteligente podría diseñar mejores máquinas, lo que sin duda generaría una “explosión de la inteligencia”. Actualmente Bostrom, Kurzweil y Barrat hablan de una superinteligencia o de una explosión de inteligencia. Bostrom Nick, *Superinteligencia*, Teell, ps. 22 y ss.; Kurzweil, Ray, *La singularidad está cerca*, Lola Books, p. 297; Barrat, James Rodman, *Nuestra invención final*, Planeta Pub Corp., ps. 119 y ss. Según Kaku, desde 2070 hasta 2100 las máquinas llegarán a ser conscientes y esto implica al menos tres componentes: 1. Capacidad de sentir y reconocer el entorno; 2. Autoconsciencia; 3 capacidad de planificar el futuro estableciendo objetivos y planes, es decir, simulando el futuro y desarrollando una estrategia. Kaku, Michio, *La física del futuro*, Debate, ps. 142 y 144.

(40) Rusell, Stuart - Norving, Peter, *Artificial intelligence: a modern approach*, Pearson Education Limited, UK, 2016. Los conceptos fueron abordados también en el Módulo IV “Trabajando con máquinas inteligentes”, punto 2.3, del curso “Oxford Artificial Intelligence Programme, Investigate the potencial of artificial intelligence and its implications for business”.

(41) Hay otra clasificación de la IA más sofisticada, que se encontraría en estadio posterior que podría llegar cuando una IA sea capaz de mejorarse a sí misma y, como consecuencia, esta versión mejorada podría crear otra aún más inteligente y así sucesivamente. Este tipo de IA que Yudkowsky y Bostrom llaman “IA seminal”, se basa en un automejoramiento recursivo que podría resultar en una explosión de inteligencia que nos lleve al surgimiento de una superinteligencia artificial. Yudkowsky, Eliezer, “Levels of Organization in General Intelligence”, in Goertzel, Ben - Pennachin, Cassio, *Artificial General Intelligence*, Cognitive Technologies, Berlin: Springer, ps. 389-501; Bostrom, Nick, *Superinteligencia*, 2a ed., Tell, 2014, p. 29.

Ahora bien, es importante resaltar el enfoque de Naciones Unidas sobre lo problemático que puede ser el término “inteligencia artificial”. Según la ONU, esto sugiere que las máquinas pueden funcionar según los mismos conceptos y reglas que la inteligencia humana. No es así. La inteligencia artificial generalmente optimiza la ejecución de tareas computadorizadas, asignadas por seres humanos, mediante re-

parte, como hemos sostenido en otros trabajos, en vez de poner el foco en disquisiciones conceptuales acerca de lo que es o no es IA, es urgente abordar los beneficios, riesgos, desafíos, daños y, esencialmente, cómo diseñar ecosistemas de regulación que permitan que su desarrollo sea compatible con los derechos humanos⁽⁴²⁾. Por eso es tan relevante separar cajas negras de cajas blancas y, a su vez, comprender cómo se puede garantizar una intervención humana adecuada sobre todo el ciclo de vida de los sistemas de IA⁽⁴³⁾. Sin embargo, como veremos, también hay muchas “cajas grises”.

petición e intentos iterativos. Ver la resolución 73/348 de la Asamblea General “Promoción y protección del derecho a la libertad de opinión y expresión” A/73/348, 29 de agosto de 2018, consid. 3, disponible en: <http://undocs.org/es/A/73/348> (consultado el 18/04/2021).

(42) Corvalán, Juan G., *Prometea. Inteligencia artificial para transformar organizaciones públicas*, Astrea, IMODEV, Universidad del Rosario y DPI Cuántico, Ciudad de Buenos Aires, 2019, <https://www.astrea.com.ar/resources/doctrina/doctrina0481.pdf> (consultado el 18/04/2021).

Los actores de IA deben respetar el Estado de derecho, los derechos humanos y los valores democráticos a lo largo de todo el ciclo de vida. Cabrol, Marcelo - González A., Natalia - Pombo, Cristina - Sánchez A., Roberto, *Adopción ética y responsable de la inteligencia artificial en América Latina y el Caribe*, Fair Lac BID, p. 14, disponible en https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/fAlr_LAC_Adopci%C3%B3n_%C3%A9tica_y_responsable_de_la_inteligencia_artificial_en_Am%C3%A9rica_Latina_y_el_Caribe_es.pdf (consultado el 18/04/2021).

Consejo de Europa, “Carta ética europea sobre el uso de inteligencia artificial en los sistemas de justicia y su entorno”, 3-4 de diciembre de 2018 (traducción realizada con Google Translate), disponible en <https://campusialab.com.ar/wp-content/uploads/2020/07/Carta-e%CC%81tica-europea-sobre-el-uso-de-la-IA-en-los-sistemas-judiciales-.pdf> (consultado el 18/04/2021).

Cuando adquieren o despliegan sistemas o aplicaciones de inteligencia artificial, los Estados deben asegurar que los órganos del sector público actúen de conformidad con los principios de derechos humanos. La resolución 73/348 de la Asamblea General “Promoción y protección del derecho a la libertad de opinión y expresión” A/73/348, 29 de agosto de 2018, consid. 62, disponible en <http://undocs.org/es/A/73/348> (consultado el 18/04/2021).

Específicamente, se ha planteado que en miras de construir un Derecho a la Inteligencia Artificial (DIA), sus principios jurídicos fundamentales podrían inferirse del Derecho Internacional de los Derechos Humanos. Ampliar esta postura en: López Oneto, Marcos, “Fundamentos antropológicos, éticos, filosóficos, históricos, sociológicos y jurídicos para la constitución universal de un Derecho de la Inteligencia Artificial (DIA)”, tomo I del presente *Tratado*.

(43) Según la OCDE, las fases del ciclo de vida de la IA son I) la planificación y el diseño, la recabación de datos y su procesamiento, así como la creación de modelos y su interpretación; II) la comprobación y la validación; III) el despliegue; y IV) el funcionamiento y el seguimiento. Ver OECD Library, “La inteligencia artificial en la sociedad”, disponible en <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/603ce8a2-es/index.html?itemId=/content/component/603ce8a2-es> (consultado el 18/04/2021).

3.2. UN MENÚ DE DEFINICIONES DE “INTELIGENCIA ARTIFICIAL”

Existe un gran conjunto de definiciones de IA planteadas desde distintos organismos⁽⁴⁴⁾. Cada uno ve a esta disciplina según el rol o papel que jugará a nivel mundial. Veamos.

3.2.1. ORGANIZACIÓN DE NACIONES UNIDAS (ONU)

Definición 1: la ONU define la IA como una constelación de procesos y tecnologías que permiten que las computadoras complementen o reemplacen tareas específicas que de otro modo serían ejecutadas por seres humanos, como tomar decisiones y resolver problemas⁽⁴⁵⁾.

Definición 2: la inteligencia artificial es el arte de elaborar de sistemas capaces de resolver problemas y desempeñar tareas mediante la simulación de procesos intelectuales. Se puede enseñar a la inteligencia artificial a resolver un problema, pero ella también puede estudiar el problema y aprender la manera de resolverlo por sí misma sin intervención humana⁽⁴⁶⁾.

3.2.2. PARLAMENTO EUROPEO

Definición 3: el Parlamento Europeo sostiene, en una definición amplia, que la IA se caracteriza como el intento por construir máquinas que realizan funciones que se consideran inteligentes cuando las realizan las personas⁽⁴⁷⁾.

Definición 4: el Parlamento Europeo concibe a la IA como un término que los encargados de formular políticas utilizan habitualmente al presentar sus estrategias sobre la gobernanza de los desarrollos tecnológicos y los desafíos económicos y sociales asociados, por las empresas que anuncian productos que muestran cierto grado de automatización, y me-

(44) Asimismo, puede abordarse la definición de la IA desde distintos enfoques, ver López Oneto, Marcos, “Fundamentos antropológicos, éticos, filosóficos, históricos, sociológicos y jurídicos para la constitución universal de un Derecho de la Inteligencia Artificial (DIA)”, apart. 2.2.1 “¿Qué es la inteligencia artificial?”, tomo I del presente *Tratado*.

(45) Resolución 73/348 de la Asamblea General de la ONU. Disponible en <https://undocs.org/es/A/73/348> (consultado el 18/04/2021).

(46) Resolución A-CN.9-960 de la Asamblea General de la ONU. Disponible en <https://undocs.org/sp/A/CN.9/960> (consultado el 18/04/2021).

(47) Parlamento Europeo, “El impacto del Reglamento general de protección de datos (GDPR) en la inteligencia artificial”, disponible en https://www.europarl.europa.eu/stoa/en/document/EPRS_STU%282020%29641530 (consultado el 18/04/2021).

dios de comunicación al presentar al público en general sus comentarios sobre la llamada cuarta revolución industrial.

No existe una noción única de IA y los criterios comúnmente utilizados para calificar ciertas categorías de aplicaciones de IA son amplios y a menudo indeterminados y, por lo tanto, inadecuados como base para adoptar una regulación clara y efectiva.

IA para investigadores de IA: la parte computacional de la capacidad de alcanzar objetivos en el mundo», que varían en tipos y grados en personas, animales, así como en algunas máquinas. Esta definición, con algunas variaciones, tiende a ser aceptada entre los investigadores de IA.

IA como rama de la informática: una rama de la informática que estudia las propiedades de la inteligencia mediante la síntesis de inteligencia⁽⁴⁸⁾.

Definición 5: se entenderá por sistema de inteligencia artificial a todo sistema basado en programas informáticos o incorporado en dispositivos físicos que muestra un comportamiento que simula la inteligencia, entre otras cosas, mediante la recopilación y el tratamiento de datos, el análisis y la interpretación de su entorno y la actuación, con cierto grado de autonomía, para lograr objetivos específicos⁽⁴⁹⁾.

3.2.3. ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICOS (OCDE)

Definición 6: la OCDE sostiene que es posible afirmar que la IA constituye un sistema basado en la máquina que puede hacer predicciones, recomendaciones o tomar decisiones, influyendo en entornos reales o virtuales, sobre ciertos objetivos definidos por los humanos⁽⁵⁰⁾.

Definición 7: la inteligencia artificial (IA) es una tecnología de propósito general que tiene el potencial de mejorar el bienestar de las personas, contribuir a una actividad económica global positiva, aumentar la innovación y la productividad y ayudar a responder a los desafíos globales cla-

(48) Parlamento Europeo, “Inteligencia artificial y responsabilidad civil”, disponible en [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/621926/IPOL_STU\(2020\)621926_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/621926/IPOL_STU(2020)621926_EN.pdf) (consultado el 18/04/2021).

(49) Parlamento Europeo, “Régimen de responsabilidad civil en materia de inteligencia artificial”, octubre 2020, disponible en https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2020-0276_ES.html (consultado el 18/04/2021).

(50) OCDE, “Inteligencia artificial en la sociedad”, disponible en <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/603ce8a2-es/index.html?itemId=/content/component/603ce8a2-es> (consultado el 18/04/2021).

ve. Se implementa en muchos sectores que van desde la producción, las finanzas y el transporte hasta la atención médica y la seguridad⁽⁵¹⁾.

Definición 8: un sistema basado en la máquina que puede, para un determinado conjunto de objetivos definidos por humanos, hacer predicciones, recomendaciones o decisiones que influyen en entornos reales o virtuales⁽⁵²⁾.

3.2.4. UNIVERSIDAD DE STANFORD

Definición 9: la inteligencia artificial (IA) es una ciencia y un conjunto de tecnologías computacionales que se inspiran en las formas en que las personas usan, pero generalmente funcionan de manera bastante diferente sus sistemas nerviosos y cuerpos para sentir, aprender, razonar y actuar. Si bien la tasa de progreso en la IA ha sido irregular e impredecible, ha habido importantes avances desde el inicio del campo hace sesenta años⁽⁵³⁾.

3.2.5. COMISIÓN EUROPEA

Definición 10: la inteligencia artificial (IA) se refiere a sistemas que muestran un comportamiento inteligente al analizar su entorno y tomar acciones, con cierto grado de autonomía, para lograr objetivos específicos⁽⁵⁴⁾.

Definición 11: la inteligencia artificial (IA) tiene como objetivo estudiar y desarrollar máquinas inteligentes y *software*. La investigación en TIC asociada incluye el desarrollo de *software* que se puede razonar, reunir conocimientos, planificar de forma inteligente, aprender, comunicarse, percibir y manipular objetos⁽⁵⁵⁾.

(51) OCDE, “Recomendación del Consejo de Inteligencia Artificial”, disponible en <https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0449> (consultado el 18/04/2021).

(52) OCDE, Gobernanza Pública nro. 34 “Estado de la Técnica en el Uso de Tecnologías Emergentes en el Sector Público”, disponible en <https://ialab.com.ar/wp-content/uploads/2020/05/OECD-2019-Estado-de-la-te%C3%81cnica-en-el-uso-de-las-tecnolog%C3%81as-emergentes-en-el-sector-pu%C3%81blico.pdf> (consultado el 18/04/2021).

(53) Universidad de Stanford, “Artificial Intelligence and Life in 2030”, disponible en https://ai100.stanford.edu/sites/g/files/sbiybj9861/f/ai_100_report_0831fnl.pdf (consultado el 18/04/2021).

(54) Comisión Europea, “Artificial Intelligence for Europe”, disponible en <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/communication-artificial-intelligence-europe> (consultado el 18/04/2021).

(55) Comisión Europea, “La responsabilidad por las nuevas tecnologías digitales”, disponible en <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/european-commis->

Definición 12: la inteligencia artificial es una combinación de tecnologías que agrupa datos, algoritmos y capacidad informática. Los avances en computación y la creciente disponibilidad de datos son, por tanto, un motor fundamental en el pronunciado crecimiento actual de la inteligencia artificial⁽⁵⁶⁾.

3.2.6. FOROS, CUMBRES Y OTROS EVENTOS NACIONALES E INTERNACIONALES CENTRADOS EN IA

Definición 13: poderoso procesamiento informático que utiliza grandes cantidades de información que puede procesar algoritmos complejos y hacer predicciones en tiempo real⁽⁵⁷⁾.

Definición 14: la IA se basa en el desarrollo de algoritmos que permiten a las computadoras procesar datos a una velocidad inusual (tarea que antes requería de varias computadoras y personas), logrando, además, aprendizaje automático. Los algoritmos se nutren de datos y experiencias recientes y se van perfeccionando, habilitando a la máquina con capacidades cognitivas propias de los seres humanos como visión, lenguaje, comprensión, planificación y decisión con base en los nuevos datos⁽⁵⁸⁾.

Definición 15: la IA no es un campo nuevo; gran parte de su sustento teórico y tecnológico fue desarrollado en los últimos 70 años por especialistas en ciencias de la computación, como por ejemplo Alan Turing, Marvin Minsky y John McCarthy. En la actualidad, el término se refiere a múltiples tecnologías que pueden combinarse de diferentes maneras para: sentir, comprender, actuar⁽⁵⁹⁾.

Definición 16: algunos definen IA en términos generales como un sistema computarizado que exhibe un comportamiento que es comúnmente considerado como que requiere inteligencia. Otros definen AI como un sistema capaz de resolver problemas complejos de forma racional o

sion-staff-working-document-liability-emerging-digital-technologies (consultado el 18/04/2021).

(56) Comisión Europea, “Libro blanco sobre IA” disponible en <https://op.europa.eu/es/publication-detail/-/publication/ac957f13-53c6-11ea-aece-01aa75ed71a1> (consultado el 18/04/2021).

(57) ITU, “AI for Good Global Summit”, disponible en <https://www.itu.int/en/ITU-T/AI/Pages/201706-default.aspx> (consultado el 18/04/2021).

(58) BID, “Industria 4.0”, disponible en <https://publications.iadb.org/es/industria-40-fabricando-el-futuro> (consultado el 18/04/2021).

(59) Accenture, “Cómo la IA puede generar crecimiento en Sudamérica”, disponible en https://www.accenture.com/_acnmedia/pdf-49/accenture-como-la-ia-puede-generar-crecimiento-en-sudamerica.pdf (consultado el 18/04/2021).

tomar las acciones apropiadas para alcanzar sus objetivos en cualquier circunstancia en la vida real que se encuentra⁽⁶⁰⁾.

Definición 17: inteligencia artificial es una inteligencia demostrada por las máquinas, en contraste con la inteligencia natural que se muestra por los seres humanos y otros animales. Se aplica el término “inteligencia artificial” sobre todo cuando una máquina imita las funciones cognitivas que se asocian con las mentes humanas, tales como el “aprendizaje” y “resolución de problemas”⁽⁶¹⁾.

Definición 18: inteligencia artificial (AI). Un conjunto de métodos científicos, teorías y técnicas cuyo objetivo es reproducir, por una máquina, las capacidades cognitivas de los seres humanos. Los desarrollos actuales buscan tener máquinas realizan tareas complejas realizadas previamente por los seres humanos⁽⁶²⁾.

Definición 19: la inteligencia artificial es un campo de la informática. La inteligencia artificial es la capacidad de una computadora digital o un robot controlado por ordenador para realizar tareas comúnmente asociados con los seres inteligentes. Estas tareas pueden incluir la percepción visual, reconocimiento de voz, toma de decisiones, y la traducción entre lenguas⁽⁶³⁾.

Definición 20: la IA no es una tecnología específica, sino que comprende un conjunto de procesos basados en el aprendizaje automático que, a partir de grandes cantidades de datos y algoritmos potentes, desarrolla predicciones sólidas para dotar de una mayor eficacia a los procesos existentes⁽⁶⁴⁾.

(60) CONICET, “Preparación para el futuro de la inteligencia artificial”, disponible en <https://drive.google.com/drive/u/2/folders/10G3JNpTbhZk10nT40YAJvn8bZixi4rkO> (consultado el 18/04/2021).

(61) UNICRI. INTERPOL, “Inteligencia artificial y robótica. Hacer cumplir la ley”, disponible en <http://213.254.5.198/artificial-intelligence-and-robotics-law-enforcement> (consultado el 18/04/2021).

(62) CEPEJ, “Carta ética europea en el uso de la inteligencia artificial en los sistemas judiciales y su entorno”, disponible en <https://rm.coe.int/ethical-charter-en-for-publication-4-december-2018/16808f699c> (consultado el 18/04/2021).

(63) Foro Europeo de la Discapacidad, “Una perspectiva de la discapacidad en la inteligencia artificial”, disponible en <http://www.edf-feph.org/sites/default/files/edf-emerging-tech-report-accessible.pdf> (consultado el 18/04/2021).

(64) CIPPEC, “La política de la inteligencia artificial: sus usos en el sector público y sus implicancias regulatorias”, disponible en <https://www.cippec.org/publicacion/la-politica-de-la-inteligencia-artificial-sus-usos-en-el-sector-publico-y-sus-implicancias-regulatorias/> (consultado el 18/04/2021).

Definición 21: Tecnología de la información que realiza tareas que normalmente requerirían capacidad intelectual biológica, como dar sentido al lenguaje hablado, aprender comportamientos o resolver problemas⁽⁶⁵⁾.

Elementos comunes en las definiciones de IA. Cuando observamos las definiciones, advertimos diversos elementos comunes.

Sobre lo que implica el concepto. Gran parte de las definiciones caracterizan a la IA como una tecnología o conjunto de tecnologías⁽⁶⁶⁾; 2) en muchos casos el concepto alude a sistemas, máquinas o sistemas basados en máquinas⁽⁶⁷⁾; 3) se suelen referir a campos o ramas de la ciencia⁽⁶⁸⁾ y algunas pocas aluden a un conjunto o constelación de procesos⁽⁶⁹⁾⁻⁽⁷⁰⁾.

Sobre los fines y propósitos de la IA. 1) La mayoría de las definiciones consideran que el propósito de la IA es ejecutar o simular tareas propias del ser humano que se consideran inteligentes cuando estos las realizan⁽⁷¹⁾; 2) otras remarcan que la tarea de la IA es el procesamiento de datos o información⁽⁷²⁾; 3) su propósito es la resolución de problemas⁽⁷³⁾ y la elaboración de predicciones y recomendaciones⁽⁷⁴⁾ y, con un enfoque distinto, el incremento del bienestar de las personas⁽⁷⁵⁾. Por último, dos

(65) Gobierno de Canadá, “Directiva sobre toma de decisiones automatizada”, disponible en <https://www.tbs-sct.gc.ca/pol/doc-eng.aspx?id=32592#appA> (consultado el 18/04/2021).

(66) Las definiciones que caracterizan a la IA como tecnologías o conjunto de tecnologías son la definición 1, 7, 9, 12, 15, y 21.

(67) Las definiciones que caracterizan a la IA como sistemas, máquinas o sistemas basados en máquinas son las definiciones 2, 3, 5, 6, 8, 10, 11, 16 y 17.

(68) Las definiciones que se refieren a la IA como campos o ramas de la ciencia son las definiciones 4, 9, 19 y 18.

(69) Las definiciones que se refieren a la IA como un conjunto de procesos son las definiciones 1 y 20.

(70) Solo una define a la IA como el desarrollo de algoritmos y otra como un poderoso procesamiento informático. La definición que caracteriza a la IA como el poderoso procesamiento informático es la número 13.

(71) Las definiciones que consideran que el propósito de la IA es ejecutar tareas propias del ser humano que se consideran inteligentes cuando estos las realizan son las definiciones 1, 2, 3, 9, 10, 11, 14, 16, 17, 18, 19, y 21.

(72) Las definiciones que consideran que la tarea de la IA es el procesamiento de datos e información son las definiciones 12, 13, 14 y 20.

(73) Las definiciones que mencionan que la IA tiene como propósito la resolución de problemas son las definiciones 1, 2 y 16.

(74) Las definiciones que mencionan que la IA se encarga de hacer predicciones y recomendaciones son las definiciones 6, 8 y 20.

(75) La definición que menciona que la IA tiene el potencial de incrementar el bienestar de las personas en la definición 6.

definiciones mencionan la autonomía y la automatización como características de los sistemas de IA⁽⁷⁶⁾.

3.3. CONCEPTOS E INTERPRETACIONES DE LO QUE ES LA IA

En su clásico libro de texto de conocido por las siglas de su título: “AIMA”⁽⁷⁷⁾, Russell y Norvig proponen dos dimensiones: una de pensamiento vs. acción, y otra de racionalidad⁽⁷⁸⁾ vs. humanidad. Así, los autores catalogan cada uno de los cuatro cuadrantes de la siguiente manera, siendo los creadores del concepto de Agente Inteligente:

El Test de Turing o los *Sistemas que actúan de forma humana*. En 1950⁽⁷⁹⁾ Alan Turing propuso un test llamado “el juego de la imitación” (posteriormente pasó a ser conocido por el nombre de creador) para dictaminar si un sistema es inteligente. Su idea fue simple pero poderosa: un sistema es inteligente si puede hacerse pasar por humano interactuando por un sistema de conversación por texto con otra persona. Aunque la definición tiene los méritos de capturar una gran parte de las áreas que hoy siguen teniendo mucho trabajo por realizar⁽⁸⁰⁾, las limitaciones de compararse con el comportamiento humano también son claras. En las palabras de Russell y Norvig, la ingeniería aeronáutica no define su disciplina como “la construcción de máquinas que vuelan de forma tan similar a las palomas que hasta pueden engañar a otras palomas”.

Sistemas que piensan de forma humana o el abordaje del modelado cognitivo. Aquí el objetivo se centra en desarrollar una teoría de la mente humana capaz de modelar los procesos que rigen los pensamientos de las personas. La disciplina de la ciencia cognitiva busca estudiar la combinación de modelos computacionales con técnicas experimentales de otras disciplinas como la psicología para arribar a teorías sobre la mente humana.

(76) Las definiciones que mencionan la autonomía y la automatización como rasgo característico son las definiciones 4 y 9. Sobre el concepto de autonomía de los sistemas inteligentes ver Corvalán, Juan G. - Danesi, Cecilia, “Responsabilidad civil de la inteligencia artificial”, colaboradora: María Victoria Carro, apart. 3 “De ‘espejito, espejito...’ a Skynet. La autonomía de la inteligencia artificial”, tomo III del presente *Tratado*.

(77) Stuart, Russell - Norvig, Peter, *Artificial intelligence-a modern approach*, 3rd ed., Prentice Hall, 2016.

(78) Término difícil de definir formalmente. Aquí, como volveremos a discutir más adelante, simplemente diremos que un sistema es racional si toma la decisión correcta dado su conocimiento en el momento de tomarla.

(79) Turing, Alan (october 1950), “Computing Machinery and Intelligence”, *Mind*, LIX (236): 433-460.

(80) Por ejemplo, el procesamiento del lenguaje natural, la representación de conocimiento, el razonamiento automatizado, la visión artificial y la robótica.

Sistemas que piensan de manera racional o el abordaje según las “leyes del pensamiento”. Aquí nos encontramos con la lógica como disciplina que busca modelar las inferencias racionales. La aplicación de la lógica como formalismo de representación e inferencia es poderosa, pero se encuentra rápidamente con obstáculos computacionales, como el uso de demasiados recursos de tiempo y espacio. Otro obstáculo formidable es la representación y manejo racional de conocimiento bajo incertidumbre.

Sistemas que actúan de manera racional (agentes racionales). Estos agentes son simplemente entidades que actúan en un entorno de manera autónoma. Esta propuesta se centra en el desarrollo sistemas que actúan de manera tal de alcanzar el mejor resultado o, en caso de incertidumbre, el mejor resultado esperado. Russell y Norvig señalan dos ventajas de este abordaje. Primero, es más general que el basado en las leyes del pensamiento, ya que la realización de inferencias de manera correcta es una de muchas maneras de alcanzar la racionalidad. Por otro lado, es más conducente a desarrollos científicos que los basados en el comportamiento o pensamiento humano. Sin embargo, como veremos en la rama de la IA basada en datos, actualmente a partir de la enorme accesibilidad a datos masivos y con el advenimiento de las tecnologías 4.0, es posible desarrollar sistemas inteligentes capaces de simular o emular cada vez más al comportamiento humano.

A continuación, exploraremos las dos grandes ramas en la que típicamente se dividen los esfuerzos científicos e ingenieriles que buscan el desarrollo de herramientas inteligentes. En dicha exploración, volveremos a varios de los conceptos discutidos en las primeras secciones para ilustrarlos y profundizar su tratamiento.

IV. DOS RAMAS EN BUSCA DE LA REALIZACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Dada la variedad de definiciones de IA provenientes de un amplio espectro de orígenes, la gran cantidad de disciplinas que se combinan en ella y el rango de aplicaciones que tienen sus resultados, no sorprenderá al lector saber que su desarrollo no ha sido uniforme a lo largo de su historia relativamente corta. En esta sección, daremos un panorama de este desarrollo estructurado alrededor de dos grandes ramas. Comenzaremos por la basada en conocimiento y luego presentaremos la basada en datos. Como veremos, existen otros nombres para cada una, aunque completaremos con una visión que apunta a la necesidad de combinarlas para sacar el mayor provecho posible de las fortalezas de cada una.

4.1. INTELIGENCIA ARTIFICIAL BASADA EN CONOCIMIENTO

El nuevo nivel propuesto por Newell es el nivel de Conocimiento. Tratar un sistema en este nivel implica asignarle un conjunto de conocimiento y metas, creyendo que actuará dentro de sus posibilidades; es decir, dentro de sus limitaciones en cuanto a poder de acción y las limitaciones de su conocimiento para alcanzar sus metas. Este nivel yace por encima del nivel de Símbolos; sus componentes y medio, por lo tanto, pueden definirse en términos de sistemas en el nivel de Símbolos⁽⁸⁵⁾. El autor señala algunos puntos acerca de la naturaleza del conocimiento en este entorno:

- El conocimiento está estrechamente relacionado con la racionalidad. Si un sistema puede ser visto como racional, entonces puede ser visto como poseedor de conocimiento.
- El conocimiento es una noción similar a una *competencia*; es decir, tiene potencial para generar acción.
- El nivel de Conocimiento es una *aproximación* (en grado y alcance, como todos los niveles de sistemas). No hay garantías acerca de qué parte del comportamiento puede verse como parte del nivel de Conocimiento.
- Las *representaciones* del conocimiento existen en el nivel de Símbolos como sistemas (tales como estructuras y bases de datos, o procesos) que implementan un conjunto de conocimiento en el nivel superior.
- Las *lógicas* son tan solo una clase de representaciones entre muchas, aunque tienen capacidades únicas para el análisis del conocimiento y su representación.

Como ampliación de la definición informal de conocimiento vista al principio de este artículo, podemos utilizar la definición brindada por Newell para aclarar un poco más de qué se trata el medio que reside en este nivel:

Conocimiento: *todo aquello que puede ser adscrito a un agente, tal que su comportamiento puede ser computado de acuerdo con el principio de la racionalidad.*

Recordemos que el principio de la racionalidad simplemente afirma que las acciones se eligen “de la mejor manera posible”, en base con las metas y el conocimiento. Por lo tanto, esta caracterización del conocimiento es puramente *funcional*; es decir, esta concepción es diferente a la

(85) El sistema que reside en él se denomina *agente* (concepto que ya nos encontramos anteriormente), las componentes son *metas*, *acciones* y *conjuntos*, el medio es el conocimiento en sí y la ley de comportamiento es el *principio de la racionalidad*.

que se usa en otros campos del conocimiento. Por ejemplo, en la filosofía se plantea que el conocimiento está compuesto por creencias verdaderas justificadas⁽⁸⁶⁾.

Una consecuencia casi directa de este tratamiento es que el conocimiento típicamente *no será finito*; para observar esto, basta con considerar todas las proposiciones que pueden hacerse acerca de las posiciones actuales de los 22 jugadores en un partido de fútbol o las posiciones actuales de las piezas en un tablero de ajedrez bajo la lógica de Gambito de Dama (para tomar prestado el ejemplo de Newell y la popular serie de Netflix).

Supongamos que queremos desarrollar una aplicación para que un gran número de usuarios (a nivel global a través de Internet) puedan almacenar sus datos de genealogía⁽⁸⁷⁾ y realizar consultas pertinentes a este dominio. Esta aplicación simple basta para ilustrar los principales conceptos que hemos presentado anteriormente. Como hicimos en la sección II, los símbolos de predicado *persona*, *padre* y *madre* se utilizan para representar datos acerca de qué personas “conoce”⁽⁸⁸⁾ el sistema, y quiénes son sus progenitores. Así, podemos tener la siguiente base de datos:

<i>persona</i> (Diego)	<i>padre</i> (Chitoro, Diego)
<i>persona</i> (Chitoro)	<i>madre</i> (Tota, Diego)
<i>persona</i> (Tota)	<i>padre</i> (Diego, Dalma)
<i>persona</i> (Dalma)	<i>madre</i> (Claudia, Dalma)
<i>persona</i> (Gianinna)	<i>padre</i> (Diego, Gianinna)
<i>persona</i> (Claudia)	<i>madre</i> (Claudia, Gianinna)

Estos datos codifican parte de la ascendencia inmediata ascendente y descendiente de una persona llamada Diego. Para mantener el ejemplo simple, solo se codifican los hechos de “ser persona”, “ser padre” y “ser madre”; es claro que con facilidad se podrían almacenar muchos datos más, tales como fecha de nacimiento y defunción, domicilio, teléfono, número de identificación, lugar de trabajo, etc. Con estos datos, un usua-

(86) Ver <https://plato.stanford.edu/entries/knowledge-analysis/> (consultado el 18/04/2021).

(87) El término “genealogía” en general hace referencia a paternidad y maternidad biológica, pero también existen proyectos que mantienen la *genealogía académica* (quién fue director de quién). En particular, el *Mathematics Genealogy Project* (<https://www.mathgenealogy.org/index.php> [(consultado el 18/04/2021)]) mantiene la información ancestral de los matemáticos (incluyendo a los informáticos allegados).

(88) Para evitar sobrecargar al lector, omitiremos las comillas de este tipo en el resto del ejemplo.

rio podría realizar algunas consultas al sistema tales como: “¿Quién es el padre de Diego?”, “¿Quién es la madre de Gianinna?”, etc. Si bien esto puede ser interesante en casos de bases de datos más pobladas, se limitan a lo que puede verse como una simple búsqueda en una tabla.

Consideremos ahora el agregado de conocimiento un poco más complejo; esto puede hacerse mediante las siguientes fórmulas (llamadas reglas existenciales), similares a las vistas en la sección II⁽⁸⁹⁾.

Esto codifica un conocimiento que todos albergamos: “toda persona tiene una madre y un padre, que son a su vez personas”; nótese que solo se establece la *existencia* de dichas personas y su relación de ascendencia, lo cual no necesariamente significa que se las tiene *identificadas*. Claramente, esto lleva a inferencias infinitas⁽⁹⁰⁾.

Aquí vemos con abrumadora claridad la necesidad de codificar *estructuras potencialmente infinitas* ante conocimiento prácticamente del más básico que uno puede imaginar⁽⁹¹⁾.

Así, el sistema se ha enriquecido considerablemente, ya que ahora puede contestar preguntas que antes no podía, tales como: “¿Tiene hijos Claudia?” y “¿Tiene madre Chitoro?”. Esta última pregunta es especialmente interesante, dado que la base de datos no tiene conocimiento *explícito* de quién es la madre de Chitoro. Sin embargo, aplicando la regla, sabemos que esta persona *existe*, por lo que la pregunta tendrá respuesta positiva; por otra parte, si se realiza la pregunta más particular “¿Quién es la madre de Chitoro?”, esta deberá responderse indicando desconoci-

(89) $\text{persona}(X) \vdash \exists Y \text{ persona}(Y), \text{madre}(Y, X).$

$\text{persona}(X) \vdash \exists Y \text{ persona}(Y), \text{padre}(Y, X).$

(90) La aplicación de estas reglas a un dato como *persona(Chitoro)* nos lleva a obtener: *persona(z1)*, *madre(z1, Chitoro)* y *padre(z1, Chitoro)*.

Pero ahora tenemos una nueva persona (z1), por lo que al aplicar nuevamente la regla tendremos a su vez: *persona(z2)*, *madre(z2, z1)* y *padre(z2, z1)*, y así sucesivamente. Los símbolos de la forma “zi” se llaman *nulos*, y representan un valor desconocido hasta el momento. El procedimiento que aquí ilustramos mediante ejemplos recibe el nombre “*chase*” (del verbo en inglés que significa perseguir; en este caso, se “persiguen” las consecuencias de los datos y reglas disponibles) desarrollado en la comunidad de Teoría de Bases de Datos. Los artículos fundacionales fueron Aho, Alfred V. - Beeri, Catriel - Ullman, Jeffrey D., “The Theory of Joins in Relational Databases”, ACM Trans. Datab. Syst. 4(3):297-314, 1979 y Maier, David - Mendelzon, Alberto O. - Sagiv, Yehoshua, “Testing Implications of Data Dependencies”, ACM Trans, Datab. Syst. 4(4):455-469, 1979.

(91) Completamos el ejemplo para concluir esta discusión; dos fórmulas que podrían agregarse para completar la relación de ascendencia con la de *descendencia* (la relación dual) serían las siguientes:

$\text{madre}(X, Y) \vdash \text{hijo}(Y, X)$

$\text{padre}(X, Y) \vdash \text{hijo}(Y, X)$

miento. Así, podrían plantearse preguntas más complejas combinando estas relaciones de manera tan larga como uno desee: “¿Tiene padre la madre de la madre del padre de la madre de Diego?” (claramente, la respuesta es afirmativa). Con este ejemplo vemos la forma en que esta estructura potencialmente infinita puede “domarse”, ya que para contestar esa pregunta basta con aplicar las reglas de paternidad/maternidad cinco veces para tener la información buscada. El hecho de *no poder plantear una pregunta infinita* nos lleva entonces a que *dada una pregunta* el procedimiento pueda detenerse luego de una cantidad finita de pasos⁽⁹²⁾.

Por último, para ilustrar la flexibilidad que se tiene para expandir esta representación de conocimiento, supongamos que queremos incluir la relación de *abuela*; esto lo hacemos mediante dos fórmulas más que codifican las dos formas en que una persona puede ser abuela de otra⁽⁹³⁾. Es decir, una abuela es la madre de la madre o la madre del padre de una persona⁽⁹⁴⁾.

En conclusión, en el ajedrez se podría afirmar que las posiciones de los jugadores o piezas son finitas. Sin embargo, el poder del nivel de Conocimiento radica en *abstraerse* de los procesos simbólicos, y, por lo tanto, no se puede fijar una medida sobre estos. Entonces, si un sistema computacional genera elecciones de acciones para satisfacer metas, condicionadas en los estados del mundo; cada relación medios-fines de este tipo entonces puede verse como un “elemento” de conocimiento. Si bien podríamos ver a todo el conocimiento como una gran tabla de estos elementos, sería una tabla infinita y, por lo tanto, no computable, por lo que debe crearse de manera dinámica por demanda. Aquí es donde radica la parte “inteligente” de las herramientas de IA basadas en conocimiento.

Hasta aquí hemos ilustrado los conceptos de conocimiento, mecanismos de acceso a este y la necesidad de manipular estructuras no acotadas (es decir, potencialmente infinitas).

(92) Esta discusión necesariamente simplificada no contempla otras formas en la que la cantidad de pasos a aplicarse puede resultar no acotada; la idea clave detrás de los lenguajes de ontología como este es restringir las formas que pueden tener las reglas y las consultas para poder garantizar que o bien el procedimiento se detenga luego de una cantidad finita de pasos (lo cual recibe el nombre de *decidibilidad*) o que —no bastando esto— se detenga luego de una cantidad *no demasiado grande* de pasos (lo cual se denomina *tratabilidad computacional*).

(93) *madre* (X, Y), *madre* (Y, Z) \vdash *abuela* (Z, X).

madre (X, Y), *padre* (Y, Z) \vdash *abuela* (Z, X).

(94) Dos reglas análogas codificarían la relación de *abuelo*.