

# Inteligencia artificial y lengua española



REAL ACADEMIA ESPAÑOLA

# Inteligencia artificial y lengua española

DISCURSO LEÍDO  
EL DÍA 21 DE MAYO DE 2023  
EN SU RECEPCIÓN PÚBLICA

POR LA EXCMA. SRA.  
D.<sup>a</sup> ASUNCIÓN GÓMEZ-PÉREZ  
Y CONTESTACIÓN DEL EXCMO. SR.  
D. SANTIAGO MUÑOZ MACHADO



MADRID

2023

© Asunción Gómez-Pérez y  
Santiago Muñoz Machado. 2023  
Depósito Legal: M-16895-2023  
Impreso por: Safekat, S. L.

Discurso  
de la  
EXCMA. SRA. D.<sup>a</sup> ASUNCIÓN GÓMEZ-PÉREZ



Señora Vicepresidenta primera del Gobierno, señoras y señores académicos, señoras y señores:

**M**is primeras palabras emocionadas son de profunda sorpresa, gratitud y alegría por el gran honor que me han otorgado al elegirme para ocupar la silla *q*, vacante por el fallecimiento del Excmo. Sr. D. Gregorio Salvador Caja el 26 de diciembre de 2020. Mi agradecimiento más sincero hacia los académicos D. Pedro García Barreno, D. Luis Mateo Díez y D. Salvador Gutiérrez Ordóñez, que presentaron mi candidatura y confiaron en mis méritos.

Con gran atrevimiento me presento ante ustedes, seleccionando algunas de las palabras del discurso leído el 31 de octubre de 1920 por el académico, catedrático en la Universidad Politécnica de Madrid y polímata D. Leonardo Torres Quevedo, cuando manifestaba que era profano en achaques literarios y llegaba de tierras muy remotas. En mi caso, soy licenciada en Informática y doctora en Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial por la misma universidad.

Desde hace 30 años, he sido testigo y partícipe del progreso tecnológico digital en España. Enseño inteligencia artificial e ingeniería ontológica, y he dirigido numerosos proyectos internacionales y nacionales de investigación e innovación en la Universidad Politécnica de Madrid. Mi laboratorio está lleno de computadoras. En él imaginamos tecnologías en la frontera del conocimiento; realizamos proyectos que permiten avanzar a las Administraciones públicas, al tejido empresarial y a la industria en multitud de dominios y sectores; proyectos que, en definitiva, son por y para la sociedad. Mis inquietudes lingüísticas, no obstante, se acercan más al uso de la semántica de las palabras por las máquinas y al multilingüismo computacional que a los saberes de esta docta casa.

Manifiesto, con profunda humildad, que el que me hayan elegido para formar parte de esta honorable academia representa para mí un inmenso privilegio que nunca soñé alcanzar, a la vez que un reto y una enorme responsabilidad al ser la primera doctora en Informática, especialista en inteligencia artificial, que formará parte de vuestro Pleno. Declaro públicamente, en estas primeras palabras ante todos ustedes, el compromiso que adquiero para colaborar con mi conocimiento y esfuerzo en las tareas de esta real institución y, en particular, para contribuir en los trabajos que se me encomienden. Por un lado, mis aportaciones han de ir encaminadas a poner la inteligencia artificial al servicio de la Lengua Española, pero también a que los materiales de calidad de la Lengua Española estén en formatos apropiados para las tecnologías de la inteligencia artificial.

No puedo finalizar sin referirme a las personas de mi entorno más cercano que, de un modo más directo, han influido, me han apoyado y me han animado en mi formación y en mi carrera investigadora. Procedo, pues, de Azuaga, pueblo de la provincia de Badajoz. Crecí en una familia dedicada a las ciencias de la salud. Soy afortunada; mis padres me han dado todo tipo de facilidades para elegir en la vida y me han enseñado los valores fundamentales para actuar en consecuencia: trabajo bien hecho, esfuerzo, rigor, responsabilidad y constancia. Gracias a todos los integrantes del grupo de Ingeniería Ontológica en la Universidad Politécnica de Madrid por vuestro empeño, dedicación, entusiasmo y generosidad, y por esa curiosidad intelectual para estar permanentemente en continua evolución, imaginando nuevos retos científicos y tecnológicos en la frontera de la computación y de la inteligencia artificial. Pero nada de esto sería posible sin la impagable ayuda de mi familia y, especialmente, de mi marido Manuel Pizarro y de mis tres hijas: Carolina, Asunción y María. Conciliar la vida personal y profesional en la investigación, siendo mujer, no es tarea fácil. Gracias por vuestra comprensión y generosidad ante el tiempo no compartido y las renunciadas a tantos momentos. Sin vuestro apoyo constante no estaría yo hoy aquí, en este acto de toma de posesión del sillón  $q$  en esta Real Academia Española. Vosotros sois la  $u$  que siempre está junto a la  $q$ , y yo la  $q$  que no puede vivir sin la  $u$ .

La biografía de cada uno de nosotros es puro azar, destacaba D. Manuel Alvar López en su discurso de réplica a D. Gregorio Salvador Caja<sup>1</sup> refiriéndose a la niñez de este. Ese azar, como en los sorprendentes relatos de G. Salvador que forman parte de su libro *Casualidades*<sup>2</sup>, ha hecho que me haya correspondido la silla designada con la letra *q* minúscula y que recuerde al gran filólogo, experto en lexicología, dialectología y semántica estructural. Los méritos de Gregorio Salvador, su talento, su entrega y su pasión por la lengua fueron extraordinarios. Combinó su actividad docente con otras tareas literarias como escritor y articulista. En palabras de Manuel Alvar, era un hombre profundamente realista, con una gran carga de cultura a cuestas, y cuyos trabajos desprenden una constante agudeza y originalidad.

Oriundo de Cúllar<sup>3</sup>, Granada, Gregorio Salvador Caja (1927-2020) fue elegido en el pleno de la Academia del 5 de junio de 1986, e ingresó en la institución el 15 de febrero de 1987. Ocupó la silla *q* minúscula, que era de nueva creación, y, al no existir académico predecesor al que elogiar, en su original discurso *Sobre la letra «q»*<sup>4</sup> disertó, en-

---

<sup>1</sup> G. Salvador Caja (1987): *Sobre la letra «q»*. Discurso leído el día 15 de febrero de 1987, en su recepción pública, por el Excmo. Sr. Don Gregorio Salvador Caja y contestación del Excmo. Sr. D. Manuel Alvar López. Madrid: Imprenta Aguirre. [https://www.rae.es/sites/default/files/Discurso\\_Ingreso\\_Gregorio\\_Salvador.pdf](https://www.rae.es/sites/default/files/Discurso_Ingreso_Gregorio_Salvador.pdf)

<sup>2</sup> G. Salvador (1994): *Casualidades*. Madrid: Espasa Calpe.

<sup>3</sup> P. Álvarez de Miranda (2022): «Gregorio Salvador Caja (1927-2020): *In memoriam*». *BRAE*, tomo CII, cuaderno CCCXXV, 341-347. <https://www.rae.es/noticia/publicado-el-cuaderno-cccxxv-del-brae>

<sup>4</sup> G. Salvador Caja (1987): *Op. cit.*

salzó y reflexionó, desde el pasado, pero con la mirada puesta en el futuro, sobre el papel que le corresponde a esta letra en nuestra lengua. Ilustró su exposición hablando de «sus peculiaridades, de su origen y vicisitudes, de sus detractores y partidarios, de sus blasones y de sus flaquezas, de su evidente vulnerabilidad y de su posible razón de ser». Su discurso fue contestado en nombre de la corporación por D. Manuel Alvar López, su director de tesis doctoral, maestro, amigo y también director del *Atlas Lingüístico y Etnográfico de Andalucía*<sup>5</sup>, en el que Salvador tuvo una eficaz colaboración.

Su actividad docente comenzó en un instituto de enseñanza media. Posteriormente, ejerció como catedrático de lengua española en las universidades de La Laguna, Granada, Autónoma de Madrid y Complutense, de la que fue profesor emérito.

He seleccionado algunas frases del discurso de entrada que reflejan su amor por la lengua y su vocación de servicio a esta Academia. Gregorio Salvador se definía como «amante de esta lengua que nos une a tantos pueblos y a tantas gentes». Y seguía: «Me enorgullezco de ella. A su enseñanza, a su análisis, a su investigación, he dedicado una parte esencial de mi vida». Añadía más adelante, refiriéndose a la Institución: «Haré lo posible por no defraudar la confianza», «Prometo que cumpliré las tareas que me encomendéis». Y terminaba diciendo: «Espero con mi trabajo con-

---

<sup>5</sup> M. Alvar, con la colaboración de Antonio Llorente y Gregorio Salvador (1961-1973): *Atlas lingüístico y etnográfico de Andalucía*, 6 tomos. Granada: Universidad de Granada-CSIC.

tribuir a sus ineludibles obligaciones para con la lengua que nos une». Y así fue: solo cinco días antes de fallecer, Gregorio Salvador ocupaba el primer lugar en el escalafón de asistencias de la Real Academia, con la asombrosa cifra de 2385 asistencias<sup>6</sup>. Asimismo, prestó inestimables servicios a la institución ocupando los cargos de bibliotecario (entre 1990 y 1998), vicedirector (entre 2000 y 2007) y director de la Escuela de Lexicografía (2002-2009); ocupó también la presidencia de la Asociación de Academias de la Lengua Española entre 1992 y 1998. Como lexicógrafo, dirigió los trabajos preparatorios de la vigésima primera edición del *Diccionario de la lengua española (DRAE 1992)*, fue ponente de la comisión encargada de redactar las normas para la elaboración del *Gran diccionario de americanismos* (1996), y fue designado como delegado para la preparación de la vigésima segunda edición del *DRAE*, publicada en 2001. A todo ello se suman los encargos de ejercer la representación institucional ante otras instancias oficiales o culturales.

Sus extensos méritos<sup>7</sup> le fueron reconocidos con honores en España y más allá de nuestras fronteras: miembro de honor de la Asociación de Hispanistas de Asia y de la Asociación de la Prensa de Madrid; correspondiente de la Academia Nacional de Letras de Uruguay, de las academias Chilena y Hondureña de la Lengua, y de la Academia Ar-

---

<sup>6</sup> «*In memoriam* Gregorio Salvador Caja». *Boletín de Información Lingüística de la Real Academia Española*, número 17, 2021. <http://revistas.rae.es/bilrae/article/view/457/939>

<sup>7</sup> Real Academia Española: *Gregorio Salvador Caja*. <https://www.rae.es/academico/gregorio-salvador-caja>

gentina de Letras. Asimismo, fue académico honorario de las academias Colombiana y Nicaragüense de la Lengua. Fue presidente también de la Sociedad Española de Lingüística (1990-1994). Recibió la Medalla de Honor de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo (2004) y los premios de periodismo José María Pemán (1987), Mesonero Romanos (1995), César González Ruano (2001) y Mariano de Cavia (2004). Contaba, además, entre otros reconocimientos, con la Gran Cruz de la Orden Civil de Alfonso X el Sabio (1999) y la Medalla de Andalucía (2010).

No conocí personalmente a Gregorio Salvador, pero hubiera disfrutado aprendiendo del maestro y estudiando con él algunos aspectos que se derivan de la interpretación de la semántica estructural y de los procesos de construcción de diccionarios en un contexto interdisciplinar de lingüística e inteligencia artificial. Para mí es una gran responsabilidad tratar de relacionar el trabajo de mi predecesor en este sillón *q* —experto en lexicología y dialectología, filólogo, ensayista y crítico— con las futuras tareas de su sucesora —investigadora en inteligencia artificial, ontologías y lenguaje—. A ello vengo, al menos, con la misma ilusión, entusiasmo y responsabilidad que Gregorio Salvador demostró.

Erróneamente se piensa que muchos de los conceptos de inteligencia artificial son relativamente modernos. ¡Nada más lejos de la realidad! Desde el comienzo de los tiempos, el ser humano ha creado artilugios, herramientas y máquinas que emulan o simulan las actividades físicas o mecánicas, y le asisten en ellas; y, desde mediados del siglo xx, han aparecido máquinas y dispositivos digitales que emplean la electrónica, los semiconductores y las tecnologías de la información y comunicaciones para ayudar al hombre en el procesado de la información y en las actividades cognitivas. Sin embargo, bien puede decirse que actualmente nos encontramos ante una nueva revolución tecnológica sin precedentes, cuyo horizonte sobrepasa la digitalización y que cambiará drásticamente la forma en que vivimos, trabajamos, aprendemos y nos relacionamos.

En esta revolución, la inteligencia artificial está acompañada por otras tecnologías habilitadoras, que ya se han incorporado en muchas industrias y sectores de la actividad económica, en las Administraciones públicas, en la investigación y en las actividades cotidianas que realizamos en el tiempo de ocio y en el hogar. Al hablar de tecnologías habilitadoras, me refiero a tecnologías como la Web y la Web 2.0, que suministra datos multilingües y multimedia en la transmisión de la información; la Internet de las cosas, que proporciona datos en tiempo real en cualquier momento y lugar; el almacenamiento masivo de datos y la computación en la nube; las cadenas de bloques, tan empleadas en los ámbitos económico y financiero; y el metaverso, que

nos llevará a una realidad híbrida, entre lo físico y lo virtual, y en el que disfrutaremos de la realidad virtual y de la realidad aumentada. Al mismo tiempo, otras tecnologías se encuentran en un estado más incipiente, pues no han sido aún ampliamente adoptadas; así, la computación cuántica, la computación neuromórfica, la neurotecnología o los chips implantados en humanos para incrementar sus capacidades físicas y cognitivas están contribuyendo también a esta revolución tecnológica.

No cabe duda de que cada vez con mayor ahínco los seres humanos tratan de dotar a las máquinas, artefactos y dispositivos de capacidades propias de las personas, como pensar, razonar, hablar, entender, escribir, traducir y dialogar. La inteligencia artificial es la tecnología habilitadora que dota a sistemas y dispositivos digitales de capacidades cognitivas, tales como razonar, emplear el lenguaje, ya sea para traducir entre idiomas, mantener una conversación oral o escrita con una máquina para resolver una tarea, clasificar documentos, crear imágenes a partir de descripciones en lenguaje natural, reconocer objetos en fotografías e, incluso, aprender de nuestra conducta o costumbres, y de esa forma recomendar la compra de un producto o seleccionar la siguiente canción, por mencionar solo algunas de esas múltiples posibilidades. La tecnología evoluciona tan rápidamente que, cuando ustedes lean este discurso, nuevas invenciones estarán en nuestros bolsillos, hogares y lugares de trabajo, y, en lugar de hablar de DALL-E2, ChatGPT, Bard, o MusicLM, tendremos otros «juguetes» tecnológicos que usarán la inteligencia artificial y que abrirán portadas de periódicos.

Por ello, debemos comenzar preguntándonos: ¿qué es inteligencia?; ¿puede medirse objetivamente?; ¿pueden reproducirse fuera de su sustrato natural orgánico las funciones del cerebro humano?; ¿es posible la singularidad tecnológica?; ¿a qué distancia se está de conseguirla?; ¿entienden los modelos del lenguaje lo que escriben?; ¿razonan los modelos de lenguaje con el texto que escriben?; ¿qué impacto ambiental tiene la inteligencia artificial?; ¿debe prevalecer la regulación o la ética?, y ¿es necesario realizar una parada tecnológica?

Para responder a estas y otras preguntas, he dividido esta exposición en dos partes. En primer lugar, rescato las contribuciones más relevantes de la inteligencia artificial y del procesamiento del lenguaje natural, y describo los motivos por los que la inteligencia artificial es la tecnología del momento, a pesar de que sus orígenes datan de 1956. En la segunda parte, me adentro en el futuro para proponer con modestia cuatro retos, y un decálogo de propuestas que profundizan en la necesidad de que la Academia ponga a disposición de la inteligencia artificial sus materiales y de que la inteligencia artificial ayude a mejorar los métodos de trabajo y las herramientas de la Academia. Todo ello, sin perder de vista las actividades de observación, supervisión y verificación del uso de la lengua en la esfera digital y la necesidad de crear un ecosistema de innovación abierta de la economía de la lengua en español.

## I. DEFINICIÓN DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Comenzaré con un dato anecdótico que refuerza la importancia social del tema que nos ocupa. Recientemente, la

Fundación del Español Urgente (FundéuRAE), promovida por la Real Academia Española y la Agencia EFE, otorgó el título de palabra del año 2022<sup>8</sup> a la expresión compleja *inteligencia artificial*, que es una denominación común y, por lo tanto, debe escribirse enteramente con minúscula, si bien la sigla *IA* ha de escribirse con mayúscula.

Pero, antes de entrar en materia, es obligado revisar cómo define el diccionario las unidades léxicas *inteligencia*, *artificial* e *inteligencia artificial*, expresiones que han evolucionado en el mapa de diccionarios de la lengua española desde 1780 hasta la versión 23.6 del *DLE*, del año 2022. Actualmente, el diccionario presenta ocho acepciones de la palabra *inteligencia*. Tomo como relevantes en este contexto la primera, que se refiere a la «capacidad de entender o comprender»; la segunda, «capacidad de resolver problemas»; la tercera, «conocimiento, comprensión, acto de entender; y la quinta, «habilidad, destreza y experiencia». Además, el diccionario proporciona cuatro significados para la palabra *artificial*, de los cuales son pertinentes los tres primeros: «hecho por mano o arte del hombre»; «no natural, falso»; y «producido por el ingenio humano». Finalmente, la locución *inteligencia artificial* se incorpora al diccionario en 1992, definida como «la atribuida a las máquinas capaces de hacer operaciones propias de los seres inteligentes»; la definición se actualiza en 2001 para referirse al «desarrollo y utilización de ordenadores con los que se

---

<sup>8</sup> FundéuRAE (2022): *Inteligencia artificial es la expresión del 2022 para la FundéuRAE*. <https://www.fundeu.es/recomendacion/inteligencia-artificial-es-la-expresion-del-2022-para-la-fundeucae/>

intenta reproducir los procesos de la inteligencia humana»; y, actualmente, la inteligencia artificial se entiende como la «disciplina científica que se ocupa de crear programas informáticos que ejecutan operaciones comparables a las que realiza la mente humana, como el aprendizaje o el razonamiento lógico».

Hagamos un breve recorrido ahora por la historia de la inteligencia artificial. Debemos retrotraernos a finales de agosto de 1955, cuando los investigadores John McCarthy (del Dartmouth College), Marvin Minsky (de la Universidad de Harvard), Nathaniel Rochester (de IBM) y Claude Shannon (de los laboratorios Bell) propusieron que diez investigadores llevaran a cabo, durante un periodo de dos meses en el verano de 1956, un estudio sobre inteligencia artificial en el Dartmouth College. Plantearon demostrar la siguiente conjetura<sup>9</sup>: «Cualquier aspecto del aprendizaje o cualquier otra característica de la inteligencia puede, en principio, estar tan precisamente descrita que se puede construir una máquina para simularla. Se intentará descubrir cómo hacer que las máquinas utilicen el lenguaje, formen abstracciones y conceptos, resuelvan tipos de problemas hasta ahora reservados a los humanos y se mejoren a sí mismas». La conferencia de Dartmouth se considera el evento fundacional de este campo de estudio, que surge como una disciplina científica de la informática, aunque

---

<sup>9</sup> J. McCarthy, M. L. Minsky, N. Rochester and C. E. Shannon (1955): *A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*. <http://www-formal.stanford.edu/jmc/history/dartmouth/dartmouth.html>

comparte métodos y técnicas con otras ciencias, como las matemáticas, la estadística, la psicología, la lingüística, la filosofía y la economía, entre otras. Cuatro de los investigadores participantes obtuvieron con posterioridad el Premio Alan Turing, conocido como el Premio Nobel de la Informática: Marvin Minsky en 1969, John McCarthy en 1971 y, en 1975, Allen Newell y Herbert Simon, quien también fue premio nobel de economía en 1978.

Durante el siglo xx, el desarrollo tecnológico de la inteligencia artificial estuvo limitado por la potencia de los procesadores, por el espacio de almacenamiento de los ordenadores y por la escasez de datos disponibles. Durante estos años, los investigadores se afanaron en el diseño de algoritmos y modelos ingeniosos que pudieran ejecutarse en infraestructuras muy limitadas, para así resolver problemas complejos y evitar la explosión combinatoria del espacio de búsqueda. A modo de ejemplo, el primer asistente virtual no se llamaba Siri, Alexa o ChatGPT; se llamaba ELIZA<sup>10</sup> y fue construido en 1964. Eliza se ejecutó en una de las primeras máquinas con procesador, el IBM 3090<sup>11</sup>, que tenía 32 *kilobytes* de memoria RAM, un procesador de 32 bits, velocidad de 0,5 megahercios, y realizaba 100 000

---

<sup>10</sup> J. Weizenbaum (1966): «ELIZA. A Computer Program for the Study of Natural Language Communication between Man and Machine». *Communications of the ACM*, volume 9, number 1, 36-45. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/365153.365168>

<sup>11</sup> IBM (1987): *IBM 3090 Processor Complex Models 200E and 400E* [https://www.ibm.com/common/ssi/ShowDoc.wss?docURL=/common/ssi/rep\\_ca/3/897/ENUS187-003/index.html](https://www.ibm.com/common/ssi/ShowDoc.wss?docURL=/common/ssi/rep_ca/3/897/ENUS187-003/index.html)

operaciones en coma flotante por segundo; es decir, 100 kiloflops por segundo. El precio del IBM 3090 era de, aproximadamente, un millón de dólares, lo que equivaldría, aproximadamente, a unos 22 millones de dólares de hoy. En 2023, se puede adquirir por unos 200 euros un teléfono móvil de gama media con un procesador de seis núcleos, 64 bits, una velocidad de 2,63 gigahercios, 3 *gigabytes* de memoria RAM y un rendimiento de 786 gigaflops. Por tanto, cualquier teléfono móvil de precio reducido tiene una velocidad 5300 veces mayor y una memoria 100 000 veces mayor, y realiza 7.8 millones de operaciones en coma flotante por segundo más que el IBM3090. Previamente, en 1962, el IBM 7090, que procesaba datos a una velocidad de 24 000 operaciones por segundo y ocupaba una sala, fue el ordenador de la NASA que realizó los cálculos matemáticos que posibilitaron a John Glenn orbitar la Tierra. Katherine Johnson trabajaba en la División Segregada de Cálculo del Ala Oeste del Centro de Investigación Langley. Ella fue quien verificó que los cálculos realizados por el IBM 7090 eran correctos. Como muestra la película biográfica dirigida por Theodore Melfi *Hidden figures (Figuras ocultas)*, Johnson formó parte del grupo de personas, conocidas como computadoras, que trabajaban en la NASA realizando cálculos matemáticos antes de la incorporación de los ordenadores. Comparto con ustedes que, durante la elaboración de este discurso, he vuelto a repasar muchos de los artículos científicos publicados entonces, y realmente he disfrutado leyéndolos. ¡Qué altura intelectual la de aquellos investigadores que, con infraestructuras tan limitadas, llegaron tan lejos!

El siglo XXI ha traído nuevas infraestructuras digitales con importantes avances de ensueño en los procesadores, en la capacidad de almacenamiento y de comunicación de los ordenadores y en el desarrollo de multitud de máquinas y dispositivos interconectados, como teléfonos móviles, tabletas, robots, coches, tractores, drones, electrodomésticos, equipos de diagnóstico médico o cadenas de producción robotizadas, por mencionar solo algunos. Incluso se llega a ver al cuerpo humano como un «dispositivo» más en el que implantar chips con fines terapéuticos o de monitorización, o para mejorar y aumentar sus capacidades y transformar así la condición humana.

Los avances, como ustedes saben, requieren nuevas definiciones para términos ya existentes. Así, recientemente, la Comisión Europea ha definido los sistemas de inteligencia artificial, en el documento de guías éticas para una inteligencia artificial fiable<sup>12</sup>, como «sistemas de *software* (y en ocasiones *hardware*) diseñados por humanos que, ante un objetivo complejo, actúan en el mundo físico o digital percibiendo su entorno a través de la adquisición e interpretación de datos estructurados, semiestructurados o nada estructurados, razonando con el conocimiento, procesando la información derivada de estos datos y decidiendo las mejores acciones a realizar para alcanzar el objetivo. Los sistemas de IA utilizan modelos simbólicos para razonar, aprender mediante modelos numéricos y adaptar su comportamiento analizando cómo se ve afectado el entorno por sus decisiones previas».

---

<sup>12</sup> European Commission (2019): *Ethics Guidelines for Trustworthy AI*. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/ethics-guidelines-trustworthy-ai>

Ahora bien, dependiendo de la complejidad de la tarea que la inteligencia artificial resuelve, la literatura distingue dos tipos de inteligencia artificial: general y específica. La inteligencia artificial general es aquella que puede imitar por completo todas las capacidades relacionadas con la inteligencia, como la resolución de tareas complicadas y heterogéneas, la planificación, el aprendizaje, el razonamiento o la capacidad de abstraer y generalizar. Los investigadores Dahane, Lau y Houder plantean, en un artículo publicado en la prestigiosa revista *Science*, que, si algún día la máquina pudiera tener consciencia y ser consciente de sí misma, por ser capaz de monitorizarse y obtener información de este proceso de introspección, podría detectar sus debilidades y corregirlas, llegando así a la superinteligencia. Este es el término que se emplea para hacer referencia a la IA que supera con creces las capacidades humanas. En nuestros días, no existe esta superinteligencia artificial que sea capaz de resolver todas las tareas, simples o complejas, que se le planteen; al contrario, existen muchas inteligencias artificiales específicas que resuelven actividades concretas de forma muy satisfactoria. La tecnología avanza hacia la agregación de esas inteligencias artificiales para resolver situaciones cada vez más complejas y generalizar las soluciones a otros tipos de escenarios; por ejemplo, un coche autónomo capaz de conducir prácticamente sin intervención humana y, mientras conduce, realizar otras actividades, como calcular el camino más rápido entre dos puntos y reservar una mesa en un restaurante del gusto de los ocupantes. Esta inteligencia artificial especializada puede crecer a medida que interactúa con otras inteligencias

artificiales también especializadas, aproximándose con ello, mediante un proceso de agregación, a una inteligencia artificial general. Thomas Campbell<sup>13</sup> muestra en su artículo «Analogía de la escala de Kardashev: pensamiento a largo plazo sobre la inteligencia artificial», publicado en 2017, cómo la agregación de inteligencias artificiales puede evolucionar en el futuro hacia una superinteligencia con conciencia, lo cual nos lleva a plantear si la inteligencia artificial es motivo de preocupación o de optimismo.

## 2. MÁQUINAS CON CAPACIDADES COGNITIVAS

Como ya he mencionado, el anhelo del siglo XXI de construir máquinas con capacidades cognitivas no es nuevo. En el siglo XIX, los inventores británicos Charles Babbage y Ada Byron, y en el siglo XX Alan Turing y el español Leonardo Torres Quevedo, ya diseñaron artefactos mecánicos y eléctricos para realizar actividades cognitivas.

### *2.1. Máquinas precursoras de tipo mecánico y electromecánico*

Charles Babbage (1791-1871) diseñó la máquina analítica, de naturaleza mecánica, capaz de elaborar de forma automá-

---

<sup>13</sup> T. Campbell (2017): *Kardashev Scale Analogy: Long-Term Thinking about Artificial Intelligence*. FutureGrasp, LCC. [https://irp-cdn.multiscreensite.com/9297f8c7/files/uploaded/The%20Kardashev%20Scale-An%20AI%20Analogy\\_FINAL.pdf](https://irp-cdn.multiscreensite.com/9297f8c7/files/uploaded/The%20Kardashev%20Scale-An%20AI%20Analogy_FINAL.pdf)

tica las tablas de números —similares a las tablas de logaritmos—, que en aquella época eran instrumentos que facilitaban los cálculos numéricos; estas tablas eran usadas por personas denominadas «computadoras». El diseño de esa máquina analítica incluía la mayoría de las partes lógicas de una computadora y un «lenguaje de programación» que tomaba decisiones y ejecutaba bucles. A Ada Byron (1815-1852), también conocida como Ada Lovelace, que fue colaboradora de Babbage, se la reconoce como la primera programadora de la historia, al haber publicado el primer algoritmo destinado a ser procesado por una máquina. Más tarde, en 1910, el hijo de Babbage, Henry P. Babbage, construye una parte del dispositivo para calcular una lista de múltiplos de pi.

Aprovecho este discurso para poner de relieve al académico Leonardo Torres Quevedo (1852-1936), precursor en España de la automática y de la informática. Los inventos del ingeniero Torres Quevedo no aparecen entre los escritos más citados, pese a no ser un inventor desconocido. La tradición en lengua inglesa de la ingeniería y la técnica es, a mi entender, el principal motivo por el que se ignoraron los logros del ingeniero español. Sin embargo, es justo recordar que Torres Quevedo fue precursor de las máquinas mecánicas y electromecánicas de cálculo. Sus logros en computación e inteligencia artificial no tuvieron parangón. Ejemplos relevantes de sus invenciones son, entre otros, una máquina analógica que resolvía mecánicamente las raíces de un polinomio de grado 8, inventada en 1895 y fabricada en 1910, o la primera calculadora con consola y el aritmómetro electromecánico, presentado en 1917. Resultan también destacables los dos prototipos de ajedrecistas, de-

sarrollados en 1912 y 1920, máquinas electromecánicas capaces de responder a situaciones particulares del juego. Por último, me referiré al telekino, un autómatas que ejecuta órdenes transmitidas a distancia mediante telegrafía sin hilos para gobernar un dispositivo mecánico, que fue presentado en la Academia de Ciencias de París en 1903. En resumen, Torres Quevedo fue un precursor exitoso en la programación de máquinas, en el cálculo y en la creación de los primeros autómatas funcionales. Todos ellos se custodian y muestran en el Museo Torres Quevedo<sup>14</sup>, ubicado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid.

Pero fue Alan Turing (1912-1954), conocido por descifrar los códigos nazis de la máquina Enigma durante la Segunda Guerra Mundial, quien planteó en 1950 la pregunta<sup>15</sup>: «¿pueden pensar las máquinas?». En su artículo, Turing limita el concepto de «máquinas pensantes» a las computadoras digitales formadas por un almacén de información, por unidades de ejecución que llevan a cabo las operaciones individuales, y el control que cumple con las instrucciones en el orden establecido, aunque puedan existir operaciones sustituibles por otras hasta que alguna condición sea satisfecha. Es en este contexto en donde Turing propone el juego de la imitación, que da lugar al conocido test de Turing, que

---

<sup>14</sup> Universidad Politécnica de Madrid: *Museo Torres Quevedo*. <https://www.upm.es/UPM/MuseosUPM/MuseoTorresQuevedo>

<sup>15</sup> A. Turing (1950): «Computing Machinery and Intelligence». *Mind*, 59, 433-460. <https://www.jstor.org/stable/2251299?origin=JSTOR-pdf>

consiste en plantear una pregunta a un humano y a una máquina. Si el interrogador no es capaz de diferenciar la respuesta dada por el humano y la máquina, el sistema pasa con éxito el test de Turing, lo que supone que la máquina exhibe un comportamiento inteligente. Turing finaliza su artículo proponiendo que las máquinas finalmente compitan con las personas en actividades intelectuales como el juego del ajedrez o la comprensión y el habla en inglés. Pero A. Turing ya había introducido ideas y conceptos de inteligencia artificial en «Maquinaria Inteligente»<sup>16</sup>, un artículo anterior —a pesar de que no se publicó hasta 1967— considerado el primer manifiesto de la inteligencia artificial.

## 2.2. *El lenguaje de los ordenadores*

Fue durante la Segunda Guerra Mundial cuando se construyeron los primeros ordenadores digitales: el ABC y el

---

<sup>16</sup> A. Turing redactó «Intelligent Machinery» en 1947; fue publicado en 1967 y está disponible en <https://weightagnostic.github.io/papers/turing1948.pdf>. En el capítulo tercero del libro de Pamela McCorduck (2003) *Machines Who Think: A Personal Inquiry into the History and Prospects of Artificial Intelligence*, de la editorial A K Peters, la autora presta especial atención a A. Turing y le identifica como responsable de muchos de los primeros trabajos en inteligencia artificial. En dicho capítulo también habla de John von Neumann, quien sostuvo la opinión, opuesta a la de Turing, de que las computadoras nunca serían capaces de pensar. J. Von Neumann (1903-1957) es conocido por la arquitectura de computadoras digitales que lleva su nombre, y que consta de un sistema de entrada/salida, una memoria principal, una memoria externa, una unidad de procesamiento y una unidad de control.

ENIAC. Los pioneros de la tecnología informática adoptaron un sistema de codificación para traducir los números y las letras, las palabras, las frases, los párrafos y cualquier texto alfanumérico a un código binario que los ordenadores pudieran manejar para procesar la información. Este código binario, como su nombre indica, solo dispone de dos dígitos: el cero (0) y el uno (1). El código binario tiene sus orígenes en la aritmética binaria, cuya formulación más conocida es la de Gottfried Leibniz<sup>17, 18</sup> (1646-1716), que incluye las operaciones de adición, sustracción, producto y división.

Para profundizar en el concepto de las computadoras digitales y posteriormente discernir si las máquinas pueden pensar o mostrar habilidades cognitivas, es necesario reflexionar sobre el uso del sistema binario, también conocido como codificación en base dos, para representar la información en la computadora. Frente al sistema binario, el sistema decimal, que es el que normalmente usamos, está compuesto por 10 dígitos (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9). Los dígitos del sistema binario se pueden combinar para representar todos los valores numéricos posibles en base 10. Por ejemplo, en una secuencia de cinco dígitos en el sistema binario, el 00001 se corresponde en el sistema decimal con

---

<sup>17</sup> B. C. Look (2013): «Gottfried Wilhelm Leibniz». *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. <https://plato.stanford.edu/entries/leibniz/>

<sup>18</sup> Predecesores fueron el matemático hindú Pingala (<https://es.mathigon.org/timeline/pingala>); Francis Bacon, que en 1605 hizo referencia a un sistema para reducir las letras del alfabeto a secuencias de números binarios; y Juan Caramuel Lobkowitz, autor de *Mathesis biceps* (1670), que también describe el sistema binario años antes que Leibniz.

el número 1, la secuencia 00010 con el número 2, la secuencia 00100 con el número 4, la secuencia 01000 con el número 8, y la secuencia 10000 con el número 16. La aritmética de Leibniz propuesta en el siglo xvii permite realizar operaciones en base 2 de tal forma que producen su equivalente en el sistema decimal.

Dado que las computadoras digitales se sirven del sistema binario y los seres humanos nos valemos del lenguaje para formar frases que contienen palabras, números y símbolos de un alfabeto, es necesario transformar cualquier texto alfanumérico en secuencias de ceros y unos, de forma que un computador pueda almacenarlo, procesarlo y extraerlo. En 1963 se aprueba el código ASCII, que es el primer estándar para el intercambio de información con 8 bits y al cual seguirán otros sistemas de codificación. El formato estándar de nuestros días se llama UNICODE, y pauta los códigos en que los dispositivos electrónicos han de almacenar, intercambiar y visualizar datos y textos en multitud de idiomas. Permite numerosos alfabetos, distingue entre las minúsculas y mayúsculas del alfabeto latino, los números del 0 al 9, el espacio en blanco para separar palabras, los caracteres de puntuación, los símbolos matemáticos, los símbolos de monedas y los emoticones, entre otros.

A modo de ejemplo, veamos cómo se representa la letra *q*. En el código ASCII, la letra *q* minúscula se representa mediante el valor en base decimal 113 y la secuencia de ocho dígitos 01110001; la letra *Q* mayúscula se representa como 01010001, lo que corresponde en base decimal al número 81; y la letra *u* minúscula se representa como 01110101, cuya correspondencia en base decimal es el nú-

mero 117. De esta forma, el código binario que representa la letra *q* minúscula seguida de su vocal de escolta se representaría como 01110001 01110101, lo que se corresponde con la secuencia de dos números decimales: 113 117. Así, cualquier texto se puede transformar en un conjunto de ceros y unos. Si tomamos como ejemplo el comienzo del Quijote, el texto «En un lugar de la Mancha, de cuyo nombre no quiero acordarme» se representa, con el código ASCII en binario, de la siguiente manera:

```

01000101 01101110 00100000 01110101 01101110
00100000 01101100 01110101 01100111 01100001
01110010 00100000 01100100 01100101 00100000
01101100 01100001 00100000 01001101 01100001
01101110 01100011 01101000 01100001 00101100
00100000 01100100 01100101 00100000 01100011
01110101 01111001 01101111 00100000 01101110
01101111 01101101 01100010 01110010 01100101
00100000 01101110 01101111 00100000 01110001
01110101 01101001 01100101 01110010 01101111
00100000 01100001 01100011 01101111 01110010
01100100 01100001 01110010 01101101 01100101
00101100 00100000

```

En decimal como

```

69 110 32 117 110 32 108 117 103 97 114 32 100 101 32
108 97 32 77 97 110 99 104 97 44 32 100 101 32 99 117
121 111 32 110 111 109 98 114 101 32 110 111 32 113 117
105 101 114 111 32 97 99 111 114 100 97 114 109 101

```

Y en Unicode como la secuencia



dizaje se realiza principalmente utilizando técnicas estadísticas mientras que el razonamiento se realiza con palabras y las leyes de la lógica. Estos dos enfoques, bien diferenciados, aunque complementarios, han dado lugar a la inteligencia artificial subsimbólica, que es la que aprende, y a la inteligencia artificial simbólica que es la que razona y explica los resultados alcanzados.

Veamos en primer lugar el álgebra de Boole<sup>20</sup>, que fue propuesta en 1854 por el matemático y lógico George Boole (1815-1864), conocido como uno de los padres de la ciencia de la computación. Esta álgebra está formada por un conjunto de variables que solo pueden tomar dos valores, uno o cero, para representar los estados abierto o cerrado, encendido o apagado, todo o nada, cierto o falso. El álgebra booleana se define por tres operaciones básicas—que representan el complementario, la suma y el producto de las variables y que, en lógica, se corresponden con la negación, la disyunción y la conjunción, respectivamente— y por un conjunto de axiomas que permiten deducir y demostrar teoremas. Con las variables y las tres operaciones se pueden construir fórmulas lógicas, que son interpretadas al asignar los valores cero o uno a las variables. Ya a principios del siglo xx, entre 1910 y 1913, Alfred Whitehead y Bertrand Russell culminaron el trabajo de Boole en *Principia Mathematica*<sup>21</sup>, que es la obra emblemática de la

---

<sup>20</sup> G. Boole (1854): *An Investigation of the Laws of Thought on Which are Founded the Mathematical Theories of Logic and Probabilities*.

<sup>21</sup> B. Russell (1903): *The Principles of Mathematics*. Cambridge: Cambridge University Press.

lógica formal, pues define nociones matemáticas en términos de nociones lógicas y deriva principios matemáticos, así definidos, a partir de principios lógicos. La parte de la inteligencia artificial que está basada en la lógica recibe el nombre de inteligencia artificial simbólica.

Unos años más tarde, en 1936, Claude Shannon (1916-2001) se sirvió del álgebra de Boole para describir cómo funcionan los circuitos eléctricos usando símbolos que representan el estado y las conexiones de los circuitos y su correspondiente interpretación en el cálculo proposicional. Con los símbolos se modeliza un sistema de ecuaciones cuyas variables representan los relés y los conmutadores del circuito. Shannon desarrolló un sistema de cálculo matemático para manejar las ecuaciones de forma similar a los algoritmos algebraicos. También demostró que el cálculo era exactamente análogo al cálculo proposicional empleado en el estudio simbólico de la lógica y que su método permitía diseñar circuitos sencillos y equivalentes. En palabras de Borrajo<sup>22</sup> y otros investigadores, Shannon estableció la conexión entre la expresión formal de la lógica y un medio para automatizar esa lógica con circuitos eléctricos. De acuerdo con McCorduck, no es descabellado plantearse que, si las leyes del pensamiento pueden expresar la conducta de circuitos electrónicos, los circuitos electrónicos podrían expresar el pensamiento.

Como alternativa al álgebra de Boole surge la cibernética, término acuñado por Wiener y que el diccionario de

---

<sup>22</sup> D. Borrajo, N. Juristo, C. Montes y J. Pazos (1993): *Inteligencia artificial: métodos y técnicas*. Ed. CEURA.

la Academia define como la «ciencia que estudia las analogías entre los sistemas de control y comunicación de los seres vivos y los de las máquinas». En 1943, en el ensayo «Comportamiento, utilidad y teleología»<sup>23</sup>, los investigadores Rosenblueth, Wiener y Bigelow estudiaron las analogías y diferencias en el comportamiento, utilidad y teleología de dispositivos electrónicos y sistemas biológicos. Ese mismo año, McCulloch y Pitts<sup>24</sup>, fundamentándose en el carácter de «todo o nada» de la actividad nerviosa, pretendían que las computadoras pudieran imitar la cognición humana mediante lo que se conoce actualmente como células de McCulloch y Pitts. Este tipo de células (actualmente neuronas artificiales) recibían varias entradas con sinapsis excitadoras e inhibitorias. Este modelo no se basó en el conocimiento biológico detallado de la célula, sino en la correspondencia entre el comportamiento activo-inactivo de la neurona y su similitud con el comportamiento encendido-apagado de los interruptores, que supuestamente sería suficiente para diseñar un modelo del sistema neuronal y así proporcionar un comportamiento inteligente basado en el código binario. Este modelo de célula artificial dio lugar a la rama de la inteligencia arti-

---

<sup>23</sup> A. Rosenblueth, N. Wiener and J. Bigelow (1943): «Behavior, Purpose and Teleology». *Philosophy of Science*, 10, 18-24. <https://www.cambridge.org/core/journals/philosophy-of-science/article/abs/behavior-purpose-and-teleology/73ACBBEC616CE78767088694F357D57B>

<sup>24</sup> W. S. McCulloch and W. Pitts (1943): «A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity». *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5, 115-133.

ficial denominada conexionista y puede considerarse como el precursor de las redes de neuronas artificiales y del aprendizaje profundo, que forma parte de las técnicas de la inteligencia artificial subsimbólica.

### 3. INTELIGENCIA ARTIFICIAL SUBSIMBÓLICA Y SIMBÓLICA

Para entender la evolución y el impacto económico, social, medioambiental, ético y legal de la inteligencia artificial en sus dos ramas, subsimbólica y simbólica, es conveniente recordar que esa evolución está ligada a los avances del *hardware*, al volumen de los datos y a los modelos y algoritmos que representan el conocimiento y habilitan el razonamiento y el aprendizaje. Estos dos enfoques, bien diferenciados aunque complementarios, se distinguen no solo en la forma en la que representan los datos, la información y el conocimiento, sino también en el modo de usarlos.

El enfoque subsimbólico se centra en el aprendizaje automático de modelos numéricos a partir de grandes cantidades de datos. Permite, entre otras tareas, realizar predicciones y resolver problemas de clasificación, mejorando en algunos casos el rendimiento humano en tareas de reconocimiento de imágenes, audio o procesamiento del lenguaje natural. A este enfoque pertenecen las técnicas que utilizan la estadística, las redes de neuronas artificiales, los modelos computacionales bioinspirados en la estructura y el funcionamiento del cerebro que emplean algoritmos, principalmente basados en el cálculo numérico, para intentar reproducir el proceso biológico del aprendizaje. Las redes de neuronas con múlti-

ples capas de procesamiento aprenden a realizar una tarea a partir de cantidades ingentes de datos. Cuando se aplican al procesamiento del lenguaje natural, estos sistemas de aprendizaje profundo no manejan palabras, sino representaciones numéricas de la información, como valores escalares, vectores o matrices multidimensionales.

Por otro lado, las técnicas del enfoque simbólico emplean símbolos alfanuméricos —es decir, palabras— y reglas lógicas para representar los datos y los conocimientos que los humanos tienen acerca de un dominio para, posteriormente, generar nuevo conocimiento mediante procesos de inferencia o de razonamiento. Bajo este enfoque, los modelos computacionales se valen de técnicas basadas en lógica formal, heurísticas, ontologías o grafos de conocimientos. Los motores de inferencia realizan normalmente razonamiento deductivo y aplican heurísticas para limitar las opciones de búsqueda y reducir la explosión combinatoria, así como para extraer nuevos datos y conocimiento a partir de los existentes.

Como ustedes bien conocen, la palabra *ontología* procede del griego ὄν, ὄντος, que significa ‘ente’ y ‘ser’, y de -λογία, que significa ‘tratado, estudio, ciencia’. La ontología es la rama de la metafísica que trata del ser en general y de sus propiedades trascendentales. De la misma forma que un diccionario recoge las palabras de una lengua acompañadas de su definición, equivalencia o explicación en un lenguaje natural, que incluye relaciones semánticas con otras palabras, las ontologías en informática recogen los conceptos de un dominio dado, junto con sus propiedades y sus relaciones con otros conceptos, de forma que pueda

entenderlos tanto una persona como un sistema de inteligencia artificial.

Veamos todo ello con un ejemplo: el autor de una obra participa en ella como escritor, compositor, retratista o realizador audiovisual. La creación intelectual, que es la obra, puede ser una novela, una canción, un retrato o un vídeo. Para describir al autor, utilizamos propiedades como el número de su documento nacional de identidad, el nombre y los apellidos, el lugar de nacimiento o la fecha de nacimiento, entre otras. Para identificar la obra, también utilizamos propiedades, como el título o la fecha de creación, entre otras. Y así, al construir la ontología computacional, comenzamos a pensar en las propiedades que describen al escritor, al retratista, a la novela y al retrato, y, especialmente, nos fijamos en las propiedades que diferencian al escritor del retratista y a la novela del retrato.

Siguiendo con esta comparación, vemos que, en la ontología, los conceptos se conectan con otros conceptos mediante relaciones de clasificación que permiten construir taxonomías en las que se manifiestan la hiponimia y la hiperonimia; por ejemplo, los conceptos «escritor» y «retratista» son más específicos que el concepto «autor», o los conceptos «novela» y «retrato» son más específicos que el concepto «obra». Los conceptos también se relacionan mediante relaciones meronímicas o de agregación, que permiten representar las relaciones de «parte de» o «composición». Por ejemplo, un «libro» en papel está formado por la «portada», la «contraportada» y muchas «hojas de papel»; o una «colección» está formada por un conjunto ordenado de «novelas», como los *Episodios nacionales* de Benito Pérez Galdós. Ade-

más, los conceptos de la ontología se relacionan entre sí mediante relaciones específicas del dominio. Por ejemplo, la relación «autor de» se emplea para representar la relación entre el autor y la obra; la relación «escribe» sirve para representar la relación entre el escritor y la novela, y «escrito por» para representar la relación entre la novela y su escritor; por su parte, la relación «retrata» sirve para representar la relación entre el retratista y el retrato, y «retratado por» para representar la relación entre el retrato y el retratista.

La ontología computacional permite representar la evolución temporal de los conceptos. Por ejemplo: el boceto es previo al retrato; o una exposición temporal está compuesta por retratos que son cedidos y no siempre tienen que ser los mismos.

A esto se añade el hecho de que las ontologías permiten que los sistemas de inteligencia artificial puedan integrar datos procedentes de fuentes heterogéneas porque conocen lo que significa un dato, es decir, la semántica de ese dato. De esta forma, la ontología resuelve los problemas derivados de la polisemia, porque elimina la ambigüedad de la expresión lingüística al clasificarla en el concepto al que se refiere. Pensemos ahora en Miguel de Cervantes. Mayoritariamente se piensa en el ilustre escritor. Sin embargo, esta expresión lingüística da nombre a calles de municipios y ciudades, colegios, plazas, bibliotecas, hoteles, etc. Las personas somos capaces de reconocer el significado de la expresión lingüística en función del contexto en el que aparece. También sabemos que la calle tiene un punto de comienzo y otro de fin; y que el colegio, la biblioteca o el hotel tienen una geolocalización, un código postal y un número de telé-

fono. Por otra parte, el colegio tiene un número de estudiantes y una plantilla de profesores, la biblioteca un número de obras y el hotel un número de habitaciones. En cambio, el escritor tiene una fecha de nacimiento y de defunción que no tienen los otros conceptos. Por ello, si un sistema de inteligencia artificial agrega datos de entidades que se llaman «Miguel de Cervantes» utilizando ontologías, no podrá asignar un número de teléfono, un código postal y una geolocalización al escritor, o una fecha de nacimiento y defunción a una plaza.

En otras palabras, lo que tienen en común las ontologías, tanto en filosofía como en informática, es el intento de representar cualquier concepto o abstracción que existe. Mientras que en filosofía la ontología trata del ser fundamentalmente, en informática las ontologías son representaciones consensuadas, procesables por máquinas, para que los sistemas de inteligencia artificial puedan categorizar y entender los principales conceptos de un dominio, sus propiedades e interrelaciones con otros conceptos para posteriormente razonar con ellos. En definitiva, las ontologías computacionales proporcionan a los sistemas de inteligencia artificial terminologías consensuadas procesables por máquinas que describen algún aspecto de la realidad.

#### 4. PRINCIPALES APORTACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Durante los primeros años de la inteligencia artificial, el enfoque simbólico, al que ya me he referido, irrumpe con

fuerza a causa de las limitaciones de los procesadores, la memoria RAM y la capacidad de almacenamiento de las computadoras de la época. En los años cincuenta, científicos como Allen Newell, Herbert Simon y Cliff Shaw demostraron que un ordenador puede realizar más tareas que la mera realización de cálculos matemáticos (recuérdese que los primeros ordenadores sustituyeron a las computadoras, personas que realizaban cálculos matemáticos), al almacenar y manipular símbolos y, de esta forma, simular aspectos de la inteligencia humana. Estos investigadores construyeron en 1956 el Teórico Lógico<sup>25</sup>, que es el primer programa de inteligencia artificial que realizaba un razonamiento automatizado. Este programa probó 38 de los primeros 52 teoremas de los *Principia Mathematica* de Whitehead y Russell, y encontró nuevas pruebas y demostraciones más elegantes para algunos de los teoremas. Esta contribución introdujo tres conceptos fundamentales en la inteligencia artificial simbólica: el razonamiento deductivo como técnica de inferencia; el uso de reglas, también llamadas heurísticas, para reducir la explosión combinatoria del espacio de búsqueda a un tamaño manejable, y un lenguaje de programación llamado IPL, antecesor del lenguaje LISP<sup>26</sup>, que procesaba listas simbólicas. Al Teórico Lógico le siguió en 1958 el Método General de Resolución de Pro-

---

<sup>25</sup> A. Newell and H. Simon (1956): *The Logic Theory Machine: a Complex Information Processing System*. The RAND Corporation. P-868.

<sup>26</sup> J. McCarthy (1960): *Recursive Functions of Symbolic Expressions and Their Computation by Machine*. Part I. Massachusetts Institute of Technologies.

blemas<sup>27</sup>, desarrollado por los mismos autores. Otras contribuciones importantes en la década de los sesenta fueron el lenguaje de programación LISP, inventado por J. McCarthy; la lógica difusa<sup>28</sup>, de Lotfi Zadeh; el ya mencionado programa de comunicación persona-ordenador llamado Eliza, de Weizenbaum<sup>29</sup>; las redes semánticas<sup>30</sup> de Quillian para representar conocimientos de dominio en modelos computacionales, utilizando palabras como las que emplean los seres humanos; y el primer sistema experto, llamado Dendral<sup>31</sup>, que realizaba razonamiento científico formulando hipótesis y automatizaba la toma de decisiones en el dominio de la química orgánica. En el ámbito de la robótica, el robot Shakey<sup>32</sup> integraba numerosas técnicas

---

<sup>27</sup> A. Newell, J. C. Shaw and H. A. Simon (1958): *Report on a General Problem-Solving Program*. The RAND Corporation. P-1584. [https://digitalcollections.library.cmu.edu/node/32154?search\\_api\\_fulltext=](https://digitalcollections.library.cmu.edu/node/32154?search_api_fulltext=)

<sup>28</sup> L. A. Zadeh (1965): «Fuzzy Sets». *Information and Control*, 8 (3), 338-353. doi:10.1016/S0019-9958(65)90241-X

<sup>29</sup> J. Weizenbaum (1966): «ELIZA. A Computer Program for the Study of Natural Language Communication between Man and Machine». *Communications of the ACM*, volume 9, number 1, 36-45. doi:10.1145/365153.365168. [http://www.universelle-automation.de/1966\\_Boston.pdf](http://www.universelle-automation.de/1966_Boston.pdf)

<sup>30</sup> M. R. Quillian (1968): «Semantic Memory». In Marvin L. Minsky (ed.), *Semantic Information Processing*. MIT Press, 227-270.

<sup>31</sup> B. G Buchanan and E. A. Feigenbaum (1978): «DENDRAL and Meta-DENDRAL: Their Applications Dimension». *Artificial Intelligence*, 11, 5-24.

<sup>32</sup> P. E. Hart, N. J. Nilsson and B. Raphael (1968): «A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths». *IEEE Transac-*

de inteligencia artificial, porque percibía su entorno con una cámara, era capaz de moverse autónomamente y razonaba sobre sus propias actuaciones, gracias al algoritmo de búsqueda A\* (leído como «a estrella»), que calculaba el camino más corto entre dos puntos, y al planificador STRIPS<sup>33</sup>, que le permitía decidir qué acción debía realizar en cada momento. Así, Shakey abría y cerraba puertas, encendía y apagaba luces, empujaba objetos móviles que encontraba a su alrededor o se movía de una habitación a otra. En febrero de 2017, la prestigiosa organización americana IEEE reconoció a Shakey como el primer robot móvil inteligente.

En cuanto al enfoque conexionista de redes de neuronas, uno de los pioneros fue Frank Rosenblatt (1928-1971), quien, basándose en los trabajos de Santiago Ramón y Cajal, McCulloch y Pitts, así como en el contexto de las teorías cibernéticas de Wiener, desarrolló en 1958 una red de neurona artificial de una capa, junto con su algoritmo de aprendizaje, a la que llamó Perceptron<sup>34</sup> y que programó en un IBM 704 de válvulas de vacío que realizaba

---

*tions on Systems Science and Cybernetics*, 4 (2), 100-107. doi:10.1109/TSSC.1968.300136

<sup>33</sup> R. Fikes and N. J. Nilsson (1971): «STRIPS: A New Approach to the Application of Theorem Proving to Problem Solving». *Artificial Intelligence*, 2, 189-208. <https://ai.stanford.edu/users/nilsson/Online-Pubs-Nils/PublishedPapers/strips.pdf>

<sup>34</sup> F. Rosenblatt (1958): «The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain». *Psychological Review*, 65 (6), 386-408. <https://doi.org/10.1037/h0042519>

inicialmente 40 000 flops<sup>35</sup>. La máquina Mark I Perceptron fue la primera implementación del algoritmo del Perceptron. Este computador se destinó a reconocer imágenes, y fue también el primero en clasificar fotos de hombres y mujeres después de haber sido entrenado. Sin embargo, como la mayoría de los modelos subsimbólicos, carecía de una representación interna simbólica o explícita acerca de cómo realizar el proceso de clasificación. En 1959, el término *aprendizaje automático*<sup>36</sup> fue acuñado por Arthur Samuel como sinónimo de la capacidad de las máquinas para enseñarse a sí mismas o de aprender sin ser programadas por un humano. Para ilustrarlo se sirvió del juego del ajedrez. Sin embargo, en 1969, Marvin Minsky y Seymour Papert<sup>37</sup> ponen de relieve las dificultades del Perceptron a la hora de resolver problemas de clases que no son linealmente o claramente separables y, en consecuencia, la investigación y desarrollo en redes de neuronas artificiales queda estancada hasta mediados de los años ochenta.

A la vista de esta evolución, podemos decir que, hasta los años setenta, los investigadores crearon algoritmos y modelos ingeniosos que resolvían problemas sencillos que necesitaban pocos datos, principalmente debido a las enormes limitaciones de los procesadores de las computadoras de aquellos años y a su elevado coste. Durante estos

---

<sup>35</sup> [https://amturing.acm.org/info/corbato\\_1009471.cfm](https://amturing.acm.org/info/corbato_1009471.cfm)

<sup>36</sup> A. L. Samuel (1959): «Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers». *IBM Journal of Research and Development*, 3 (3), 210-229.

<sup>37</sup> M. Minsky and S. Papert (1969): *Perceptrons*. The MIT Press. <https://mitpress.mit.edu/9780262630221/perceptrons/>

años iniciales, algunos científicos realizaron predicciones desmesuradas sobre los resultados a los que llegaría esta disciplina, fallando en sus pronósticos. Así, en 1958, Rosenblatt señalaba en el *New York Times*<sup>38</sup> que «el Perceptron sería el embrión de una computadora electrónica que caminaría, hablaría, miraría, escribiría, se reproduciría y sería consciente de su existencia». El premio nobel de economía Herbert Simon<sup>39</sup> predijo en 1960 que «las máquinas serían capaces, dentro de 20 años, de realizar cualquier trabajo que los hombres pueden hacer». Marvin Minsky<sup>40</sup> anunció en 1967 que «en una generación, el problema de crear inteligencia artificial estaría sustancialmente resuelto».

Sin embargo, los años 1972 y 1973 fueron claves en el declive de esta ciencia incipiente, provocando lo que se ha llamado el primer invierno de la inteligencia artificial. En 1972, Dreyfus<sup>41</sup>, en su libro *Lo que los ordenadores aún no pueden hacer: una crítica del razonamiento artificial*, analiza-

---

<sup>38</sup> M. Olazaran (1996): «A Sociological Study of the Official History of the Perceptrons Controversy». *Social Studies of Science*, 26 (3), 611-659. doi:10.1177/030631296026003005. JSTOR 285702. S2CID 16786738

<sup>39</sup> H. A. Simon (1960): «Organizational Design: Man-Machine Systems for Decision Making. Lecture III. April 7, 1960». In *The New Science of Management Decision*. New York: Harper & Row, p. 38. (Verified with scans).

<sup>40</sup> M. Minsky (1967): *Computation: Finite and Infinite Machines*. Prentice-Hall.

<sup>41</sup> H. L. Dreyfus (1972): *What Computers Can't Do: A Critique of Artificial Reason*. The MIT Press.

ba que los principales problemas de la inteligencia artificial simbólica se encuentran en la representación del conocimiento de sentido común y el cuello de botella que supone la adquisición del conocimiento del entorno. Coetáneamente, el informe Lighthill<sup>42</sup>, encargado por el Consejo Británico de Investigación Científica, presentó un pronóstico muy pesimista de la inteligencia artificial. El informe afirmaba que, en los últimos 25 años, los descubrimientos realizados no habían producido el impacto prometido en los años 50, y criticaba que los investigadores se valían de pocos datos para evitar así la explosión combinatoria de los problemas del mundo real. El informe Lighthill originó una reducción en los fondos destinados a investigación en las universidades británicas y coincidió en el tiempo con el cambio estratégico de DARPA<sup>43</sup>, que pasó a financiar proyectos en vez de financiar instituciones.

Para evitar la explosión combinatoria y reducir los problemas a un tamaño adecuado para que se pudieran ejecutar en las computadoras tan limitadas de aquellos años, se postuló la representación del conocimiento de dominio, y especialmente el uso de heurísticas, como el elemento clave en el desarrollo de sistemas expertos. Durante los años 70, se construyó el sistema experto Mycin, que aplicaba reglas con factores de certeza para representar el conocimiento

---

<sup>42</sup> J. Lighthill (1973): «Part I: Artificial Intelligence: A General Survey». In *Artificial Intelligence: A Paper Symposium*. Cambridge University. <https://www.aiai.ed.ac.uk/events/lighthill1973/lighthill.pdf>

<sup>43</sup> E. M. Phillips (1999): *If it Works, It's not AI: A Commercial Look at Artificial Intelligence Startups*. Ph. D Thesis. MIT.

con incertidumbre en el diagnóstico y terapia médica; y Minsky, en 1974, propuso los marcos<sup>44</sup> como técnica para representar conocimiento simbólico.

En la siguiente década, los años ochenta, surge la primera primavera de la inteligencia artificial. La industria pasó de unos pocos millones de dólares en 1980 a miles de millones de dólares en 1988, gracias a la popularidad de los sistemas expertos. Otros avances relevantes, con impacto en nuestros días, son las redes bayesianas<sup>45</sup> de Judea Pearl, las primeras ontologías del proyecto Cyc y el algoritmo de retropropagación del gradiente del error para el entrenamiento de redes de neuronas artificiales con capas ocultas. Este algoritmo fue desarrollado por el psicólogo David Rumelhart<sup>46</sup> y los investigadores Geoffrey Hinton (Premio Turing en 2018 y Princesa de Asturias 2022) y Ronald Williams, y en el segundo decenio del siglo XXI resultó clave para el desarrollo del denominado «aprendizaje profundo».

---

<sup>44</sup> M. Minsky (1974): *A Framework for Representing Knowledge*. MIT-AI Laboratory Memo 306. <https://web.media.mit.edu/~minsky/papers/frames/frames.html>

<sup>45</sup> J. Pearl (1985): *Bayesian Networks: A Model of Self-Activated Memory for Evidential Reasoning* (UCLA Technical Report CSD-850017). Proceedings of the 7th Conference of the Cognitive Science Society, University of California, Irvine, CA., 329-334. Retrieved 2009-05-01. [https://ftp.cs.ucla.edu/tech-report/198\\_-reports/850017.pdf](https://ftp.cs.ucla.edu/tech-report/198_-reports/850017.pdf)

<sup>46</sup> D. Rumelhart, G. Hinton and R. Williams (1986): «Learning representations by back-propagating errors». *Nature*, 323, 533-536. <https://www.nature.com/articles/323533a0#citeas>

También en los años 80, comienza el proyecto Cyc<sup>47</sup>, que pretendía construir un sistema que tuviera el sentido común humano. Para ello disponía de cuatro componentes: un lenguaje formal muy expresivo, basado en la lógica para representar el conocimiento; una ontología computacional para representar los conocimientos de sentido común; una gran base de conocimientos para almacenar grandes cantidades de datos que se describen con una ontología; y un motor de inferencia para razonar con la ontología y los datos. Este proyecto fue el precursor de las ontologías computacionales tal como las conocemos actualmente.

Pero no fueron suficientes los avances de los años ochenta. Poco después, llegó el segundo invierno de la inteligencia artificial, porque el *hardware* de los sistemas de inteligencia artificial eran máquinas LISP, que difícilmente se integraban con los sistemas que manejaba la industria. En esas fechas, a mediados de los años 90, también decae el interés por las redes de neuronas artificiales. Aunque, teóricamente, el algoritmo de retropropagación del gradiente se puede aplicar a redes de neuronas artificiales —con cualquier número de capas ocultas— para resolver problemas complejos, la falta de capacidad de cómputo y disponibilidad de grandes volúmenes de datos impide que se pueda llevar a cabo.

Tras este periodo de desgaste, comienza una segunda primavera. A ello contribuye el hecho de que los investigadores y la industria comienzan a abandonar las arquitecturas LISP

---

<sup>47</sup> D. Lenat and R. V. Guha (1990): *Building Large Knowledge-Based Systems: Representation and Inference in the Cyc Project*. Addison-Wesley.

en favor de las estaciones de trabajo de IBM y de Sun Microsystems, las cuales, al estar conectadas a Internet y disponer de nuevos sistemas operativos, procesadores y memorias, retaban a los investigadores a que abandonaran los problemas «de juguete» y se pasaran a ejecutar los algoritmos en estas nuevas plataformas, para resolver problemas del mundo real.

Este resurgir se vio afianzado por un hito muy relevante en 1997, cuando Deep Blue ganó al campeón mundial de ajedrez, que en aquellos momentos era Kasparov. Deep Blue era una computadora de procesamiento paralelo masivo construida por IBM, que utilizaba un algoritmo de fuerza bruta y era capaz de calcular 200 millones de posiciones por segundo. ¡Causó enorme alegría en la comunidad de la inteligencia artificial ver al campeón Kasparov renunciar a seguir jugando y abandonar la sala agitando con desesperación las manos sobre la cabeza!

En la década de los noventa, las ontologías computacionales se convierten en un área de investigación de gran relevancia, pues proporcionan piezas de conocimientos que se pueden reutilizar para favorecer el intercambio de datos entre aplicaciones heterogéneas que comparten el mismo modelo. Entre las contribuciones más relevantes de estos años cabe mencionar la metodología METHONTOLOGY<sup>48</sup> y el entorno de desarrollo de ontologías Protégé<sup>49</sup>.

---

<sup>48</sup> M. Fernández-López, A. Gómez-Pérez y N. Juristo (1997): «METHONTOLOGY: from Ontological Art towards Ontological Engineering». En *AAAI-97 Spring Symposium Series*, 24-26 March 1997, Stanford University.

<sup>49</sup> Stanford University: *Protégé*. <https://protege.stanford.edu/>

En 1997, el aprendizaje automático adquirió gran importancia gracias al libro publicado por el científico Tom Mitchell<sup>50</sup>, que contribuyó en gran medida a sistematizar esta área. Las técnicas de aprendizaje automático se clasifican, principalmente, en aprendizaje supervisado, aprendizaje no supervisado y aprendizaje por refuerzo. La característica principal del aprendizaje supervisado es que el conjunto de datos o ejemplos a partir de los que el sistema aprende a realizar una tarea está etiquetado; es decir, para cada entrada, se conoce la salida correcta. En el aprendizaje no supervisado, por el contrario, los datos no están etiquetados; no se conoce la respuesta correcta para cada entrada. Este tipo de aprendizaje se emplea, por ejemplo, para la resolución de tareas de clasificación o agrupación (*clustering*), de manera que el sistema divide los datos en grupos o clases en función de su grado de similitud. A modo de ilustración de este tipo de aprendizaje, cabe mencionar la clasificación de textos por su contenido o el agrupamiento de fotografías en álbumes según las personas que aparecen en las escenas. En el aprendizaje por refuerzo, en cambio, el modelo aprende, de forma continua, a realizar una tarea a través de una serie de acciones llevadas a cabo por el sistema y mediante las recompensas o penalizaciones obtenidas al evaluar la calidad o consecuencias de estas acciones.

El inicio del siglo XXI representó un gran paso adelante por la rapidez con la que las infraestructuras procesan los datos gracias a que las nuevas unidades de proceso gráfico,

---

<sup>50</sup> T. Mitchell (1997): *Machine Learning*. New York: McGraw-Hill.

conocidas como GPU, cuyo diseño estaba destinado al procesamiento de imágenes, pasan a emplearse también en computación vectorial, que es el tipo de operaciones que se realizan principalmente en redes de neuronas artificiales. Simultáneamente, surge la Web 2.0, la Internet de las cosas, y con ello las personas se convierten también en grandes productores de contenidos. Asimismo, las empresas, instituciones y Administraciones públicas comienzan a digitalizar sus datos: documentos, sonido, imágenes, vídeos. Todo esto contribuye a que se comiencen a almacenar, procesar y tener disponibles grandes cantidades de datos. Aprovechando este almacenamiento masivo, surgen los sistemas de recomendación que se aplican a cualquier actividad y tarea. En la Web y en la Web 2.0, las personas son las que realizan las actividades cognitivas: deciden qué páginas leer, interpretan la información y agregan datos, pues los programas no pueden entender y razonar con los contenidos de dichas páginas. Para resolver estas limitaciones, surge la Web semántica<sup>51</sup>, que se concibe como una extensión de la Web actual destinada a los sistemas de inteligencia artificial. Con la Web semántica se transforma el contenido de las páginas webs a otros formatos para que los sistemas informáticos descubran, integren y reutilicen sus contenidos más fácilmente. La Web semántica se sirve de las ontologías para proporcionar la semántica computacional a las palabras de las páginas webs. Durante los primeros años del siglo XXI, el Consorcio de la World Wide Web propuso nue-

---

<sup>51</sup> J. Hendler, T. Berners-Lee and E. Miller (2002): *Integrating Applications on the Semantic Web*. <http://www.w3.org/2002/07/swint.html>

vos lenguajes, como OWL<sup>52</sup> y RDF(S)<sup>53</sup> para representar las ontologías computacionales y el lenguaje RDF<sup>54</sup> para representar los datos.

Fue en el año 2011 cuando la inteligencia artificial se hace visible para el ciudadano, gracias al conocido concurso estadounidense de televisión *Jeopardy*. La empresa IBM presentó como concursante a Watson, que compitió contra los campeones del momento. Watson era un sistema de pregunta-respuesta que resultó ganador.

Pero la verdadera explosión de la inteligencia artificial y su aplicación en muchos sectores empresariales y cotidianos se debe al aprendizaje profundo. ¿A qué se llama «aprendizaje profundo»? A los algoritmos que se inspiran en la estructura y función del cerebro humano y que utilizan redes de neuronas artificiales profundas para aprender representaciones o patrones, a partir de grandes conjuntos de datos, para realizar, entre otras tareas, el reconocimiento de voz, el análisis de imágenes y el procesamiento del lenguaje natural. Los creadores de esta nueva línea de investigación, Geoffrey Hinton, Yoshua Bengio y Yann LeCun, fueron galardonados con el Premio Turing en 2018. Ellos tres, junto con Demis Hassabis, recibieron además el Premio Princesa de Asturias de Investigación 2022 por sus contribuciones en esta área.

---

<sup>52</sup> World Wide Web Consortium (2012): *Web Ontology Language (OWL)*. <https://www.w3.org/OWL/>

<sup>53</sup> World Wide Web Consortium (2014): *RDF Schema 1.1*. <https://www.w3.org/TR/rdf-schema/>

<sup>54</sup> World Wide Web Consortium (2014): *Resource Description Framework (RDF)*. <https://www.w3.org/RDF/>

Otras investigaciones continuaron avanzando en esta línea. En 2012, AlexNet<sup>55</sup>, un sistema de visión por computador desarrollado por Krizhevsky, Hinton y otros investigadores, superaba a los mejores algoritmos de reconocimiento de imágenes por un amplio margen, al proponer las redes neuronales convolucionales, lo cual supuso un salto espectacular sin precedentes en el reconocimiento de imágenes. En 2015, Alphago, de la empresa DeepMind, cofundada por Demis Hassabis, gana al campeón mundial de GO inventando movimientos ganadores hasta entonces desconocidos, y, en 2017, el sistema AlphaZero de Google aprende las nociones estratégicas del ajedrez sin intervención humana, analizando 5 millones de partidas en cuatro horas. Finalmente, en 2021, el grupo DeepMind construyó la base de datos de estructuras de proteínas AlphaFold<sup>56</sup> con más de 350 000 proteínas, sacando con ello el máximo rendimiento del aprendizaje profundo.

Recientemente, en el ámbito de la percepción computacional, Hinton ha republicado GLOM<sup>57</sup>, una teoría aún no implementada computacionalmente en la que propone incluir los denominados vectores coincidentes, a modo de heurísticas, en redes de neuronas artificiales para intentar

---

<sup>55</sup> A. Krizhevsky, I. Sutskever and G. E. Hinton (2012): «ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks». *Advances in Neural Information Processing Systems*, 25, 1097-1105.

<sup>56</sup> «DeepMind's Protein-Folding AI Has Solved a 50-Year-Old Grand Challenge of Biology». *MIT Technology Review*, 2020.

<sup>57</sup> G. Hinton (2021): *How to Represent Part-Whole Hierarchies in a Neural Network*. <https://arxiv.org/abs/2102.12627>

simular el razonamiento analógico y modelar la intuición. GLOM aborda dos de los problemas más difíciles de resolver para los sistemas de percepción visual: comprender una escena completa en términos de objetos y sus partes naturales, y reconocer los objetos desde un nuevo punto de vista.

Para concluir este breve recorrido por la historia y los avances de la inteligencia artificial, se puede afirmar que todos estos ejemplos demuestran que la conjetura de Dartmouth enunciada en 1956 es prácticamente una realidad, pues las máquinas se comunican en lenguaje natural, forman abstracciones y conceptos, resuelven tipos de problemas y realizan tareas, al igual que los humanos, en dominios no triviales, razonan, aprenden, perciben y se comunican.

## 5. INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y PROCESAMIENTO DEL LENGUAJE NATURAL

*Lenguaje natural* es un término que se utiliza en computación para referirse al lenguaje humano, en contraposición al *lenguaje artificial* que se usa en programación. El procesamiento del lenguaje natural (PLN) es una rama de la inteligencia artificial cuyo objetivo es la creación de métodos, técnicas y recursos computacionales que permitan a las máquinas «tratar» el lenguaje humano; por ejemplo, métodos para la extracción de información a partir de corpus textuales, para la traducción entre lenguas, para el establecimiento de un diálogo entre una máquina y un humano, para analizar manifestaciones de emociones, las tendencias de opinión o de compra en redes sociales, o

bien para anonimizar documentos o para clasificar automáticamente documentos, mensajes y reclamaciones, entre otros posibles fines.

Si bien, como apuntamos anteriormente, el lenguaje humano envuelve todos los aspectos sociales que forman el entorno del ser humano, su formalización o «tratamiento» informático mediante el procesamiento del lenguaje natural debe nutrirse de otras disciplinas, como la lógica, la estadística, la lingüística, la ciencia cognitiva o la filosofía. Uno de los máximos defensores del estudio formal del lenguaje desde el punto de vista interdisciplinar fue Noam Chomsky, quien contribuyó notablemente en la teorización de la lingüística durante toda la segunda mitad del siglo xx. Sus hipótesis y teorías, como la jerarquía de gramáticas formales, han sido determinantes en la introducción de nuevos métodos de análisis formal de las lenguas naturales en los que se ha basado el procesamiento del lenguaje natural, hipótesis y teorías que ya fueron introducidas por D. Antonio Colino López<sup>58</sup> en su discurso de entrada en enero de 1972.

El procesamiento de lenguaje natural consta de dos subáreas principales de investigación: la que está orientada a la «comprensión del lenguaje» y la que centra sus esfuerzos en la «generación del lenguaje». La primera crea métodos

---

<sup>58</sup> A. Colino (1972): *Ciencia y Lenguaje*. Discurso leído el día 23 de enero de 1972, en su recepción pública, por el Excmo. Sr. Don Antonio Colino López y contestación del Excmo. Sr. D. Julián Marías. Madrid: Talleres gráficos Vda. De C. Bermejo. [https://www.rae.es/sites/default/files/Discurso\\_de\\_ingreso\\_Antonio\\_Colino\\_Lopez.pdf](https://www.rae.es/sites/default/files/Discurso_de_ingreso_Antonio_Colino_Lopez.pdf)

capaces de transformar el lenguaje natural en una representación informática que sea procesable o tratable por la máquina. La segunda se basa en dichas representaciones para producir textos en lenguaje natural. Los dominios de aplicación de las tecnologías de procesamiento de lenguaje natural son múltiples; por ello, estamos ante una tecnología transversal que permea en cualquier dominio.

Los programas que procesan lenguaje natural necesitan entender las dimensiones lingüísticas, a saber: fonología, morfología, sintaxis, semántica y pragmática de los textos orales y escritos (aunque no siempre lo consigan). Para resolver la ambigüedad semántica, por ejemplo, los programas informáticos recurren al contexto lingüístico en el que se encuentra la palabra en el texto, y así establecen la dependencia con otras palabras y reconocen la polisemia. Además, deben tener en cuenta el contexto extralingüístico: la relación emisor-destinatario, el canal de comunicación, el momento en el que la comunicación tiene lugar o el tipo de texto, entre otros aspectos.

Los métodos y técnicas que analizan el lenguaje y modelizan el contenido de los textos son parejos a la evolución de los métodos y técnicas de la inteligencia artificial, al volumen de los datos disponibles, a la capacidad de cómputo de los ordenadores y a la creatividad a la hora de construir aplicaciones que lleguen al usuario final. Las técnicas simbólicas para el procesamiento del lenguaje natural se sirven de representaciones lógicas del texto, mientras que las técnicas subsimbólicas aplican representaciones numéricas del texto. Con ambos enfoques se construyen modelos de lenguaje.

Los modelos de lenguaje son modelos computacionales que tratan de representar las expresiones o secuencias de palabras de una lengua. Estos modelos comenzaron con lenguajes naturales en dominios o ámbitos muy acotados soportados, en una primera etapa, por sistemas basados en reglas que formalizaban dicha comunicación y, posteriormente, por ontologías. Sin embargo, en los últimos años, los modelos de lenguaje han variado su definición debido a la aparición del aprendizaje profundo. Actualmente, se pueden definir como modelos que pueden obtener la probabilidad de una secuencia de palabras en un lenguaje y predecir las palabras que siguen a las que le preceden.

Comencemos con la aproximación simbólica. Desde los inicios del PLN y hasta finales de los años 90, las herramientas para analizar los textos, es decir, para obtener una representación que un programa informático pudiera manipular, eran sistemas basados en reglas de reescritura que, combinadas con información léxica de diccionarios, se convertían en gramáticas del lenguaje en cuestión. Durante estos años, se anotaban corpus pequeños de forma manual, con gran calidad. Esta tarea implicaba el enriquecimiento del texto con descriptores lingüísticos a distintos niveles: morfológico (en general asociando el lema y la categoría a las formas), sintáctico (identificando los constituyentes y/o las dependencias), léxico-semántico (anotando la modalidad, la polaridad o la correferencia, entre otros).

A principios del año 2000, se desarrollaron sistemas para la creación de grandes gramáticas, basadas en la teoría de la gramática sintagmática nuclear (HPSG en inglés) y la teoría de las gramáticas léxico-funcionales (LFG en inglés).

En esa época, destacan el proyecto de gramática paralela conocido en inglés como The Parallel Grammar Project<sup>59</sup>, de 2002, o el marco de trabajo gramatical Grammatical Framework<sup>60</sup>, activo desde 2004 hasta nuestros días. También aparecieron los sistemas en los que se concatenan módulos para realizar el análisis de textos, generalmente en inglés. El resultado fue la extracción de contenidos del texto y su representación en un lenguaje formal.

Las principales ontologías lingüísticas surgieron en la última década del siglo xx. Tenían como finalidad describir la semántica de las unidades gramaticales de una lengua para ser utilizadas en el procesamiento del lenguaje natural y en la traducción automática. Para definir la semántica de las palabras, describían en lenguaje formal sus propiedades y las relaciones semánticas entre ellas. Ontologías lingüísticas relevantes de aquellos años fueron el modelo PENMAN<sup>61</sup>, Mikrokosmos<sup>62</sup>, Generalized Upper

---

<sup>59</sup> M. Butt, H. Dyvik, T.H. King, H. Masuichi and C. Rohrer (2002): «The Parallel Grammar Project». In *COLING-02: Grammar Engineering and Evaluation*. <https://aclanthology.org/W02-1503.pdf>

<sup>60</sup> A. Ranta (2004): «Grammatical Framework». *Journal of Functional Programming*, 14 (2), 145-189.

<sup>61</sup> J. A. Bateman, R. T. Kasper, J. D. Moor and R. A. Whitney (1990). *A General Organization of Knowledge for Natural Language Processing: The Penman Upper Model*. Technical Report. USC/Information Sciences Institute. Marina del Rey, California.

<sup>62</sup> K. Mahesh (1996): *Ontology Development for Machine Translation: Ideology and Methodology*. Technical Report MCCS-96-292. Computing Research Laboratory, New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico. <http://citeseer.nj.nec.com/mahesh96ontology.html>

Model (GUM)<sup>63</sup> y SENSUS<sup>64</sup>. Posiblemente, la más avanzada fue GUM, de John Bateman, capaz de expresar la estructura de la lengua inglesa y representar el contenido de los textos escritos en un lenguaje formal que las computadoras pudieran manejar para razonar sirviéndose de las leyes de la lógica. El primer sistema que generó una cantidad significativa de textos en español siguiendo este enfoque fue Ontogeneration<sup>65</sup>, circunscrito al dominio de los elementos químicos. En esta década se construyó la base de datos léxica WordNet<sup>66</sup>, uno de los recursos más reputados en el procesamiento del lenguaje natural, cuyo propósito fue organizar el lexicon del inglés basándose en el significa-

---

<sup>63</sup> J. A. Bateman, G. Fabris and B. Magnini (1995): «The Generalized Upper Model Knowledge Base: Organization and Use». In Mars N (ed.): *Second International Conference on Building and Sharing of Very Large-Scale Knowledge Bases (KBKS '95)*. University of Twente: Enschede, The Netherlands; IOS Press: Amsterdam, The Netherlands, 60-72.

<sup>64</sup> B. Swartout, P. Ramesh, K. Knight and T. Russ (1997). «Toward Distributed Use of Large-Scale Ontologies». In A. Farquhar, M. Gruninger, A. Gómez-Pérez, M. Uschold and P. van der Vet (eds.): *AAAI'97 Spring Symposium on Ontological Engineering*. Stanford University: California, 138-148.

<sup>65</sup> G. Aguado de Cea, A. Bañón, J. Bateman, S. Bernardos, M. Fernández, A. Gómez-Pérez, E. Nieto, A. Olalla, R. Plaza and A. Sánchez (1998): *ONTOGENERATION: Reusing Domain and Linguistic Ontologies for Spanish Text Generation*. En la 13<sup>th</sup> European conference on artificial intelligence.

<sup>66</sup> G. A. Miller, R. Beckwith, C. Fellbaum, D. Gross and K. Miller (1990): «Introduction to WordNet: An On-Line Lexical Database». *International Journal of Lexicography*, 3 (4), 235-244.

do de las palabras mediante relaciones de sinonimia-antonomimia, hiperonimia-hiponimia o meronimia, entre otras. A continuación, el proyecto EuroWordNet<sup>67</sup> tomó como punto de partida la estructura del WordNet y creó lexicones para otras lenguas europeas que se conectaban a través de una «interlengua». Esta especie de conceptualización intermedia permitía crear puentes entre lexicalizaciones en distintos idiomas.

En la primera década del siglo XXI, algunos lingüistas interesados por la Web semántica plantean la pertinencia de aprovechar el conocimiento de dominio previamente estructurado en ontologías y validado por expertos para que las herramientas de procesamiento de lenguaje natural lo usen en mayor medida. Este aprovechamiento se plantea desde dos puntos de vista: en primer lugar, enriquecer las descripciones lingüísticas asociadas a los conceptos de la ontología con información morfosintáctica empleando los modelos LingInfo<sup>68</sup>, LexInfo<sup>69</sup> y LexOnto<sup>70</sup>; en segundo lugar, traducir las descripciones a múltiples lenguas,

---

<sup>67</sup> Eurowordnet: <https://archive.ilc.uva.nl//EuroWordNet/>

<sup>68</sup> P. Buitelaar, T. Declerck, A. Frank, S. Racioppa, M. Kiesel, M. Sintek and R. Engel (2006): LingInfo: Design and Applications of a Model for the Integration of Linguistic Information in Ontologies. In *Proceedings of the OntoLex Workshop at LREC*.

<sup>69</sup> P. Buitelaar, P. Cimiano, P. Haase and M. Sintek (2009): «Towards Linguistically Grounded Ontologies». In *Proceedings of the 6th European Semantic Web Conference (ESWC09)*, 111-125.

<sup>70</sup> P. Cimiano, P. Haase, M. Herold, M. Mantel and P. Buitelaar (2007): «LexOnto: A Model for Ontology Lexicons for Ontology-based NLP». In *Proceedings of the OntoLex07 Workshop at the ISWC07*.

para su uso en distintos contextos lingüísticos con el modelo LIR<sup>71</sup>. Estos modelos tenían el problema de estar restringidos a un subconjunto limitado de descriptores lingüísticos y no proporcionar mecanismos para su extensión o ampliación.

El año 2012 es testigo de la creación de un grupo de trabajo específico en el marco del Consorcio de la Web (el llamado Ontology-Lexica Community Group) que se encargaría de proponer un modelo que sirviera de puente entre la representación semántica de los conceptos que proponían las ontologías de dominio y las distintas manifestaciones lingüísticas para nombrar a los conceptos. Para ello se tomaba como punto de partida el modelo Lemon<sup>72</sup> (Lexicon Model for Ontologies) que acababa de ver la luz, resultado de un proyecto europeo, y que compartía esta misma filosofía. El modelo resultante se llamó Ontolex y su objetivo era sentar las bases de un modelo que permitiera estructurar y representar la información lingüística asociada a una conceptualización de dominio, pero que fuera lo suficientemente genérico como para dar cabida a diversas necesidades lingüísticas y lo suficientemente flexible como para incluir descripciones antes no

---

<sup>71</sup> E. Montiel-Ponsoda, G. Aguado de Cea, A. Gómez-Pérez and W. Peters (2010): «Enriching ontologies with multilingual information». *Natural Language Engineering*, vol. 17, n.º 3, 283-309.

<sup>72</sup> J. McCrae, G. Aguado-de Cea, P. Buitelaar, P. Cimiano, T. Declerck, A. Gómez-Pérez, J. Gracia, L. Hollink, E. Montiel-Ponsoda, D. Spohr and T. Wunner (2012): «Interchanging Lexical Resources on the Semantic Web». *Language Resources and Evaluation*, vol. 46.

previstas.

Todo ello dio lugar a un modelo que actualmente consta de varios módulos o ramificaciones, centradas en uno o varios aspectos lingüísticos, y que está dedicado a la conversión de recursos lingüísticos (lexicones, tesauros, terminologías) en los formatos de la Web semántica (o Web de datos). Las especificaciones del modelo inicial vieron la luz en 2016, y en 2019 se publica el módulo lexicográfico, con el objetivo de proporcionar un modelo que permita representar (modelar) el contenido y la estructura de diccionarios y otros recursos lexicográficos en formatos estándares. Hoy en día, el grupo de expertos de Ontolex sigue trabajando de manera incansable para dar respuesta a las necesidades de representación computacional de los recursos lingüísticos basada en técnicas simbólicas.

Continúo con la aproximación subsimbólica. Como ya se ha mencionado, todo empezó con el reconocimiento de caracteres y el Perceptron. Desde el principio de los años 90, las redes de neuronas artificiales, al igual que otros algoritmos probabilísticos, fueron apareciendo para generar tanto modelos de lenguaje como modelos para el procesamiento del lenguaje natural en diferentes tareas. Sin embargo, los límites de la computación de ese momento hicieron que dichos avances quedasen latentes hasta años más tarde. Por ejemplo, las redes neuronales recurrentes que aparecieron a mitad de los años 90 —como las memorias largas a corto plazo (en inglés, *long short-term memory*)<sup>73</sup> o

---

<sup>73</sup> S. Hochreiter and J. Schmidhuber (1997): «Long Short-Term Memory». *Neural Computation*, 9 (8), 1735-1780.

LSTM) o las unidades recurrentes cerradas (en inglés, *gated recurrent units*<sup>74</sup> o GRU)— no tuvieron un verdadero impacto en el procesamiento del lenguaje natural hasta 2016, cuando manifestaron su utilidad al capturar la relación entre las palabras y su contexto. Con estas técnicas se empezó a aprender el orden de las palabras en problemas de predicción de secuencias de texto.

Es en 2017 cuando se produce un hito y un cambio de paradigma con la publicación de la arquitectura neuronal Transformer<sup>75</sup> (Transformador) de Google. Esta arquitectura neuronal, que se pensó concretamente para la traducción, introduce mecanismos de atención como base única y elimina la recurrencia. De hecho, el trabajo se titula *Todo lo que necesitas es atención* (*Attention is all you need*). Los mecanismos de atención permiten, a partir de grandes volúmenes de datos, generar patrones de conexiones entre las palabras que suelen aparecer juntas o relacionadas, pero en diferentes partes de una oración. Por ello, mejoran las redes de neuronas recurrentes, que se fijaban más en las palabras inmediatamente anteriores y posteriores a una voz determinada.

La importancia del Transformer se debió a que la comunidad científica descubrió que, mediante los principales

---

<sup>74</sup> J. Chung, C. Gülçehre, K. Cho and Y. Bengio (2014): *Empirical Evaluation of Gated Recurrent Neural Networks on Sequence Modeling*. CoRR, abs/1412.3555.

<sup>75</sup> A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar, J. Uszkoreit, J. Llion, A. N. Gómez, L. Kaiser and I. Polosukhin (2017): *Attention Is All You Need*. <https://arxiv.org/abs/1706.03762>.

componentes que constituyen un transformador, denominados codificador y decodificador, o mediante arquitecturas derivadas de él se construirían modelos de lenguaje y que, además, este tipo de modelos podían llevar a cabo un proceso de adaptación, también denominado «ajuste fino», para realizar tareas de procesamiento de lenguaje natural con todo el conocimiento aprendido.

Para la creación de un gran modelo de lenguaje, se requiere un gran corpus de texto que permita aprender el vocabulario en él utilizado y la relación entre las palabras que lo conforman. Los ordenadores necesitan ingentes cantidades de textos, con los que aprenden patrones de regularidad, de manera que aquello que es poco frecuente en el texto se pierde. Con más datos, los patrones estadísticos se calculan mejor y la elección de las palabras en cada contexto será más precisa. Por tanto, un modelo de lenguaje trabaja con una distribución probabilística sobre una palabra o secuencia de palabras y, en su versión más simplificada, predice qué texto sigue a una cadena de palabras determinada en función de los textos del corpus empleado en su construcción. En otras palabras, un modelo de lenguaje predice cuál es la siguiente palabra en la frase que se está escribiendo.

Generalmente, para construir un modelo de lenguaje se tiende a utilizar corpus genéricos de cada idioma. Sin embargo, para crear modelos de lenguajes especializados en diferentes ramas del saber —como el médico, el farmacéutico, el jurídico, el financiero o el del sector público—, se necesitan corpus en los lenguajes de especialidad de cada una de las materias, para cubrir la terminología o la fraseo-

logía propias de cada dominio, y la relación que existe entre las palabras, mediante estos mecanismos de atención. A modo de ejemplo, un sistema conversacional que utilice un modelo de lenguaje construido con un corpus general podría completar la frase *los estudiantes se reunieron en* con la palabra *clase*, o con *el comedor*, *la sala de lecturas* o *el patio*; pero, si el modelo de lenguaje fuera especializado en farmacia, la frase se completaría con *el laboratorio* o, si fuera especializado en informática, con *el centro de proceso de datos*. En definitiva, el sistema conversacional aplica el modelo de lenguaje y genera las frases usando la probabilidad de que cierta palabra aparezca en una frase.

Como se ha mencionado antes, un modelo de lenguaje ya entrenado (o, como se denomina en la comunidad, pre-entrenado) puede ser sometido a un proceso de ajuste fino para que realice tareas concretas de procesamiento del lenguaje natural, tales como la clasificación de documentos o sistemas de pregunta-respuesta, beneficiándose de todo lo que ha aprendido del lenguaje previamente. Esta tarea de ajuste fino requiere un corpus con las anotaciones necesarias para realizarla y modificar ligeramente la red de neuronas final. Esta posibilidad de reutilización de los modelos de lenguaje para otras tareas constituye el gran cambio de paradigma del procesamiento del lenguaje en la actualidad y ha revolucionado la investigación en este campo.

De hecho, los modelos de lenguaje se evalúan atendiendo a los resultados que obtienen en diferentes tareas mediante su ajuste fino. Estas tareas de procesamiento de lenguaje natural se realizan a través de conjuntos de corpus con anotaciones, como GLUE para el inglés, que se toman

como referencia para comparar los diferentes modelos, como BERT<sup>76</sup> y RoBERTa<sup>77</sup>. Para el español, han aparecido corpus anotados para tareas de preguntas y respuestas o detección de nombres como SQAC<sup>78</sup> o CANTEMIST<sup>79</sup>. Sin embargo, estos corpus todavía son pocos y pequeños en comparación con los de la lengua inglesa.

Desde 2017 se han creado arquitecturas de modelos de lenguaje cada vez más sofisticados, generados por gigantes tecnológicos, basadas en la arquitectura de Transformers, tales como BERT (2018), RoBERTa (2019) y la serie de modelos generativos GPT-1 (Generative Pre-trained Transformer), GPT-2<sup>80</sup> (2019), GPT-3<sup>81</sup> (2020),

---

<sup>76</sup> J. Devlin, M.W. Chang, K. Lee and K. Toutanova (2018): *BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding*. <https://arxiv.org/abs/1810.04805>

<sup>77</sup> Y. Liu, M. Ott, N. Goyal, J. Du, M. Joshi *et al.* (2019): *RoBERTa: A Robustly Optimized BERT Pretraining Approach*. <https://arxiv.org/abs/1907.11692>

<sup>78</sup> A. Gutiérrez-Fandiño *et al.* (2021): *MarIA: Spanish Language Models*. <https://arxiv.org/abs/2107.07253>

<sup>79</sup> A. Miranda-Escalada, E. Farré and M. Krallinger (2020): «Named Entity Recognition, Concept Normalization and Clinical Coding: Overview of the Cantemist Track for Cancer Text Mining in Spanish, Corpus, Guidelines, Methods and Results». In *Proceedings of the Iberian Languages Evaluation Forum (IberLEF 2020)*. CEUR Workshop Proceedings.

<sup>80</sup> A. Radford, J. Wu, R. Child, D. Luan, D. Amodei and I. Sutskever (2019): *Language Models Are Unsupervised Multitask Learners*. *OpenAI blog*, 1 (8), 9. <https://openai.com/blog/tags/gpt-2/>

<sup>81</sup> B. Brown, B. Mann, N. Ryder, M. Subbiah, J. Kaplan, P. Dhariwal, A. Neelakantan, P. Shyam, G. Sastry, A. Askell, S. Agarwal, A. Herbert-Voss, G. Krueger, T. Henighan, R. Child, A. Ramesh, D. M.

GPT-4<sup>82</sup> (2023) de gran impacto en los medios por el ChatGPT y ChatGPT plus de OpenAI, y recientemente Google Bard<sup>83</sup> (2023). También hay notables modelos especializados, como SciBERT<sup>84</sup>, para «entender» el lenguaje de los artículos científicos. Todos estos modelos se han centrado preferentemente en el idioma inglés e incluso algunos se han entrenado para varios idiomas al mismo tiempo. En español, el primer modelo de esta rama de investigación fue BETO<sup>85</sup> (2019), basado en la arquitectura BERT, que fue desarrollado por la Universidad de Chile. En 2020, como resultado del Plan de Tecnologías del Lenguaje y de la colaboración del Barcelona Super Computing Center (BSC) y la Biblioteca Nacional de España (BNE), se publica el modelo MarIA<sup>86</sup>. Desde entonces, han aparecido otros modelos, como RigoBERTa<sup>87</sup>

---

Ziegler, J. Wu, C. Winter, C. Hesse, M. Chen, E. Sigler, M. Litwin, S. Gray, B. Chess, J. Clark, C. Berner, S. McCandlish, A. Radford, I. Sutskever and D. Amodei (2020): *Language Models are Few-Shot Learners*. <https://arxiv.org/pdf/2005.14165.pdf>

<sup>82</sup> OpenAI (2023): *GPT-4 System Card*. <https://cdn.openai.com/papers/gpt-4-system-card.pdf>

<sup>83</sup> Google Bard. <https://bard.google.com/>

<sup>84</sup> I. Beltagy, K. Lo and A. Cohan (2019): *SciBERT: A Pretrained Language Model for Scientific Text*. <https://arxiv.org/abs/1903.10676>

<sup>85</sup> J. H. Ho, H. Kang, J. Pérez *et al.* (2020) «Spanish Pre-Trained BERT Model and Evaluation Data». *PML4DC ICLR 2020*. <https://users.dcc.uchile.cl/~jperez/papers/pml4dc2020.pdf>

<sup>86</sup> A. Gutiérrez Fandiño, J. Armengol Estapé, M. Pàmies, J. Llop Palao, J. Silveira Ocampo, C. Pio Carrino, & M. Villegas (2022). «MarIA: Spanish language models». *Procesamiento del Lenguaje Natural*, 68.

<sup>87</sup> A. V. Serrano, G.G. Subies, H.M. Zamorano, N.A. García, D. Samy, D.B. Sánchez, ... A.B. Jiménez. (2022). *RigoBERTa: A State-of-*

o IXAes<sup>88</sup>. El corpus BETO<sup>89</sup> constaba de tres mil millones<sup>90</sup> de palabras. Por otro lado, el volumen de los corpus MarIA y RigoBERTa es casi similar, 135 mil millones de palabras<sup>91</sup>, aunque vienen de fuentes de datos totalmente distintas.

Los modelos de lenguaje se caracterizan por la arquitectura en la que se basan, el volumen del corpus, el número de parámetros, el tiempo y el modo de entrenamiento y el número de las GPU, que se refiere a la capacidad de computación destinadas al entrenamiento. Tomando como ejemplo la familia GPT se observa el crecimiento, pues GPT-3 necesitó 100 veces más potencia de cálculo que GPT-2, y este necesitó 1000 veces más potencia de cálculo que GPT. También hay un aumento en el tamaño de los corpus utilizados para crear los modelos (un factor 10 de GPT-2 a GPT-3, concretamente de 40GB a 570 GB de texto). La construcción de estos grandes modelos no está al alcance de cualquier empresa, y mucho menos para lenguas minoritarias, debido a los corpus necesarios, a la infraes-

---

*the-Art Language Model For Spanish*. <https://arxiv.org/abs/2205.10233>

<sup>88</sup> R. Agerrí, E. Agirre, (2022). *Lessons learned from the evaluation of Spanish Language Models*. <https://arxiv.org/abs/2212.08390>

<sup>89</sup> J. Cañete, G. Chaperon, R. Fuentes, J.H. Ho, H. Kang, J. Pérez (2020). «Spanish pre-trained BERT model and evaluation data». *Pml4dc at iclr*, 1-10.

<sup>90</sup> [https://pml4dc.github.io/iclr2020/papers/PML4DC2020\\_10.pdf](https://pml4dc.github.io/iclr2020/papers/PML4DC2020_10.pdf)

<sup>91</sup> [https://pml4dc.github.io/iclr2020/papers/PML4DC2020\\_10.pdf](https://pml4dc.github.io/iclr2020/papers/PML4DC2020_10.pdf)

estructura de computación requerida, y a las enormes cantidades de energía empleadas para su entrenamiento, ajuste y operación, cuando millones de usuarios lo utilizan con frecuencia, con el consiguiente aumento del impacto ambiental en la huella de carbono.

Las arquitecturas de los grandes modelos de lenguaje se han aplicado en la lengua de la química o la biología<sup>92</sup>, dando lugar, en este último caso, a la llamada revolución de la biología digital. Estos modelos aprenden cómo leer y escribir en el «idioma nativo» de la física, la química o la biología. La empresa NVIDIA vende el modelo MegaMolBART con el «lenguaje de la química»; los modelos ESM-1<sup>93</sup> y ProtT5<sup>94</sup> contienen el «lenguaje de las proteínas». Al igual que los grandes modelos de lenguaje, los grandes modelos bioquímicos pueden ser reentrenados mediante técnicas de ajuste fino para que realicen tareas especializadas, como generar sustancias químicas con propiedades muy concretas o proteínas de un cierto tipo. Esto permite generar candidatos para nuevos medicamentos, que, gracias al enorme

---

<sup>92</sup> C. Marquet, M. Heinzinger, T. Olenyi, T. *et al.* (2022) «Embeddings from protein language models predict conservation and variant effects». *Hum Genet* 141, 1629–1647 <https://doi.org/10.1007/s00439-021-02411-y>

<sup>93</sup> J. Meier, R. Rao, R. Verkuil, J. Liu, T. Sercu, A. Rives (2021). «Language models enable zero-shot prediction of the effects of mutations on protein function». *Advances in Neural Information Processing Systems*, 34, 29287-29303.

<sup>94</sup> A. Elnaggar, M. Heinzinger, C. Dallago, G. Rehawi, Y. Wang, L. Jones, L. *et al.* (2021). «ProtTrans: towards cracking the language of life's code through self-supervised learning». *bioRxiv*.

avance de los simuladores (en parte también gracias a la IA), pueden simular su efecto en el cuerpo humano sin necesidad de ensayos reales con humanos. Solo cuando el simulador haya validado una sustancia se iniciará el sistema tradicional de pruebas reales con humanos. El descubrimiento de nuevos medicamentos está a nuestro alcance gracias a la IA.

Así, un modelo de lenguaje que aplica una representación numérica del texto no es capaz de explicar el motivo por el que se sugiere una determinada palabra para completar una frase, más allá de que es la más probable porque aparece en muchos textos o de que los mecanismos de atención sugieren cierta relación entre palabras. En la actualidad, estos sistemas están muy limitados, porque no razonan con los datos y con el conocimiento extraído de los textos, de forma que estos sistemas aún no son capaces de deducir nuevos datos o extrapolar nuevo conocimiento a partir de la información disponible en el texto pues desconocen el significado del texto que han escrito.

A modo de ejemplo, la versión actual de Chat-GPT, que es una de las tecnologías más utilizadas del momento, es a la vez brillante y necio. Es brillante porque produce resultados verbosos y complacientes, con un léxico, una sintaxis y una gramática correctos, y un discurso educado. Por otro lado, es necio porque la versión actual de Chat-GPT no piensa, no razona, no entiende lo que escribe, no predice lo que podría ocurrir. En otras palabras, Chat-GPT no es capaz de realizar explicaciones o razonamientos matemáticos temporales o de sentido común relacionados con el

texto que ha escrito. Tampoco elabora críticas sobre un texto ni realiza conjeturas. Con la tecnología actual, el modelo solo puede explicar en términos estadísticos por qué eligió una palabra frente a otra. En palabras de Chomsky<sup>95</sup>: «La mente humana no es, como ChatGPT y sus similares, un pesado motor estadístico que busca patrones, que se atiborra de cientos de *terabytes* de datos y extrapola la respuesta conversacional más probable o la respuesta más probable a una pregunta científica. Por el contrario, la mente humana es un sistema sorprendentemente eficiente, y hasta elegante, que opera con pequeñas cantidades de información; no busca inferir correlaciones brutas entre puntos de datos, sino crear explicaciones».

En los últimos años ha aparecido el enfoque neurosimbólico, que hibrida los modelos simbólicos y subsimbólicos. Se basa en la inyección de conocimiento procedente de grafos de conocimientos sobre los modelos de lenguaje ya entrenados para reforzarlos y realizar un ajuste fino. Nace con dos objetivos: el primero trata de solventar el problema de la falta de datos con los que se entrenan tanto los modelos de lenguas minoritarias como los modelos de dominios concretos que adolecen de corpus voluminosos; el segundo se dirige a las tareas de ajuste fino que necesitan de datos anotados por humanos, lo cual conlleva procesos de lectura, comprensión y anotación de los textos por más de un experto. La inyección de conocimiento se plantea, por aho-

---

<sup>95</sup> N. Chomsky, I. Roberts and J. Watumull (2023): «The False Promise of ChatGPT». *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2023/03/08/opinion/noam-chomsky-chatgpt-ai.html>

ra, de dos formas<sup>96, 97</sup>: en la entrada de datos o en el propio modelo.

Recientemente se han identificado los posibles riesgos de los grandes modelos de lenguaje<sup>98</sup> en categorías que van desde la discriminación, la exclusión y la toxicidad en el uso de un lenguaje que incite al odio, a la violencia o que cause ofensa, hasta la información falsa o engañosa que puede ser empleada en campañas de desinformación, ya sea para crear estafas personalizadas o fraudes a gran escala. Gran parte de estos riesgos se derivan de la elección de corpus que incluyen lenguaje dañino, que sobrerrepresentan algunas identidades y mayorías sociales en detrimento de otras. Otros riesgos se encuentran en las llamadas «alucinaciones» que ocurren, en palabras de Chomsky, porque los modelos de lenguaje se atiborran de cientos de *terabytes*

---

<sup>96</sup> Y. Yao, S. Huang, L. Dong, F. Wei, H. Chen and N. Zhang (2022): «Kformer: Knowledge Injection in Transformer Feed-Forward Layers». En *Natural Language Processing and Chinese Computing*. Cham: Springer International Publishing, 131-143.

<sup>97</sup> D. Dai, L. Dong, Y. Hao, Z. Sui, B. Chang and F. Wei (2022): «Knowledge neurons in pre-trained transformers». En *Proceedings of the 60th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers)*. Dublin, Ireland: Association for Computational Linguistics, 8493-8502.

<sup>98</sup> L. Weidinger, J. Mellor, M. Rauh, C. Griffin, J. Uesato, P. Huang, M. Cheng, M. Glaese, B. Balle, A. Kasirzadeh, Z. Kenton, S. Brown, W. Hawkins, T. Stepleton, C. Biles, A. Birhane, J. Haas, L. Rimell, L.A. Hendricks, W. S. Isaac, S. Legassick, G. Irving and I. Gabriel (2021): *Ethical and Social Risks of Harm from Language Models*. DeepMind. <https://arxiv.org/pdf/2112.04359.pdf>

de datos para generar los patrones estadísticos que combinan información frecuente, pero no relacionada, y pueden construir contenido erróneo, frases incongruentes y sin sentido. Sabemos que los grandes modelos de lenguaje son extremadamente fluidos y suelen generar textos con una gramática correcta, pero no siempre son veraces, en el sentido de que no siempre garantizan que el texto generado carezca de errores de contenido. Si los modelos se entrenan con textos de la Web que contienen errores, relacionados por ejemplo con fechas, personas, o lugares, las frases que generará el sistema contendrán también información falsa o engañosa. Además, para que el modelo de lenguaje no se quede obsoleto, conviene alimentarlo con nuevos textos de forma continuada.

Considero también importante referirme a los elevadísimos costes energéticos en los que se incurre debido a la energía requerida para alimentar el *hardware* en el que se entrenan y ajustan los grandes modelos de lenguaje, que utilizan miles de millones de parámetros. Existen estudios científicos<sup>99</sup> que ya cuantifican el elevado impacto ambiental que supone la construcción de esos modelos, medido en la huella de carbono. Si bien la reducción de la huella de carbono es una preocupación constante de gobiernos y empresas, los sistemas conversacionales están siendo utilizados masivamente por millones de usuarios que, a veces, los em-

---

<sup>99</sup> E. Strubell, A. Ganesh and A. McCallum (2019): «Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP». In *Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*. Florence, Italy: Association for Computational Linguistics, 3645-3650.

plean como un juguete más. Aunque el coste energético individual puede resultar irrelevante, el impacto agregado en la huella de carbono no lo es. Por ello, los ciudadanos debemos ser conscientes de que nuestro consumo energético también suma y debemos contribuir, en lo posible, a esa reducción.

## 6. ESPACIOS DE DATOS LINGÜÍSTICOS Y PRINCIPIOS FAIR

En 2017, *The Economist*<sup>100</sup> publicó un artículo titulado «El recurso más valioso del mundo ya no es el petróleo, sino los datos». Desde su publicación, el tema ha generado un gran interés y «Los datos son el nuevo petróleo» se ha convertido en un eslogan muy difundido.

La Comisión Europea, en el documento *Una estrategia europea de datos*<sup>101</sup>, apuesta por el desarrollo de un mercado único europeo de datos en el que los productos, los servicios y las aplicaciones basadas en datos, ya procedan de fuentes públicas o privadas, respeten las normas y valores europeos de protección de datos personales, derechos fun-

---

<sup>100</sup> «The World's Most Valuable Resource Is No Longer Oil, but Data». *The Economist*, 2017. <https://www.economist.com/leaders/2017/05/06/the-worlds-most-valuable-resource-is-no-longer-oil-but-data>

<sup>101</sup> Comisión Europea (2020): *Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité económico y social europeo y al Comité de las regiones. Una estrategia europea de datos*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020D-C0066&from=EN>

damentales, seguridad, ciberseguridad y protección de consumidores, así como la legislación de sectores específicos.

Esta estrategia se basa en cuatro pilares: el primer pilar propone crear un marco de gobernanza intersectorial para el acceso a los datos y su utilización, que tenga en cuenta las especificidades de cada sector y las de los Estados miembros; el segundo pilar es la inversión de dos mil millones de euros para desarrollar infraestructuras, herramientas de compartición de datos y arquitecturas de gobernanza en un gran proyecto de alto impacto europeo; el tercero refuerza los derechos que tienen las personas sobre los datos que ellas generan para que puedan decidir qué hacer con sus datos personales; mientras que el cuarto pilar identifica sectores estratégicos y de interés público en Europa.

Para incrementar la soberanía tecnológica en espacios de datos, el actual programa marco de investigación de la Unión Europea ya está avanzando en dos direcciones. La primera se encamina a definir una gobernanza participativa que establezca de forma clara las normas de acceso a los datos y su uso por parte de todos los actores. La segunda dirección persigue desarrollar las infraestructuras y las tecnologías que implementen dicha gobernanza para fomentar la creación de repositorios de datos europeos bajo los principios *FAIR* que describiré a continuación. La gobernanza de la estrategia también contempla que las organizaciones que aporten datos puedan obtener, de alguna manera, un rendimiento por ello. Puede ser en forma de un mayor acceso a los datos de otros colaboradores, o bien el acceso a los resultados analíticos del repositorio de datos y a servicios como los de mantenimiento predictivo o cáno-

nes de licencia. Los espacios de datos fomentan un ecosistema de innovación abierta que genera valor y nuevas oportunidades de negocio y a la vez dinamizan la transformación digital del sector público y privado.

Desde una perspectiva tecnológica, en los espacios de datos cada proveedor mantiene siempre la soberanía sobre sus datos, decide si desea almacenarlos en un lugar central o mantenerlos en su entidad, define sus políticas de acceso y las condiciones de uso, puede compartir los datos de forma gratuita o remunerada, y puede cambiar las condiciones de uso a lo largo del tiempo. Además, estos espacios de datos proporcionan una infraestructura federada y servicios específicos de acceso a datos interconectados, con servicios interoperables, estandarizados y consensuados, todo ello conforme a la legislación europea en principios éticos y de protección de datos personales. También incluyen herramientas avanzadas para disminuir los tiempos y recursos económicos requeridos al construir nuevos sistemas de analítica de datos e inteligencia artificial.

Para alcanzar este objetivo de construir un mercado único de datos europeos, uno de los problemas más acuciantes es que los datos de los espacios europeos están en diferentes idiomas; es decir, son multilingües. Por este motivo, junto a los más de diez espacios de datos de dominios específicos relacionados, entre otros, con el sector público, la sanidad, las finanzas, la movilidad, el turismo, la energía, la industria, los medios, la agricultura, la seguridad y la aplicación de la ley, la Comisión ha incluido un espacio de datos para compartir recursos lingüísticos monolingües y multilingües. En España, la Estrategia Nacional de Inteligencia Ar-

tificial del año 2020, que está alineada con esta estrategia europea, propone, en el eje estratégico tercero, el desarrollo de plataformas de datos e infraestructuras tecnológicas que den soporte a la inteligencia artificial y que incluyan recursos, entre otros, de la siguiente naturaleza: datos, corpus, lexicones, ontologías y modelos. Añade también que se debe asegurar la gestión eficiente y la gobernanza del uso de los datos según los principios de interoperabilidad, integridad, fiabilidad, calidad y legalidad.

Los sistemas de inteligencia artificial consumirán los datos sectoriales de los espacios de datos junto con los materiales monolingües y multilingües para, por ejemplo, integrar datos que están en diferentes idiomas, realizar analítica de los datos integrados y así presentar los resultados en multitud de idiomas. Además, el procesamiento de lenguaje natural puede ayudarse de los espacios de datos para, por ejemplo, generar terminologías multilingües en sectores específicos y mejorar los procesos de traducción automática.

Anteriormente he mencionado el término *FAIR*. ¿Qué significa? Un artículo de la revista *Scientific Data* propuso en el año 2016 el término *FAIR*<sup>102</sup>, acrónimo del inglés *findable, accessible, interoperable and reusable*, para calificar a los datos que habrían de satisfacer cuatro propiedades: ser fácilmente localizables, ser universalmente accesibles, estar operativos en diferentes contextos y con diferentes propó-

---

<sup>102</sup> M. Wilkinson, M. Dumontier, I. Aalbersberg *et al.* (2016): «The FAIR Guiding Principles for Scientific Data Management and Stewardship». *Sci Data*, 3, 160018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>

sitos. La finalidad de estos principios es que las aplicaciones informáticas y de inteligencia artificial reutilicen y compartan los conjuntos de datos directamente, sin necesidad de la intervención humana. Para ello, los datos han de estar organizados y descritos de manera estandarizada, en formatos digitales, de forma clara y sin ambigüedad. Estos principios han ganado rápidamente reconocimiento unánime, tanto por parte de la comunidad científica como de las autoridades públicas internacionales.

Profundicemos en el significado del acrónimo *FAIR* para los materiales lingüísticos.

Comencemos con la *f* de *FAIR*, que se refiere a que los datos deben localizarse fácilmente. Si la Academia decide publicar materiales lingüísticos para que la inteligencia artificial o cualquier otro tipo de programa informático los utilice, quienquiera que los busque debería encontrarlos sin dificultad. Los materiales publicados en el espacio de datos lingüísticos tendrían que ser tan visibles en el mundo digital como un diccionario en una biblioteca. Así pues, al igual que un bibliotecario se sirve de los tejuelos y los códigos de los libros para encontrar un diccionario determinado, se necesita también describir los materiales lingüísticos meticulosamente mediante descriptores que las máquinas entienden y que reciben el nombre de *metadatos* (palabra que no viene explícitamente en el *Diccionario de la lengua española*, pero sí sus formantes *meta-* y *dato*<sup>103</sup>, y que el diccionario de Oxford define como «información que des-

---

<sup>103</sup> Real Academia Española: <https://dle.rae.es/meta-?m=form> y <https://dle.rae.es/dato#Bskzsq5>

cribe otra información para ayudar a comprenderla o utilizarla»). Los metadatos son como las fichas bibliográficas de los libros: consignan los datos principales de una obra, ya sea un libro, una página web o una base de datos en la nube. Los metadatos tienen asignados unos identificadores globales, uniformes y perdurables que reciben el nombre de URI, acrónimo del inglés *Uniform Resource Identifier*. De la misma forma que las fichas bibliográficas se almacenaban en grandes archivos, los metadatos de los recursos se almacenan y registran en repositorios que posibilitan el descubrimiento de dichos recursos a los buscadores de Internet; es decir, los metadatos son visibles tanto para las máquinas como para los humanos que buscan información. Con este fin, las Administraciones públicas europeas han respaldado ontologías como DCAT<sup>104</sup> o DCAT-AP<sup>105</sup> para catalogar sus recursos.

La *a* de *FAIR* alude a la accesibilidad; en otras palabras, a la garantía de que cualquiera pueda acceder a un conjunto de datos sin que exista la necesidad de utilizar tecnologías privativas para su uso. Los metadatos que describen el recurso siempre están disponibles de manera gratuita. La accesibilidad no excluye el cobro por acceso; esto es, los datos que esta institución decidiera publicar podrían ofrecerse bien de manera gratuita o remunerada, o bien con diferentes tarifas, pero siempre utilizando protocolos y for-

---

<sup>104</sup> World Wide Web Consortium (2023): *Data Catalog Vocabulary (DCAT)*. <https://www.w3.org/TR/vocab-dcat-3/>

<sup>105</sup> Secretaría de Estado de Digitalización e Inteligencia Artificial: *DCAT-AP*. <https://datos.gob.es/es/doc-tags/dcat-ap>

matos abiertos. Si los datos no son gratuitos, el protocolo puede incluir procedimientos de autenticación y autorización de usuarios, según indiquen las licencias establecidas para cada material, uso y tipo de usuario.

La *i* de *FAIR* indica interoperabilidad, un término popular en el ámbito informático que describe el entendimiento entre sistemas digitales heterogéneos en el plano léxico, sintáctico y semántico. Datos interoperables son aquellos que pueden utilizarse en diferentes contextos, y por aplicaciones informáticas dispares, que han sido construidas con propósitos diferentes. La interoperabilidad habilita la integración de datos y su intercambio entre sistemas sin intervención humana. Es ciertamente una gran apuesta para cualquier sistema. Mejorar la interoperabilidad de un conjunto de datos es un reto notable, que requiere superar dificultades técnicas y alcanzar consensos en la terminología —y no siempre son plenos—. Algunos expertos en inteligencia artificial, organismos de estandarización e incluso legisladores han consensuado el uso de descriptores que abarcan diferentes aspectos en su descripción para garantizar el intercambio de los datos. El Consorcio de la World Wide Web, que es el organismo que publica estándares de la Web, ha propuesto las ontologías PROV-O<sup>106</sup> y ODRL<sup>107</sup>. PROV-O se utiliza para identificar al creador

---

<sup>106</sup> World Wide Web Consortium (2013): *PROV-O: The PROV Ontology*. <https://www.w3.org/TR/prov-o/>

<sup>107</sup> V. Rodríguez-Doncel and P. Labropoulou (2015): «Digital Representation of Rights for Language Resources». In *Proceedings of the 4th Workshop on Linked Data in Linguistics: Resources and Applications*, 49-58.

y responsable del recurso; conocer la reputación del proveedor del dato, cómo se ha generado, procesado, posiblemente combinado con otros datos y, finalmente, validado; en definitiva, estas descripciones son imprescindibles para aumentar la confianza del usuario final en dicho recurso. La ontología ODRL, por otra parte, describe los derechos, condiciones y licencias de uso de los datos, que pueden ser gratuitos o de pago por uso. En el caso concreto de los datos lingüísticos, y bajo el paraguas del citado consorcio, un grupo de expertos en inteligencia artificial y lingüística ha trabajado en la ontología Ontolex<sup>108</sup>, un modelo simbólico con el que se representa la información de los recursos lingüísticos —y que habilita para detallar cada entrada del diccionario— de forma «entendible» para la máquina, y que es interoperable con otros recursos que sigan este mismo formato en español o en otras lenguas. Es decir, se trata de transformar la información gramatical, léxica o semántica que tienen las entradas en un diccionario y describirlas en este modelo. Otra ontología alternativa para explicitar la procedencia de los datos es Dublin Core<sup>109</sup>.

Finalmente, la *r* de *FAIR* significa reutilizable. Los datos que siguen los principios *FAIR* se pueden integrar con otros datos en otros escenarios, con o sin intervención humana. Por este motivo, las licencias de uso han de ser claras, inteligibles y disponibles en formatos digitales.

---

<sup>108</sup> World Wide Web Consortium (2016): *Lexicon model for ontologies: community report*. <https://www.w3.org/2016/05/ontolex/>

<sup>109</sup> World Wide Web Consortium (2005): *DublinCore*. <https://www.w3.org/wiki/DublinCore>

En cierta manera, los principios *FAIR* ya se habían manifestado antes, en un progreso tecnológico callado, pero del cual yo he sido testigo: la creación y desarrollo de una nube de datos enlazados. De nuevo, Sir Tim Berners-Lee propuso en 2006 una nueva forma de publicar datos en la Web, que conectara los datos, no los documentos, como en una malla de datos enlazados. Si en la Web los usuarios navegan a través de los enlaces de los documentos, en la nueva Web los usuarios clican en los datos para navegar y así obtener nuevos datos. Desde entonces muchas instituciones gubernamentales y empresas privadas han descrito sus datos con ontologías, los han publicado en portales de datos y los han conectado con datos de otras instituciones para así incrementar su interconexión. Lo que se ha conseguido es una nube de datos enlazados que las máquinas pueden explorar con la ayuda de algoritmos. Esta nube de datos puede llegar a ser un bien abierto y valioso, como la Web por la que navegamos cada día. Los diccionarios, glosarios, tesauros y corpus también tienen su lugar en ella, si se transforman a los estándares del antes mencionado Consorcio de la World Wide Web y se enlazan con otros datos lingüísticos. A esta parte de la nube se la conoce como nube de datos lingüísticos enlazados<sup>110</sup>.

---

<sup>110</sup> J.P. McCrae (2018): *Linguistic Linked Open Data*. <https://linguistic-lod.org/>

## 7. INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y LENGUA ESPAÑOLA

### 7.1. Situación de partida de la informática en la RAE

La lengua y el habla evolucionan continuamente, pero existen acontecimientos políticos, económicos, tecnológicos y culturales, entre otros, que originan nuevas palabras y expresiones que aceleran este cambio. La popularización de Internet y de la Web, unida a los avances sin precedentes de la inteligencia artificial, está propiciando cambios tanto en la lengua en general como en los diferentes lenguajes de especialidad. El lingüista David Crystal<sup>111</sup> señala que «la red ofrece un nuevo entorno para el lenguaje, más dinámico que la escritura tradicional y más permanente que el discurso tradicional y, de hecho, ha tenido como consecuencia un cambio revolucionario en el ámbito de la lingüística».

Las tecnologías digitales favorecen y fomentan la rápida aparición y adopción de siglas, acrónimos, tecnicismos e incluso palabras «en crudo», que adoptamos tal cual del inglés y que surgen, por ejemplo, en documentos técnicos, revistas especializadas y ofertas de empleo, y han entrado en nuestra vida diaria desde hace ya mucho tiempo<sup>112</sup>. El

---

<sup>111</sup> D. Crystal: *El lenguaje, las lenguas e Internet*. [https://www.euskara.euskadi.eus/contenidos/informacion/artik25\\_1\\_crystal\\_08\\_06/es\\_crystal/adjuntos/David-Crystal-cas.pdf](https://www.euskara.euskadi.eus/contenidos/informacion/artik25_1_crystal_08_06/es_crystal/adjuntos/David-Crystal-cas.pdf)

<sup>112</sup> Torres Quevedo mencionaba en su discurso: «Además, los neologismos propiamente técnicos no aparecen de la misma manera, no son creaciones arbitrarias que responden a una necesidad claramente perci-

primer diccionario detallado de la terminología informática<sup>113</sup> se elaboró en el año 1994. ¿Quién se acuerda, por ejemplo, de que *bit* es un acrónimo formado a partir del término *binary digit*, o de que *PC* se refiere a un computador y no a un partido político? Así, la sigla *GAFAM* alude abreviadamente a las empresas americanas Google, Amazon, Facebook, Apple y Microsoft; y *BATX* se refiere a las empresas tecnológicas Chinas Baidu, Alibaba, Tencent y Xiaomi. En ocasiones, la sigla utilizada en documentos técnicos procede de la lengua inglesa, a pesar de que ya exista una traducción en español para el término inglés, como es el caso de las memorias RAM y ROM. Por ejemplo, no tenemos una sigla para la Internet de las cosas y se sigue escribiendo *IoT*, del inglés *Internet of Things*. Otras siglas que aparecen en documentos técnicos, como la ya mencionada *FAIR*, no se traducen al español. Son numerosos los ejemplos que nos han quedado desde la entrada de la informática. Muchos referidos a lenguajes de programación: *COBOL*, *FORTTRAN*, *ALGOL*. Algunos, como *BASIC*, han mantenido la forma, aunque en ocasiones se haya adaptado la pronunciación al genio de nuestra lengua. Los

---

bida. Los hombres dedicados a la técnica no saben, por lo común, de raíces griegas, ni pueden esperar a que otros les den ya formadas las palabras que necesitan para entenderse; sus neologismos nacen en el campo, en el taller, en la fábrica, en el arsenal, en todas partes donde hay obreros; también son debidos con frecuencia a extranjeros, que los aportan al aportar nuevas artes o nuevos procedimientos: son vulgarismos o barbarismos, que se extienden y se imponen a veces muy rápidamente».

<sup>113</sup> G. Aguado de Cea (1994): *Diccionario comentado de terminología informática*. Madrid: Paraninfo.

neologismos —generalmente anglicismos— son tan numerosos que citaré solo algunos más actuales, como *big data*, *blockchain*, *blogger*, *phishing*, *doodle*, *hashtag*, *podcast*, cuyas traducciones al español aún no han sido totalmente incorporadas a nuestra lengua, aunque en algún caso se han adaptado a las normas de nuestro sistema lingüístico, como ha ocurrido con *bloguero*. Encontramos también incontables tecnicismos o términos técnicos, como *metadato*, *apifícar*, *aprendizaje profundo*, *red de neuronas*, *refactorizar*, *token* o *tokenización*, que están presentes en español, pero sin delimitación semántica en muchos casos. En cambio, otros, como *tuitear* y su conjugación, ya han sido incorporados al diccionario de la Academia.

Esta constante aparición de nuevos términos se ha visto favorecida con la Web 2.0. Recordemos que, mientras en la Web 1.0 no existía interacción entre escritores y lectores, pues las instituciones generaban contenidos estáticos y las personas los leían, en la Web 2.0<sup>114</sup> los usuarios generan contenidos de forma colaborativa, dinámica, descentralizada, a través de cualquier dispositivo y en múltiples idiomas y formatos que combinan texto, voz, imágenes y vídeos. Esta participación tan activa se hace con poca supervisión

---

<sup>114</sup> Bajo el título «*Yes, You. You Control de Information Age*» o, traducido, «Sí, tú. Tú controlas la era de la información. Bienvenido a tu mundo», la revista *Time*, que es famosa por seleccionar a la persona del año, eligió como personaje del año 2006 a los millones de personas que de forma anónima contribuían a generar contenidos en la Web en foros, blogs y plataformas como YouTube, MySpace, Facebook, Wikipedia y otras plataformas que existían en aquellos años.

de la forma y del fondo de lo que se publica, pues no existe un editor que fije el estilo y que introduzca modificaciones en la ortografía, la puntuación y la gramática.

También, en los asistentes conversacionales y en las aplicaciones de mensajería instantánea, las personas se comunican con sistemas de inteligencia artificial de forma oral o escrita. Observamos con frecuencia que, en las comunicaciones privadas, las personas establecen convenciones propias para el canal cuando emplean aplicaciones de mensajería instantánea como WhatsApp, WeChat o Telegram, y transforman el lenguaje escrito en aras de la brevedad y la economía de símbolos. Adapto textos de Gregorio Salvador en su discurso de entrada para mostrar como la letra *q* se utiliza en aplicaciones de mensajería sin su vocal de escolta (la *u*): cuando se opta por la letra *q* para referirse a *que*; o cuando se sustituye la letra *q* por la letra *k* o se prefiere la letra *k* para referirse a *que* o *qui*; o bien cuando se truecan las letras en símbolos utilizando *xk* o *xq* en lugar de las expresiones *porque* o *por qué*. Podría argumentarse que la razón subyacente es el ahorro de letras en mensajes cortos, pues plataformas como Twitter inicialmente limitaban los mensajes a 140 caracteres, aunque hace unos años ampliaron ese límite a 280 caracteres, y a los suscriptores de Twitter Blue les permiten tuits de hasta 4000 caracteres. Otros fenómenos frecuentes son la escritura fonológica, el uso de logogramas, la escritura continua (sin espacios) o sin acentos, la abreviación, así como la combinación con voces inglesas a veces o el olvido de las mayúsculas.

«Desde su fundación, en 1713, la labor de la Real Academia Española ha estado orientada hacia la elaboración

de los tres grandes códigos que regulan la norma de una lengua: el buen uso del léxico, el dominio de las reglas gramaticales y la correcta escritura. Por ello, los objetivos académicos, renovados constantemente a lo largo de los siglos, han quedado recogidos en tres publicaciones emblemáticas<sup>115</sup>: el *Diccionario*, la *Gramática* y la *Ortografía*». La

---

<sup>115</sup> Las obras académicas (<https://www.rae.es/obras-academicas>) más destacadas disponibles en la web de la corporación son:

- Diccionario de autoridades (año 1726-1739); Diccionario de la lengua española (vigésimotercera edición sexta actualización, de 2022); los diccionarios académicos accesibles en la aplicación Mapa de Diccionarios (ediciones de los años 1780, 1817, 1884, 1925, 1992 y 2001); Nuevo tesoro lexicográfico, que reúne toda la lexicografía académica, desde el Diccionario de autoridades hasta la 21.<sup>a</sup> edición del diccionario usual; la versión del diccionario usual que permite búsquedas complejas, denominada Diccionario avanzado (año 2018, 2021); Diccionario histórico de la lengua española (año 2013); Diccionario panhispánico del español jurídico (año 2022); Diccionario del español jurídico (año 2016); Diccionario de americanismos (año 2010); Diccionario panhispánico de dudas (año 2005); Diccionario esencial de la lengua española (año 2006); Diccionario práctico del estudiante (años 2005 y 2016); Tesoro de los diccionarios históricos de la lengua española (2021).
- Corpus del Español del Siglo XXI (CORPES), con 350 millones de formas; Corpus del Diccionario Histórico de la Lengua Española (CDH), con 355 millones de formas; Corpus de Referencia del Español Actual (CREA), con 160 millones de formas; el Corpus Diacrónico del Español (CDH), con 250 millones de formas, y el Corpus Científico y Técnico (disponible en Enclave de Ciencia), con 112 millones de formas.

década de los noventa fue decisiva para la corporación. En 1993, los estatutos fundacionales se actualizan<sup>116</sup>, rejuvenecen y modernizan para afrontar nuevas situaciones y «velar por que los cambios que experimente la lengua española en su constante adaptación a las necesidades de sus hablantes no quiebren la esencial unidad que mantiene en todo el ámbito hispánico». Cabe recordar que, en estos años, los libros se leían en papel, la Web acababa de crearse y la inteligencia artificial estaba en su segundo invierno. Aparecieron en esas fechas los primeros reproductores de música MP3 en sustitución de los CD y DVD, surgen las televisiones privadas y comenzaba a usarse el correo electrónico. Aún no existían la Web 2.0 ni las aplicaciones de mensajería instantánea.

Coincidiendo con la elaboración de los nuevos estatutos, el director don Fernando Lázaro Carreter y el vicedirector don Ángel Martín Municio impulsaron en la Academia un ambicioso plan para incorporar las nuevas tecnologías informáticas a sus actividades. El primer proyecto informático de

- 
- Glosario de términos gramaticales, que pretende contribuir a la unificación de la terminología entre los docentes de gramática en el mundo hispanohablante; Gramática y ortografía básicas de la lengua española; Nueva gramática básica; los tres volúmenes de la Nueva gramática de la lengua española, dedicados a la fonética y fonología, la morfología y la sintaxis, y su versión manual; y Las voces del español. Tiempo y espacio.

<sup>116</sup> *Real Decreto 1109/1993, de 9 de julio, por el que se aprueba los Estatutos de la Real Academia Española.* <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1993-19893>

la corporación, ampliamente documentado por don Alonso Zamora Vicente en su obra, tenía cuatro objetivos<sup>117</sup>: el primero era crear la infraestructura informática; el segundo, desarrollar el sistema de gestión de diccionarios para informatizar la vigésima primera edición del *DRAE*; el tercero, crear una base de datos de materiales léxicos y lexicográficos, y finalmente, el cuarto, confeccionar un gran banco de datos del español estructurado en dos grandes secciones, una diacrónica y otra sincrónica, que han dado lugar al Corpus Diacrónico del Español (CORDE) y al Corpus de Referencia del Español Actual (CREA). El uso de las tecnologías informáticas tradicionales ha puesto a disposición de los lexicógrafos y estudiosos nuevas herramientas que han facilitado su labor. Con ellas, la Academia ha elaborado numerosos materiales lingüísticos de calidad que están disponibles en la web de la corporación<sup>118</sup>, en Enclave RAE<sup>119</sup> y en Enclave de Ciencia<sup>120</sup>. En diciembre de 2022, la dirección académica de la corporación tomó la decisión, a mi entender muy acertada, de facilitar un único punto de acceso a los materiales lingüísticos desde su página institucional. Las aplicaciones de consulta que están disponibles en estas páginas webs acceden a los materiales lingüísticos mediante in-

---

<sup>117</sup> A. Zamora Vicente (2015): *La Real Academia Española: 300 años*. Ed. Real Academia Española-Fundación María Cristina Masaveu Peterson.

<sup>118</sup> <https://www.rae.es>

<sup>119</sup> Enclave. <https://enclave.rae.es/>

<sup>120</sup> Enclave de ciencia. <https://enclavedeciencia.rae.es/contenidos/inicio>

terfaces de programación de aplicaciones privativas de la corporación. Cualquier hablante puede realizar numerosas consultas en la web a los recursos disponibles de forma gratuita. Pero las respuestas se presentan generalmente a través de páginas webs y solo en limitadas ocasiones se pueden exportar al formato PDF. En definitiva, actualmente, los materiales lingüísticos de la RAE no pueden ser utilizados por sistemas de inteligencia artificial externos a la Academia sin intervención humana porque no están en el formato que usa la inteligencia artificial.

### *7.2. Rumbo al nuevo mundo de la inteligencia artificial*

Casi treinta años después de la incorporación de la informática en la Real Academia, el actual director, don Santiago Muñoz Machado, idea e impulsa un nuevo plan para introducir la inteligencia artificial en la institución, un plan que se materializa en el proyecto Lengua Española e Inteligencia Artificial (LEIA)<sup>121</sup>. LEIA tiene como fin principal cuidar el uso de un correcto español en los medios tecnológicos y así evitar que se pierda la unidad que permite que más de 585 millones de personas puedan comunicarse en nuestra lengua sin dificultades. Así, en el año 2019, en el decimosexto<sup>122</sup> Congreso de la Asociación de Academias de la Lengua Española (ASALE), el director de la corporación

---

<sup>121</sup> Real Academia Española (2020): *¿Qué es LEIA?* <https://www.rae.es/noticia/que-es-leia>

<sup>122</sup> Real Academia Española: *Lengua española e inteligencia artificial*. <https://www.rae.es/leia-lengua-espanola-e-inteligencia-artificial>

y presidente de la ASALE declaraba: «Estamos en un momento crucial en el que tenemos que hacer algo que hicieron nuestros antecesores del siglo XVIII (con los humanos): normativizar la lengua de las máquinas y de la inteligencia artificial. Su lengua tiende a diversificarse y hay que tomar medidas. La IA habla inglés, fundamentalmente, y tenemos que procurar que, poco a poco, el español ocupe una posición eminente en el mundo de la IA, pero también en el mundo general de las redes».

Un año más tarde, en diciembre de 2020, el Gobierno anunciaba la Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial<sup>123</sup> (ENIA). La ENIA incluía entre sus objetivos estratégicos liderar, a nivel mundial, el desarrollo de herramientas, tecnologías y aplicaciones para la proyección y uso de la lengua española en los ámbitos de aplicación de la inteligencia artificial. La ENIA presenta treinta medidas agrupadas en seis ejes estratégicos, que paso a enumerar y que están relacionados con el impulso de la investigación, la innovación y el desarrollo tecnológico; el impulso de las capacidades digitales; la construcción de plataformas de datos e infraestructuras tecnológicas; la integración de la inteligencia artificial en las cadenas de valor para transformar el tejido económico; el uso de la inteligencia artificial en las Administraciones públicas, y, finalmente, el desarrollo de un *sandbox* regulatorio, o «espacio controlado de

---

<sup>123</sup> Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital (2020). *ENIA: Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial*. <https://www.lamoncloa.gob.es/presidente/actividades/Documents/2020/ENIA2B.pdf>

pruebas de la regulación», que esté alineado con el reglamento específico<sup>124</sup> de la Comisión Europea para proteger los derechos de los ciudadanos y que trate sobre el diseño, la implementación y el uso de los sistemas de inteligencia artificial en todos los países de la Unión.

Si bien en todos los ejes de la ENIA están presentes las tecnologías del lenguaje y la nueva economía de la lengua, la ENIA incluye dos medidas específicas, de gran calado, para liderar los avances y el uso de la lengua española por parte de los sistemas de inteligencia artificial. En la medida decimotercera, se propone la creación de espacios compartidos de datos sectoriales e industriales y de repositorios de datos descentralizados y accesibles que faciliten la creación de servicios de valor añadido, basados en infraestructuras de datos. Los datos sectoriales de la lengua se encuentran en sus diccionarios, corpus, catálogos de entidades nombradas, terminologías especializadas, anotaciones, gramáticas, etc. La otra medida de la ENIA, la decimocuarta, contempla dos actuaciones: el impulso al Plan Nacional de Tecnologías del Lenguaje y la incorporación de la ya mencionada iniciativa de la lengua española en la inteligencia artificial (LEIA). Para finalizar, la Estrategia de España Digital 2026<sup>125</sup> incluye dos actuaciones relevantes, que están

---

<sup>124</sup> European Commission (2021): *Proposal for a Regulation Laying Down Harmonized Rules on Artificial Intelligence*. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/proposal-regulation-laying-down-harmonised-rules-artificial-intelligence>

<sup>125</sup> Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital: *Estrategia de España Digital 2026*. <https://espanadigital.gob.es/>

directamente relacionadas con la inteligencia artificial y la lengua: la primera es el nuevo <sup>126</sup> Plan Nacional de Tecnologías del Lenguaje; la segunda se refiere al PERTE Nueva Economía de la Lengua y a sus catorce proyectos tractores, entre los que se encuentra LEIA. Para llevar a cabo estas actuaciones, se utilizarán los recursos europeos de los fondos de recuperación, transformación y resiliencia.

En LEIA se vinculan, con gran acierto, dos elementos sin establecer relación jerárquica entre ellos, lo cual permite reflexionar en dos direcciones, al crearse un círculo virtuoso que beneficia tanto a la lengua española como a la inteligencia artificial, al tiempo que ayuda a difundir los criterios de propiedad y corrección en el mundo digital.

En este contexto de la Nueva Economía de la Lengua en Español, caben hacerse algunas preguntas: ¿cómo puede la RAE normativizar la lengua de las máquinas cuando son producto de una inteligencia artificial?; ¿ayudan las tecnologías digitales y la inteligencia artificial a identificar las formas no recogidas en el diccionario, a sostener sólidamente el sistema lingüístico del español y a divulgar las

---

<sup>126</sup> En el año 2015, España fue el primer país europeo en crear un Plan de Impulso de las Tecnologías del Lenguaje para fomentar el desarrollo del procesamiento del lenguaje natural, la traducción automática y los sistemas conversacionales en lengua española y lenguas cooficiales. El plan ya vislumbró el impacto de las tecnologías del lenguaje en la internacionalización de las empresas e instituciones y en la mejora de la cooperación con la comunidad iberoamericana. <https://www.plantl.gob.es/tecnologias-lenguaje/PTL/Paginas/plan-impulso-tecnologias-lenguaje.aspx>

normas de la lengua española tal como han ido consolidándose en el correr de los siglos?; ¿qué puede hacer la Academia para que sus materiales, herramientas, tecnologías y aplicaciones sean de utilidad para la proyección y uso de la lengua española en el ámbito digital, de la inteligencia artificial y del procesamiento del lenguaje natural en toda la comunidad hispanohablante?; ¿cómo puede ayudar la inteligencia artificial a la Academia en su misión de observar el cambio que experimenta la lengua española?

Estas preguntas me llevan a realizar un ejercicio de prospectiva para identificar unos retos que impactarán en el uso del español en el mundo digital. Este ejercicio es arriesgado y complicado, debido a la dependencia de las grandes empresas tecnológicas. Además, es atrevido, pues las actuaciones requieren de un ecosistema de innovación abierta que actualmente no existe en la nueva economía de la lengua en español. El primer reto sería conseguir que los materiales de la corporación se convirtieran en el material de referencia para los sistemas de inteligencia artificial en español; el segundo reto sería incorporar más técnicas de inteligencia artificial para mejorar la metodología y las herramientas informáticas que los lexicógrafos utilizan en sus actividades diarias, al generar los materiales lingüísticos de la corporación; el tercer reto perseguiría observar, supervisar, verificar y, quizá también, certificar el uso del español en el mundo digital; y, finalmente, el cuarto reto plantearía la necesidad de generar un ecosistema de innovación abierta en el que los recursos de la Academia, con las licencias que correspondan, se convirtieran en el referente de la lengua española en el espacio europeo de datos lingüísticos.

### *7.3. Incorporar los materiales en el espacio europeo de datos lingüísticos*

Conviene que las máquinas que usan la lengua española sean entrenadas con materiales lingüísticos fiables que garanticen una comunicación o un entendimiento efectivo y eficiente con sus interlocutores y usuarios. Por este motivo, se sugiere que la Academia analice si se adhiere a los principios *FAIR* anteriormente explicados y que decida la forma en la que algunos de sus materiales, de forma centralizada o federada, con las licencias de uso que corresponda a cada material, pasen a formar parte del espacio europeo de datos lingüísticos.

El proyecto LEIA contempla publicar algunos materiales de la Academia siguiendo estos principios, para así favorecer el buen uso de la lengua española en el universo digital y, especialmente, en el ámbito de la inteligencia artificial y de las tecnologías de la lengua española.

Las actividades técnicas que habría que realizar pasan por construir una ontología para la corporación, transformar los contenidos de algunos materiales, identificar sus licencias de uso en lenguaje «comprensible» por la máquina, proveer de API semánticas que faciliten el uso a los desarrolladores, publicar la ontología y los materiales para que los sistemas de inteligencia artificial los puedan utilizar sin intervención humana, e interconectar los datos de la Academia con los datos del espacio europeo de datos lingüísticos que convenga. De esta forma, se creará una tupida red de conexiones, formando un grafo holístico de conocimiento lingüístico en español. Con todo este proceso, los

materiales de la Casa se posicionarán en el espacio de datos lingüísticos como la referencia para las aplicaciones digitales en la nueva economía de la lengua, incluidas las que están aún por inventar.

#### *7.4. Modelos de lenguaje en español*

Los materiales de la corporación también se podrían destinar a la construcción de nuevos modelos de lenguaje en español o a la mejora de alguno de los existentes. Se describen a continuación tres posibles escenarios de decisión.

En el primer escenario, la Academia debería valorar la conveniencia de construir un modelo de lenguaje nuevo a partir de recursos propios como el CORPES XXI y el CREA, que no son fuentes especialmente voluminosas, pero sí bien cuidadas. Los corpus de la Academia tienen la ventaja de ser de calidad contrastada, con revisiones y anotaciones hechas por expertos. Como ya se ha mencionado antes, el volumen de un corpus no está siempre relacionado con el buen rendimiento del modelo de lenguaje, por más que la abundancia conduzca en principio a modelos más ricos y que el resultado de un modelo se obtenga por el conjunto de los datos, las técnicas de entrenamiento y la arquitectura utilizada.

En el segundo escenario, la Academia podría liderar la agregación de los corpus más representativos panhispánicos en aras de un mayor volumen, diversidad y representatividad de las muestras de lengua con las que se entrenan estos modelos.

En el tercer escenario, la Academia debería analizar si la opción más conveniente es mejorar, en colaboración con otras entidades, alguno de los modelos de lenguaje que ya existen para el español.

En los tres casos, para realizar un ajuste fino, se necesitaría aportar datos procedentes de grafos de conocimiento validados, en formatos y lenguajes computacionales estandarizados y abiertos. De esta forma se compensaría el gran esfuerzo humano que supone la anotación de textos y de datos.

En esta carrera tecnológica que persigue obtener modelos más ricos y productivos, el español progresa detrás del inglés. No existe todavía una metodología sistemática para evaluar modelos de lenguaje en español para diferentes tareas. Se convierte, pues, en otro desafío el desarrollo de una metodología de evaluación comparativa de los modelos de lenguaje de propósito general y específico en nuestra lengua.

### *7.5. Gobernanza de los materiales lingüísticos*

Para que los materiales lingüísticos de la RAE puedan ser consumidos masivamente y de forma sencilla, es preciso explicitar las licencias y modos de uso de cada uno de ellos, con terminologías y formatos estandarizados e interoperables que puedan ser procesados y «entendidos» por los sistemas de inteligencia artificial. De esta manera se favorece el uso y el mercadeo entre máquinas, sin intervención humana, en el mundo digital. La definición de

licencias en un lenguaje computacional se aplicaría no solo a los materiales lingüísticos, sino también a cualquier recurso *software* que tuviera la Academia o que pudiera tener en un futuro.

Entre los ejemplos de uso cabe mencionar algunos que no requerirían la intervención humana: una aplicación que necesita conocer la evolución de la ficha técnica de una palabra en el mapa de diccionarios, o el significado de un conjunto de palabras del diccionario jurídico, o un conjunto de obras que comiencen por una preposición seguida de un artículo indeterminado y un sustantivo, o las anotaciones de un documento concreto en CORPES XXI.

En el caso de que la Academia decida adherirse al espacio europeo de datos lingüísticos, sería necesario gestionar con especial esmero la propiedad intelectual de sus materiales y establecer alianzas estratégicas con terceros. En cuanto a la estrategia de licenciamiento seleccionada para publicar los resultados, habrán de considerarse, entre otros, tres aspectos fundamentales:

Por un lado, los materiales con los que se construyen los corpus y los modelos de lenguaje son obras que pudieran estar protegidas por los derechos de autor. No obstante, de conformidad con el artículo 67 del Real Decreto ley 24/2021, de 2 de noviembre, se aplicaría en estos casos la excepción relativa a la minería de textos y de datos —término que procede del inglés *data mining* y que el diccionario académico define como «proceso en el que se analizan grandes volúmenes de datos con el fin de hallar patrones que expliquen su comportamiento en un contexto determinado»—, a pesar de que los datos con los

que se construyan los modelos no puedan ser distribuidos, y siempre que se satisfagan las condiciones impuestas en la Directiva 2019/790<sup>127</sup> de derechos de autor en el mercado único digital, que, en resumen, se refieren al uso para investigación y a su ejecución por organismos de investigación e instituciones responsables del patrimonio cultural.

Por otro lado, tampoco baladí, está la elección de las licencias con las que se publicarán los materiales lingüísticos generados, y que determinarán cuándo se utilizarían, quién podría hacerlo y cómo y para qué se destinarían. A modo de ejemplo, la licencia debería incluir bajo qué condiciones un diccionario, un corpus o un modelo se podrían modificar con datos sintéticos, o con datos de otros proveedores; si se podrían transmitir, reproducir, publicar, distribuir, redistribuir, etc.; o si sería posible transferir parte del modelo para construir otro nuevo.

Finalmente, el tercer aspecto atañe a que la licencia debe anticipar y, si fuera el caso, impedir posibles usos inapropiados de los modelos de lenguaje, que no contarían con el respaldo de la Academia, y que se refieren a riesgos o daños de naturaleza ética y social que la utilización de los materiales pudiera provocar. De esta forma, la licencia incluiría aspectos relacionados con el uso responsable de los materiales lingüísticos.

---

<sup>127</sup> *Directiva 2019/790 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre los derechos de autor y derechos afines en el mercado único digital y por la que se modifican las Directivas 96/9/CE y 2001/29/CE (2019)*. <https://www.boe.es/doue/2019/130/L00092-00125.pdf>

## 7.6. *Plataforma software para la inteligencia artificial*

La web de la Academia, con más de veinte millones de consultas mensuales<sup>128</sup>, ha sabido atraer a hispanohablantes de todo el mundo, procedentes principalmente de España, México, Argentina, Perú y Colombia, en este orden, y de muchos otros países. Las personas conocen los materiales de la corporación, pero ahora toca que las grandes empresas tecnológicas y las empresas de base tecnológica comiencen a emplearlos en sus desarrollos. Para que esto sea posible, se requiere una transformación que facilite que las máquinas usen los materiales de la RAE directamente, sin intervención humana.

Desde los tiempos del CREA, la corporación dispone de tecnología lingüística propia que le permite el procesamiento y la anotación de sus corpus, y también dar soporte a los diferentes proyectos lexicográficos: segmentadores de texto, lexicones computacionales, redes de sinónimos, morfologías computacionales y lematizadores, etiquetadores de clases de palabras y reconocedores de nombres propios, entre otras tecnologías.

La Academia debería actualizar estas tecnologías informáticas para que incorporen las técnicas más modernas, para que sus materiales sean interoperables en el espacio europeo de datos lingüísticos y con los espacios de datos sectoriales, y para que su software sea fácilmente accesible por sistemas software externos a la Academia. Con este fin

---

<sup>128</sup> Real Academia Española: *Traffic and Engagement Analysis*. <https://www.similarweb.com/website/rae.es/#traffic> (dato de marzo de 2023).

se propone la necesidad de construir, en una primera etapa, una nueva plataforma que proporcione a desarrolladores de *software* externos unas interfaces de programación de aplicaciones (API) basada en estándares, muy detallada y bien documentada, con servicios básicos de acceso, que permitan la recuperación y la consulta de los materiales en formatos propios de la casa, o siguiendo los principios *FAIR* o con las tecnologías de los modelos de lenguaje. Se ha de favorecer la interoperabilidad máquina-máquina para que los investigadores, los gigantes tecnológicos, las empresas de base tecnológica, las empresas dedicadas a la enseñanza de la lengua española y las empresas proveedoras de las interfaces de acceso a los modelos de lenguaje —por ejemplo siguiendo el modelo de la empresa estadounidense Hugging Face<sup>129</sup>— aprovechen los materiales de la Academia para construir nuevas aplicaciones.

Además, en una segunda etapa, habría que pensar si la plataforma debería abrir otros servicios más avanzados, quizá relacionados con la anotación y la clasificación de textos; la verificación ortográfica, léxica, gramatical o de estilo; la limpieza o curado de corpus; la verificación y la validación de los textos en español que se destinan a construir los sistemas de preguntas y respuestas, y otros relacionados con el uso del modelo Ontolex en la transformación de los diccionarios al formato de datos enlazados.

Los datos y servicios de la plataforma deben ser publicados en el mundo digital con el mismo esmero y minuciosa

---

<sup>129</sup> Hugging Face: <https://huggingface.co/>

supervisión con que la Academia ha publicado siempre sus volúmenes impresos. Igualmente, convendría habilitar un punto de acceso único con un portal de acceso a datos, herramientas y servicios siguiendo los principios *FAIR* para catalogar y almacenar los materiales lingüísticos, las herramientas y los servicios. Cada recurso debería tener un conjunto de metadatos asociados para facilitar su descubrimiento, acceso, interoperabilidad y reutilización. Estos metadatos estarían disponibles mediante licencia abierta, independientemente de la licencia correspondiente a cada recurso, que podrá ser abierta, remunerada o dual en función de razones legales o contractuales. Para lograr una mayor visibilidad, y siempre que fuera posible, se recomienda publicar los metadatos de los recursos lingüísticos en portales de datos abiertos gubernamentales de los países de las veintitrés academias, en el portal europeo de datos abiertos<sup>130</sup> y en la infraestructura europea CLARIN ERIC<sup>131</sup>, que agrupa metadatos y recursos tecnológicos relacionados con el uso y aplicación de las lenguas.

Esta plataforma podrá contabilizar dentro de unos años el número de consultas que realizan los sistemas de inteligencia artificial a los materiales de la Academia. Quizá no resulte aventurado imaginar que el número de consultas de las máquinas pueda, en pocos años, superar a las de las personas.

---

<sup>130</sup> European Commission: *European Data Portal*. <https://data.europa.eu/en>

<sup>131</sup> Clarin: *The research infrastructure for language as social and cultural data*. <https://www.clarin.eu/>

### *7.7. Inteligencia artificial en los procesos productivos de la RAE*

Las técnicas de inteligencia artificial pueden agilizar las tareas cotidianas de la Academia. Algunas de estas técnicas se pueden incorporar a las herramientas, sistemas y metodologías de trabajo de la RAE para reducir los tiempos y recursos empleados en la construcción de los materiales lingüísticos y en su posterior mantenimiento. Entre las mejoras y el desarrollo de nuevas herramientas y funcionalidades que convendría incorporar, cabe mencionar la modernización de los sistemas de gestión de los diccionarios digitales y de los sistemas de construcción, anotación y explotación de los corpus, tanto los contemporáneos como los históricos. Todo ello, incluyendo en los procesos internos de la Academia, la interacción humana para validar los resultados que proponga la inteligencia artificial, garantizando así que los recursos mantengan los criterios de calidad establecidos, con el fin de preservar el sistema lingüístico del español.

### *7.8. Sistema de consultas lingüísticas*

Otro aspecto que podría ser beneficioso sería un sistema de consultas lingüísticas avanzado para los usuarios. La Academia ya dispone de listados de preguntas y respuestas, y se conoce también la frecuencia con la que se realiza cada una de las preguntas. Al tiempo, la institución ofrece, a través de diferentes canales, un sistema exitoso que atiende consultas relacionadas con la ortografía, el léxico, la gramática o el estilo.

Las técnicas de inteligencia artificial posibilitan el desarrollo de un sistema de consultas lingüísticas que guíe a nuestros visitantes hacia el par pregunta-respuesta que buscaba de manera más eficaz, sacando mayor provecho de los listados de preguntas y respuestas que ya han atesorado la Academia y FundéuRAE. Además, mediante las tecnologías de análisis de lenguaje natural, la colección de preguntas y respuestas podría enriquecerse con material extraído de otras publicaciones, tales como el *Manual de español urgente*<sup>132</sup>, *El español más vivo: 300 recomendaciones para hablar y escribir bien*<sup>133</sup> o *1001 curiosidades, palabras y expresiones del español*<sup>134</sup>. Nuevas preguntas y respuestas se sumarían, pues, a las ya existentes, y todas ellas estarían disponibles en un único punto de entrada en la web.

El sistema de consultas debería disponer de un buscador con capacidades avanzadas de búsqueda semántica y auto-completado, para lo que se podría beneficiar del histórico de consultas realizadas. Adicionalmente, nuevas herramientas informáticas de carácter lúdico permitirían amenizar el aprendizaje y el uso de las normas lingüísticas en las aulas docentes de los centros educativos para potenciar la

---

<sup>132</sup> *Manual del español urgente*. FundéuRAE. <https://www.fundeu.es/Sobrefundeubbva/publicaciones/manual-de-espanol-urgente/>

<sup>133</sup> *El español más vivo: 300 recomendaciones para hablar y escribir bien*. FundéuRAE. <https://www.fundeu.es/noticia/fundeu-reune-el-espanol-mas-vivo-en-300-recomendaciones-para-hablar-bien/>

<sup>134</sup> *1001 curiosidades, palabras y expresiones del español*. FundéuRAE. <https://www.fundeu.es/blog/la-fundeu-reune-1001-curiosidades-de-espanol-ordenadas-de-10-en-10/>

motivación y la participación, y así facilitar la consecución de estos objetivos en los diferentes niveles formativos.

### *7.9. Verificador lingüístico en línea para el español*

Resultaría de gran interés contar con un verificador lingüístico en línea para el español, posiblemente integrado en las aplicaciones de mensajería instantánea, en los asistentes conversacionales y en los editores (en línea o instalados en local) de las grandes empresas tecnológicas, para ayudar a escribir correctamente. El verificador, además de avanzar en los aspectos de corrección ortográfica, léxica, sintáctica, gramatical y de estilo, debería sugerir sinónimos, redacciones alternativas para mejorar el estilo, el acomodo a la variación lingüística de cada usuario, explicando siempre los motivos de la sugerencia o corrección. También debería adaptarse al tipo de texto, pues como todos saben, no se verifica igual un libro de poemas que una novela, o un documento técnico de informática que un *BOE*. Además, debería permitir la incorporación de terminologías especializadas, que no se encuentran en diccionarios de uso común, así como catálogos de entidades nombradas específicas.

### *7.10. Observatorio del sistema lingüístico del español en Internet*

Para examinar con atención el uso actual de las variedades del español (oral y escrito, en las diferentes zonas geográficas)

cas y en diferentes canales de comunicación), se necesitaría un sistema que observara cómo se emplea nuestro sistema lingüístico en prensa digital, plataformas colaborativas, foros y blogs, por mencionar algunas posibilidades. Dado que el observatorio recopilaría, prácticamente en tiempo real, grandes volúmenes de documentos y vídeos, la inteligencia artificial ayudaría a analizar y extraer, entre otros, términos y expresiones que se catalogarían como neologismos, tecnicismos, regionalismos, o que recibirían cualquier otra clasificación que se considerara pertinente. El observatorio permitiría detectar posibles variaciones con respecto a la norma lingüística, variaciones que, a su vez, quedarían censadas en un corpus de nuevas palabras y expresiones no recogidas en el sistema lingüístico del español. Este corpus resultaría de gran interés para realizar, al menos, dos actividades: la primera, monitorizar si el uso de una palabra o expresión persiste o decae en el tiempo, o si se amplía o se reduce en diferentes zonas geográficas; y la segunda, generar un catálogo vivo de palabras y expresiones no admisibles por zonas geográficas, que podrían servir también de entrada a la herramienta en línea de verificación antes descrita. De esta forma, el verificador recomendaría sustituir las palabras y expresiones no admisibles por otras que sí lo fueran, siempre de acuerdo con la variante del español del usuario. Todo ello ayudaría a difundir los criterios de propiedad y corrección del español en la esfera digital.

### 7.11. *La necesidad de evaluar de forma comparativa y consensuada*

En informática, es ampliamente conocido que la calidad de la salida de un sistema viene determinada por la calidad de los datos de entrada. Si los datos de entrada son incorrectos o de mala calidad, la salida será defectuosa.

Como ya se ha mencionado, el Gobierno de España puso en marcha el proyecto estratégico Nueva Economía de la Lengua, que cuenta con un presupuesto total de 1100 millones de euros. En este contexto, es previsible que, en los próximos años, surjan una plétora de terminologías, diccionarios, corpus y modelos de lenguajes especializados para diferentes disciplinas que se utilizarán en numerosas aplicaciones.

Las instituciones beneficiarias de los proyectos de la Nueva Economía de la Lengua en español deben prestar especial atención a la evaluación de los corpus que generen, a los datos que incorporen al espacio europeo de datos, a los modelos de lenguaje que se alojen en repositorios y al *software* que se suba a las forjas de código abierto. Por este motivo, se sugiere la necesidad urgente de elaborar una metodología consensuada que guíe este proceso de evaluación o auditoría de los materiales y tecnologías del lenguaje en español, dado que los actores son numerosos y los materiales que se generen son diversos. La definición de una metodología consensuada que permita documentar y, posteriormente, certificar los procesos facilitaría la evaluación comparativa y la toma de decisiones con garantías en un ecosistema puntero de innovación abierta.

Especial atención merece la evaluación de los corpus con los que se entrenan los modelos de lenguaje en la llamada inteligencia artificial generativa.

Si los corpus utilizados en el entrenamiento presentan errores repetitivos en el léxico, o en la ortografía o en la gramática, el modelo de lenguaje aprenderá dando por buenos los errores, y las frases que el modelo generará no seguirán las normas del idioma. De la misma forma, si los corpus contienen reiteradamente palabras o expresiones no admisibles, abreviaturas, siglas, neologismos, tecnicismos o sesgos racistas o sexistas, las aplicaciones que utilicen el modelo los darán por buenos, porque entienden que ese es el patrón estadístico, salvo que los desarrolladores de los modelos realicen una evaluación rigurosa de los textos con carácter previo al entrenamiento del modelo.

Es conocido que los sesgos de sexo y raza son necesarios, en cierta medida, para algunos diagnósticos médicos y para el análisis de la genética humana. Pero el sesgo es inherente a los seres humanos e influye en la toma de decisiones. Existe un sesgo inconsciente, propio de cada uno, que está relacionado con prejuicios, discriminación, racismo, sexo, estereotipos o el nivel educativo, por mencionar solo algunos. Por ello, es imprescindible detectar, en etapas tempranas, los sesgos en los datos que se utilizan en el entrenamiento de los modelos de aprendizaje profundo. Así, si los datos de entrenamiento están sesgados de forma consciente o inconsciente, el algoritmo podría favorecer una respuesta frente a otra, o tomar una decisión potencialmente dañina que perjudicaría a un individuo o a un colectivo. Obsérvese también que un sesgo no es un requisito, una cualidad,

una circunstancia o algo que se requiera *a priori* para, por ejemplo, dar un crédito o ser elegible para un puesto de trabajo.

Al construir el corpus, conviene filtrar los datos personales para evitar que el modelo de lenguaje revele información privada de una persona o de una empresa. También podrían inferirse datos de una persona que no están explicitados en la fuente a partir de los datos de otras personas de similares características. Incluso se podría divulgar información, por parte de algunos usuarios malévolos, relacionada con la seguridad nacional o con secretos comerciales o científicos.

### *7.12. Ecosistema de innovación abierta*

Como ya se ha mencionado, la ENIA señala el tratamiento del lenguaje natural como un componente básico para el desarrollo de la inteligencia artificial en España, que aspira a «liderar a nivel mundial el desarrollo de herramientas, tecnologías y aplicaciones para la proyección y uso de la lengua española en los ámbitos de aplicación de la IA». Para alcanzar este objetivo tan ambicioso, se necesita crear un ecosistema de innovación abierta que requiere de un marco de colaboración estable entre numerosos agentes. Junto a la Real Academia, deberían participar las Administraciones públicas, las grandes empresas tecnológicas, las pequeñas y medianas empresas, las universidades, los centros de investigación e innovación, así como los centros de enseñanza media y de formación profesional. En los conte-

nidos docentes de estudios preuniversitarios, se deben introducir el pensamiento computacional, unas nociones básicas de inteligencia artificial y el uso de herramientas digitales en la enseñanza del español y de la literatura. Dada la importancia de la interdisciplinariedad, se debería mantener una visión multidisciplinar en la formación de los egresados y doctorandos de las universidades, para facilitar niveles más altos de empleabilidad del personal formado en lingüística y lingüística computacional. De esta manera se contribuiría a satisfacer las necesidades de numerosos sectores empresariales y de la Administración pública. Esta línea de formación a todos los niveles requeriría acuerdos bilaterales de la Universidad con las empresas y con las Administraciones públicas para garantizar, a largo plazo, una relación más estrecha entre las necesidades de la sociedad digital y la preparación impartida en la universidad. Igualmente, el sector empresarial y las Administraciones públicas pueden colaborar con la Universidad ofertando prácticas curriculares, trabajos fin de grado o de máster, o doctorados industriales. Los ministerios con competencias en Investigación, Innovación y Universidades deben financiar generosamente programas estables y ambiciosos de movilidad, atracción y retención de talento con el fin de crear una masa crítica de perfiles altamente cualificados que realicen una investigación puntera en la frontera del conocimiento.

La Academia debe situarse, junto a otros actores, en el centro del ecosistema que se está creando. Un ecosistema que estará vivo y en continua evolución, que se tiene que retroalimentar y con la obligación de perdurar.

## 8. HACIA UNA REGULACIÓN EUROPEA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

En el año 2018, la comunicación de la Comisión Europea titulada *Inteligencia artificial para Europa*<sup>135</sup> propuso una inteligencia artificial que beneficiara a las personas y a la sociedad en su conjunto, con el fin de incrementar la competitividad de Europa frente a Estados Unidos y a China, y enfatizar la necesidad de mejorar las políticas educativas que permitan a los ciudadanos adquirir nuevas habilidades, todo ello basado en los valores europeos. Un año más tarde, el grupo de expertos de alto nivel sobre inteligencia artificial presentó unas directrices éticas<sup>136</sup> para una inteligencia artificial fiable, basada en los principios de respeto por los derechos humanos, autonomía, prevención del daño, equidad y capacidad de explicación, que fuera respetuosa con las leyes y reglamentos, y robusta desde un punto de vista técnico y social.

En estos días, la Comisión Europea está finalizando un reglamento específico<sup>137</sup> sobre el desarrollo y el uso de los

---

<sup>135</sup> European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the European economic and social committee of the regions (2018): *Artificial Intelligence for Europe*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0237&from=EN>

<sup>136</sup> European Commission. Independent high-level group on artificial intelligence (2019): *Ethics Guidelines for Trustworthy AI*. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/ethics-guidelines-trustworthy-ai>

<sup>137</sup> European Commission. Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council (2021): *Laying Down Harmonized*

sistemas de inteligencia artificial en todos los países de la Unión para proteger los derechos de los ciudadanos. De esta forma, la Comisión Europea reconoce que los mismos elementos y técnicas que potencian los beneficios socioeconómicos de la inteligencia artificial en el mercado europeo pueden también generar nuevos riesgos o consecuencias negativas para los individuos y para la sociedad. Por ello, el reglamento contempla cuatro objetivos específicos: primero, garantizar que los sistemas de inteligencia artificial introducidos y utilizados en el mercado de la Unión sean seguros y respeten la legislación vigente sobre derechos fundamentales y valores europeos; segundo, garantizar la seguridad jurídica para facilitar la inversión y la innovación en inteligencia artificial; tercero, mejorar la gobernanza y la aplicación efectiva de la legislación existente sobre derechos y requisitos de seguridad aplicables a los sistemas de inteligencia artificial; y cuarto, facilitar el desarrollo de un mercado único para unas aplicaciones de inteligencia artificial lícitas, seguras y fiables. El reglamento está estrechamente relacionado con la ley europea de protección de datos<sup>138</sup>,

---

*Rules on Artificial Intelligence (Artificial Intelligence Act) and Amending Certain Union Legislative Acts.* <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/proposal-regulation-laying-down-harmonised-rules-artificial-intelligence>

<sup>138</sup> Official Journal of the European Union (2016): *Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the council on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data, and repealing Directive 95/46/EC (General Data Protection Regulation).* <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj>

con la gobernanza del dato europeo<sup>139</sup>, con la directiva de datos abiertos<sup>140</sup> y con otras iniciativas que establecen mecanismos y servicios de confianza para la reutilización, compartición y puesta en común de datos.

El reglamento identifica cuatro tipos de riesgos: riesgo inaceptable, alto riesgo, riesgo limitado y riesgo mínimo. Impone también cargas regulatorias solo cuando es probable que un sistema de inteligencia artificial plantee riesgos elevados para los derechos fundamentales o para la seguridad. Así, las aplicaciones que manipulan el comportamiento de las personas, las clasifican o las identifican biométricamente de forma masiva, a distancia y en tiempo real serán consideradas de riesgo inaceptable y estarán prohibidas. Para los sistemas de inteligencia artificial que no son de alto riesgo, solo se imponen obligaciones de transparencia muy limitadas, en términos de suministro de información para avisar a las personas de que están interactuando con un *software*. Para los sistemas de alto riesgo, el reglamento establece requerimientos que han de satisfacerse antes de que el sistema se comience a utilizar, requisitos que han de

---

<sup>139</sup> Official Journal of the European Union (2022): *Regulation (EU) 2022/868 of the European Parliament and of the council on European data governance and amending Regulation (EU) 2018/1724 (Data Governance Act)*. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/data-governance-act>

<sup>140</sup> Official Journal of the European Union (2019): *Directive (EU) 2019/1024 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2019 on open data and the re-use of public sector information*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019L1024>

mantenerse durante todo su ciclo de vida. En la aplicación del reglamento, está previsto que España sea pionera con el primer proyecto piloto que probará estas guías. Si bien la ENIA fue de las últimas estrategias europeas en publicarse, en julio de 2021, España fue pionera al lanzar la carta de derechos digitales<sup>141</sup> para articular un marco de referencia que vela por los derechos de la ciudadanía en la nueva realidad digital. También lo está siendo por el proyecto piloto que identificará buenas prácticas, que permitirán a las empresas implementar la nueva regulación europea<sup>142</sup> en los sistemas de inteligencia artificial de alto riesgo.

\* \* \*

Para concluir, la Academia debe considerar cómo llevar a cabo su misión para conocer y supervisar el uso del español en el mundo digital, y a la vez actuar para ofrecer sus materiales, con las licencias que corresponda, para que las aplicaciones existentes, y las nuevas que están por construir, usen correctamente la lengua en un ecosistema de innovación abierta. Por ello, debo insistir en que lo que se haga, para que sea efectivo, tiene que ser localizable, accesible, interoperable, reutilizable, y muy fácil de utilizar por los

---

<sup>141</sup> Carta de derechos digitales. [https://portal.mineco.gob.es/RecursosNoticia/mineco/prensa/noticias/2021/Carta\\_Derechos\\_Digitales\\_RedEs\\_140721.pdf](https://portal.mineco.gob.es/RecursosNoticia/mineco/prensa/noticias/2021/Carta_Derechos_Digitales_RedEs_140721.pdf)

<sup>142</sup> *Sandbox* de regulación de la inteligencia artificial. [https://portal.mineco.gob.es/es-es/comunicacion/Paginas/20220627-PR\\_AI\\_Sandbox.aspx](https://portal.mineco.gob.es/es-es/comunicacion/Paginas/20220627-PR_AI_Sandbox.aspx)

sistemas de inteligencia artificial. Tiene que cubrir la sensación de inmediatez que tenemos.

Como todos sabemos los avances de la tecnología van muy por delante de cualquier legislación. No quisiera finalizar sin señalar que, cada día que pasa, se necesita más el reglamento específico sobre el desarrollo y el uso de los sistemas de inteligencia artificial que la Comisión Europea está elaborando. Mientras llega, debemos pensar en que no todo lo que sea técnicamente posible es socialmente conveniente, porque puede superar las fronteras de lo ético, medioambiental y legalmente aceptable.

Me siento profundamente honrada y motivada por la oportunidad de contribuir a la labor de la Academia. Prometo trabajar con gran ilusión, prudencia, entusiasmo, disposición y responsabilidad para aportar todo lo que esté en mi mano en este apasionante ámbito de aplicación de la inteligencia artificial.

Gracias por su atención y confianza.



Contestación  
del  
EXCMO. SR. D. SANTIAGO MUÑOZ MACHADO



Señora Vicepresidenta primera del Gobierno, señoras y señores académicos, señoras y señores.

**H**ace ya noventa años que el director de la Academia no asumía personalmente la responsabilidad de responder al discurso de ingreso de un nuevo académico, función que es práctica delegar en algún académico más sabio o más especializado que él en la materia sobre la que verse la exposición del recipiendario. He retenido, en esta ocasión, el honor y el riesgo de la contestación, porque la materia sobre la que ha disertado la profesora Gómez-Pérez es radicalmente nueva en esta Casa, como lo es la propia tecnología que sostiene la denominada inteligencia artificial. Sabemos todos muy poco sobre lo que sus aplicaciones pueden depararnos, pero tenemos la percepción de que abren un horizonte revolucionario para el uso y la regulación de la lengua, tan retador y apasionante para la Real Academia Española que me atrevo a afirmar que entramos en una segunda era de su vida institucional.

Hace un par de semanas la revista *The Economist* ilustró su portada con las dos letras que forman el acrónimo de inteligencia artificial en inglés (AI). Adornó la primera con coronas y signos de santidad y la segunda con los símbolos que identifican al diablo, con cuernos y rabo incluidos. Una simbología tan sencilla y conocida acertó a expresar esquemáticamente, con dos pinceladas, la ambigüedad y las dudas que todavía plantea a muchos el irresistible y rápido avance de la inteligencia artificial: puede ser un motor de cambio de nuestras sociedades de una potencia desconocida en cualquier revolución tecnológica anterior, y, al mismo tiempo, ha generado el temor a que pueda tener efectos destructivos sobre el dominio humano de todas las cosas, sea el final del Antropoceno y el inicio de la era en que las máquinas gobernarán el mundo.

La inteligencia artificial puede ser un espacio abierto a la utopía, pero también la puerta de entrada a un mundo distópico. En cuanto a lo primero Raymond Kurzweil (*The singularity is near: when humans transcend biology*, New York, 2005) ha observado que podría conducirnos a un modelo de sociedad sin precedentes en el que nuestro mundo pudiera funcionar gracias a inteligencias calificadas de algún modo como superiores que nos liberasen del trabajo repetitivo, que gestionasen el tráfico, redujesen la contaminación o eliminasen la enfermedad. Por lo que concierne a la proyección distópica de los cambios que se avecinan, lo que se plantea es la posibilidad de que la inteligencia artificial pueda tomar decisiones contrarias a los intereses de los seres humanos. Una inteligencia con una capacidad computacional ilimitada, superior a cualquier inteligencia humana,

puede asumir la responsabilidad de dirigir los destinos de una especie inferior o incluso considerar que la acción de los seres humanos, la actuación antrópica, es un peligro para el planeta. De aquí la tendencia de esa inteligencia, artificial pero superior, a sojuzgar y controlar a los propios seres humanos.

En la actualidad estos riesgos son algo más que especulaciones literarias. El análisis de las ventajas e inconvenientes de la inteligencia artificial se ha convertido en uno de los temas recurrentes de cualquier exposición sobre esta materia, tanto desde una perspectiva ética como desde un punto de vista jurídico [en general, R. López de Mantaras y P. Messeguer González *Inteligencia artificial* (Madrid, Catarata-CSIC 2017)].

Los perjuicios que acarrearía una inteligencia artificial denominada «fuerte», o general, como la ha llamado Asunción Gómez-Pérez hace un momento, capaz de sustituir todas las capacidades de la mente humana y de superarlas, están todavía situados en los términos de la especulación. La inteligencia artificial que, por el momento, hay que tener en cuenta es la que se crea para desarrollar propósitos específicos. El prototipo que todavía tenemos en la cabeza es el de la máquina dotada de inteligencia artificial que es capaz de jugar y ganar al ajedrez. La otra clase, la inteligencia artificial fuerte, tendría que ser capaz de razonar como una persona y, por tanto, estar dotada de empatía, es decir de capacidad para ponerse en el lugar de otro, y habilidad para el aprendizaje emocional, lo que hoy por hoy no está al alcance de una máquina.

En todo caso, los progresos de la inteligencia artificial están haciendo preocuparse al mundo. Hace pocas semanas

un grupo relevante de expertos, al que acompañaban muy conocidos filósofos, antropólogos, historiadores y populares hombres de negocios, propusieron una «pausa» en la inteligencia artificial, una moratoria de pocos meses para determinar sus límites. Y solo hace unos días, expertos de todo el mundo en neurociencia, entre los cuales el español Rafael Yuste, advertían de las consecuencias para los derechos individuales de algunos de los progresos de la aplicación al cerebro humano de estas nuevas tecnologías, que pueden permitir ampliar sus capacidades, explorarlo y predecir sus decisiones o conocer los pensamientos.

Quiere esto decir, a mi juicio, que la distinción entre una inteligencia artificial puramente instrumental y otra de fondo, que aspira a emular en todo a la inteligencia humana, tiene algunos bordes bastante difuminados, y el tránsito entre los modelos más utilitarios e inocentes y las herramientas de alto riesgo será un proceso difícil de advertir y evitar.

Por lo que concierne a la importancia que cabe conceder al dominio por las máquinas de la lengua que hablamos, es necesario recordar el evangelio de San Juan (1:1) porque, se le otorgue o no carácter sagrado, según las inclinaciones de cada uno, es una realidad empírica que la lengua está en el centro de todo el sistema de nuestra cultura. En el principio estuvo la palabra, el verbo. Aunque algunas veces se hayan considerado excesivamente especulativas las tesis del filósofo e historiador Yuval Noah Harari, pocas objeciones pueden oponerse a sus consideraciones recientes sobre las consecuencias de que la inteligencia artificial haya adquirido capacidades avanzadas para manipular y generar lengua-

je, ya sea con palabras, sonidos o imágenes. Esto supone que la inteligencia artificial «ha hackeado el sistema operativo de nuestra civilización» (*The Economist*, 24 de abril de 2023). Lo afirma porque el lenguaje es la materia de que está hecha toda la cultura humana, la definición de los derechos y todos nuestros artefactos culturales, el dinero, las religiones, las leyes, las historias... No sabemos cuánto tiempo tardará la inteligencia artificial en poder crear libros que podamos confundir con los que proceden de la imaginación humana, ni en construir nuevas creencias con palabras que podamos considerar propias de los humanos, ni en mantener conversaciones políticas que puedan influir en nuestras propias convicciones o contribuir a alterar la opinión de los ciudadanos. No sé cuánto tiempo falta, pero se ha iniciado el camino y el progreso en ese sentido no se hará esperar mucho.

El inicio está en la utilización por la inteligencia artificial del lenguaje natural y esto ya es objetivo conquistado. Es evidente que habrá que establecer límites jurídicos y éticos para la protección de valores y derechos, sea por la vía de la autorregulación o por medio de la regulación. Sobre ello volveré luego.

\* \* \*

Un paso más allá del hecho mismo de la irrupción de la inteligencia artificial en el dominio del lenguaje humano está la cuestión de las repercusiones puramente lingüísticas de esa utilización, es decir la calidad y la accesibilidad de la lengua hablada por las máquinas y el riesgo de que produz-

ca perjuicios en su unidad, mantenida hasta hoy como una de las mayores conquistas de la ordenada expansión del español en el mundo. El problema que enuncio no es ninguna cuestión de futuro, sino que describe una situación con la que la RAE ha empezado a enfrentarse.

Estará bien subrayar que no es esta una cuestión baladí. La lengua es el valor principal de la cultura de los pueblos y el español lo es de una comunidad que incluye a casi seiscientos millones de personas. Un deterioro de la calidad, la capacidad expresiva, la belleza o la unidad del español a cuenta de los desarrollos de la inteligencia artificial sería una lesión cultural de primer orden.

Téngase en cuenta que la Real Academia Española, durante más de trescientos años, ha dedicado toda su relevante actividad al mantenimiento de normas léxicas y gramaticales que aseguren la capacidad de comunicación del español y su unidad en todo el espacio hispanohablante. Las obras de la RAE han sido aceptadas siempre y consideradas, a lo largo de los tres siglos de la institución, como normas de obligado acatamiento. No tiene la Academia a su disposición un poder sancionador con el que reprimir a los infractores, pero su autoridad y prestigio determinan que sus reglas constituyan un singular «derecho blando» cuyo acatamiento es imprescindible para cualquiera que desee ser miembro de una comunidad hispanohablante como persona alfabetizada. Es la sociedad misma la que repudia la utilización bárbara, inadaptada o incorrecta de la lengua común. Este carácter normativo de las obras académicas tiene, desde hace ya muchos decenios, el apoyo de las Academias de la lengua española, que empezaron a consti-

tuirse en América desde finales del siglo XIX, y de la Asociación de Academias que se fundó en 1951, y ha mantenido regularmente su actividad hasta hoy.

El Diccionario, la Gramática y la Ortografía, que son las principales obras normativas de la Academia desde el siglo XVIII, han ido adaptándose a la evolución del idioma. Los procedimientos de elaboración y reforma de los textos correspondientes han sido siempre cuidadosos y meditados, y basados en los cambios paulatinos del lenguaje. La relación de la Academia con la lengua puede decirse que se produce con la intermediación de los propios usuarios del idioma, siempre personas dotadas de inteligencia natural a los que la Academia puede dirigirse directamente porque tienen capacidades que les permiten entender los mensajes que la institución envía con sus obras y recomendaciones.

La utilización de la lengua por la inteligencia artificial cambia este panorama tradicional. La RAE no tiene relación directa con las máquinas, ni posibilidad de corregir directamente la eventual barbarie con la que manejen el idioma. La lengua de las máquinas la determinan sus programadores. Siempre se han adaptado las obras académicas a los cambios, muy lentos, que los hablantes introducen en el idioma. Son muchos millones de agentes los propietarios de la lengua, a los que esta institución sigue con toda meticulosidad apuntando sus mutaciones y variantes en toda la geografía universal del español. Desde hace pocos años y con una intensidad creciente, los cambios no son obra exclusiva de la comunidad de los hispanohablantes porque se han introducido en el sistema de la lengua agentes nuevos, las empresas tecnológicas que usan inteligencia artificial,

que son potenciales reguladores o, al menos, prescriptores de nuestra propia lengua, con capacidades para imponer variantes que pueden no coincidir con los usos comunes de los humanos. Además esas prescripciones se establecen como reglas de uso a toda la extraordinaria legión de nuevos usuarios de la lengua, que son cientos de millones de máquinas parlantes.

Ciertamente, los directivos de las grandes empresas tecnológicas que fabrican máquinas dotadas de inteligencia artificial, capaces de usar nuestra lengua, tienen el máximo interés en que lo hagan en términos de calidad aceptable porque, de no ser así, lo mismo que las comunidades de hablantes repudian a quienes no manejan adecuadamente el idioma común, los mercados no aceptarán productos defectuosos porque carecen de las habilidades idiomáticas mínimas.

La cuestión problemática radica, no obstante, en la posibilidad de que se establezcan estándares poco exigentes para el lenguaje de las máquinas, o también que se generen diferencias crecientes entre las lenguas programadas para sus máquinas por las principales empresas tecnológicas. Es posible, por ejemplo, lo más elemental: que el vocabulario con que se dota a la inteligencia artificial hablante sea menor en unos casos que en otros. Puede ocurrir que algunas máquinas parlantes acepten jergas o particularismos lingüísticos desconocidos por otras, abunden en variantes fraseológicas que no hayan sido asumidas por todos los programadores, o, en fin, que se utilicen de modo sesgado especialidades lingüísticas de algunos territorios y se use menos, o incluso se desplace, el tronco común del idioma.

Estas especialidades pueden ser el germen de dialectos digitales, llamémoslos así, que tensionen la unidad y establezcan las bases de una fragmentación del uso del idioma que la normativa académica ha logrado evitar durante más de trescientos años. Sería un grave retroceso, desde luego, con un impacto cultural de enorme envergadura.

No es esta una cuestión que pueda banalizarse porque en la actualidad ya hay en el mundo más máquinas que manejan la lengua natural que humanos. Estas máquinas se han introducido por completo en nuestras comunidades y nos acompañan en todas partes y durante todo nuestro tiempo: teléfonos y relojes inteligentes, tabletas y computadores, traductores, correctores lingüísticos en los teclados que usamos para escribir, navegadores, asistentes de voz que colaboran eficazmente en las tareas domésticas y en la programación de nuestra vida diaria, juegos hablantes con los que aprenden los niños... En fin, la vida diaria de cualquier ciudadano se desarrolla en compañía de la inteligencia artificial (dada la dependencia que generan todos los programas mencionados, seguramente son ya el miembro de la familia con el que más trato existe) e, indudablemente, influye en el uso de la lengua. En el caso de los niños y de las personas con menos formación porque se produce un más que probable aprendizaje directo del vocabulario, la fonética y la fraseología de las máquinas. Si de adultos formados se trata, porque los programas indicados imponen cambios paulatinos en el lenguaje que tienden a deteriorarlo y acarrear peligros para su calidad expresiva.

Mencionaré algún ejemplo de esto último. Los teclados inteligentes, que nos advierten sobre la incorrecta ortogra-

fía de alguna palabra o incluso marcan automáticamente que no existe, toman como referencia corpus léxicos que pueden ser insuficientes o incorrectos. El *Diccionario de la lengua española* de la RAE y ASALE contiene alrededor de 94 000 entradas y 189 000 acepciones. Otros diccionarios recogen un léxico más limitado. Y nadie obliga, hasta ahora, a las empresas tecnológicas a que entrenen sus máquinas con uno u otro diccionario o incluso que elaboren un vocabulario propio. La consecuencia de estas elecciones es que el teclado inteligente aceptará o no un vocabulario más rico dependiendo de la extensión del corpus que use. Pero, además, no es cuestión de número, sino también de calidad: un corrector puede excluir una determinada expresión, aunque sea correcta, porque sus programadores así lo han decidido, y esto puede ocurrir al margen de las normas que la RAE ha establecido y que los humanos venimos aceptando como correctas desde hace tres siglos. Sucede, además, que si el usuario acepta las indicaciones de su teclado inteligente, los algoritmos de que se vale el sistema viralizan la solución, sea correcta o incorrecta desde la perspectiva de las normas lingüísticas, generalizándola. La Academia ha podido determinar que hay teclados con sistemas de corrección automática que dan por inexistentes casi el veinte por ciento de los vocablos que figuran en nuestro diccionario.

Problemas semejantes se suscitan con los traductores automáticos. Ha avanzado esa tecnología a una velocidad pasmosa y no tardará en llegar el tiempo en el que los traductores sean intermediarios habituales en las conversaciones entre individuos de diferentes lenguas o para la lectura y

comprensión de obras y libros de cualquier clase. He escrito en otro lugar que el progreso de la traducción automática augura el final de Babel porque las diferencias lingüísticas acabarán siendo superadas, gracias a esos programas inteligentes, de modo que no tendremos que soportar la maldición bíblica de tener que aprender otros idiomas para mejorar nuestra capacidad de comunicación. Podremos hablar con cualquiera con absoluta simultaneidad entre la expresión originaria y la derivada de la traducción. Pero hay que tener en cuenta la enorme importancia de que las máquinas sean entrenadas con los vocabularios adecuados y que manejen correctamente el sistema entero de la lengua.

Se están tratando de preparar, con comprensible aceleración, corpus para la inteligencia artificial de la lengua española que, hasta donde son conocidos, plantean muchos problemas si se comparan con los corpus lingüísticos que la RAE ha elaborado desde hace años: los de la nueva generación han sido extraídos de páginas web, y consisten en acumulaciones de datos simplemente recolectados, no seleccionados. Y han recopilado la lengua española de España, pero parece que se dejan atrás la de América, que tanto peso tiene en nuestro tiempo. Por más que algunos de estos corpus hayan conseguido reunir, según anuncian, miles de millones de palabras, les falta un control de calidad, una documentación suficiente, y la aplicación de métodos que hagan útiles los resultados. La inteligencia artificial puede facilitar la elaboración, en pocas horas, de corpus lingüísticos multimillonarios. Lo que es seguro es que no tendrán la calidad ni podrán manejarse con la seguridad que ofrecen los elaborados en esta Casa.

En el momento actual, la Real Academia Española es la única institución que ha creado el gran corpus del español, consultable, de todas las épocas y de todos los lugares en los que se habla o se habló español, documentado, anotado, del que es posible extraer datos lingüísticos con los que alimentar a la inteligencia artificial. La suma de palabras de todos los corpus (CORDE, CDH, CREA, CORPES, Enclave de Ciencia...) supera los 800 millones de formas seleccionadas, que comprenden desde los inicios de la lengua española hasta la actualidad. Cada uno de los textos que conforman los corpus de la RAE están perfectamente documentados, de modo que se conoce su origen geográfico, el tipo de obras literarias o medios de comunicación de los que procede. Son completos y evitan inclinaciones o sesgos hacia una mala aplicación de nuestra lengua por los algoritmos de la inteligencia artificial.

Es notorio que el objetivo fundamental de los corpus que se preparan para la inteligencia artificial es facilitar modelos de lenguaje que permitan «crear herramientas relacionadas con el lenguaje y capaces de clasificar documentos, realizar correcciones o elaborar herramientas de traducción» (La información básica (oficial) está en <https://datos.gob.es/es/blog/asi-es-maria-la-primera-inteligencia-artificial-de-la-lengua-espanola>).

El sistema habitual de construcción de estos recursos consiste en programas que recorren la red (o acuden a bancos de datos donde se ha producido una previa acumulación de palabras contenidas en sitios web) en busca de textos potencialmente interesantes para, tras algunos filtros referidos a la lengua del texto, tamaño, eliminación de repeticiones y si-

milares, integrarlos en esos conjuntos ingentes que son procesados en busca de los modelos capaces de «generar textos nuevos a partir de un ejemplo previo, lo que resulta muy útil a la hora de elaborar resúmenes, simplificar grandes cantidades de información, generar preguntas y respuestas e, incluso, mantener un diálogo».

Los corpus de referencia, como los elaborados por la RAE, siguen un planteamiento totalmente distinto. Su objetivo básico consiste en integrar materiales de muy diverso tipo y procedencias a efectos de obtener los datos necesarios para mejorar nuestro conocimiento acerca de la situación de la lengua española, sus variedades y su historia y poder aplicar luego esos conocimientos a campos muy variados.

Se recuerda con frecuencia el riesgo de los sesgos que pueden presentar los algoritmos de inteligencia artificial, que puedan afectar a la igualdad de género, a la desigualdad por razón de la discapacidad, o ser contrarios a las políticas medioambientales. Como este acto está teniendo lugar en sede de la RAE, es pertinente añadir los sesgos lingüísticos consistentes en una mala utilización gramatical o léxica de nuestro idioma.

Entre las diferentes causas de la aparición de sesgos en la inteligencia artificial, es más probable que los sesgos procedan de los *big data*. Los grandes corpus ya existentes en cualquier idioma han sido compendiados, en la mayor parte de los casos, mediante procedimientos automatizados en los que no se incluyen instrumentos capaces de detectarlos. Puede haber discriminaciones geográficas debidas a que las bases de datos hayan atendido al lenguaje

común de una parte del mundo (hispanohablante en nuestro caso) olvidando, si aquellas se han preparado en España, el léxico y las expresiones americanas. Para luchar contra ello la fórmula más adecuada es la utilización de corpus lingüísticos bien marcados, en los que se haya depurado cualquier sesgo, contrastado las desviaciones de cualquier *corpus* de gran tamaño que se esté utilizado para entrenamiento de la inteligencia artificial o a efectos de la preparación de algoritmos.

\* \* \*

Siendo importante el desafío de defender la cultura y los derechos de los riesgos que plantea la inteligencia artificial, ninguna duda me cabe de que la mejor opción que pueden seguir los Estados y la Unión Europea, y más bien esta que los Estados dada la escala del problema, es regularla lo antes que sea posible. En los ámbitos económicos angloamericanos se inclinan más bien por la autorregulación. La cultura europea ha preferido siempre la regulación de los nuevos inventos. Lo urgente ahora no es entretenerse en cambiar los principios en que se ha basado tradicionalmente la relación entre lo público o privado en el área europea y en la angloamericana; ya habrá tiempo y maneras de confluir en principios y valores de puerto seguro para que las reglas de ordenación sean globales.

Uno de los principios generalmente admitidos de la inteligencia artificial y de la robótica es el que exige que las máquinas siempre estén dominadas por los humanos. Este principio impone la necesidad de que los poderes públicos

establezcan límites de la inteligencia artificial mediante una regulación de sus aplicaciones.

Desde hace años se han estado aprobando directrices no vinculantes y criterios éticos sobre el uso de la inteligencia artificial, tales como las que fijó en 2018 el grupo independiente de expertos creado por la Comisión Europea bajo el título *Directrices éticas para una IA fiable*. También la Comisión aprobó en 2020 un *Libro Blanco sobre Inteligencia Artificial*. En 2021 se ha elaborado en España la *Carta de derechos digitales*. También se ha aprobado una *Carta iberoamericana de derechos en los entornos digitales* en 2023. El Parlamento, el Consejo y la Comisión Europea han aprobado en 2023 una *Declaración Europea sobre Principios y Derechos digitales para la Década Digital*. Son, todos los citados, documentos declarativos, sin valor vinculante.

La regulación de la IA en Europa tendrá un impulso definitivo cuando se apruebe la *Propuesta del Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo por el que se establecen normas armonizadas en materia de inteligencia artificial (Ley de inteligencia artificial) y se modifican determinados actos legislativos de la Unión*, publicada en Bruselas el 21 de abril de 2021.

La propuesta corresponde a un compromiso de la presidenta Von der Leyen, que anunció en sus orientaciones políticas para la Comisión 2019-2024 tituladas «Una Unión que se esfuerza por lograr más resultados», consistente en que la Comisión presentaría propuestas de legislación para un enfoque europeo coordinado sobre las implicaciones éticas y humanas de la inteligencia artificial. Tras dicho anuncio, el 19 de febrero de 2020, la Comisión publicó el

*Libro Blanco sobre la inteligencia artificial: un enfoque europeo orientado a la excelencia y la confianza.* Se definen en este texto las opciones existentes para alcanzar el doble objetivo de promover la adopción de la IA y de abordar los riesgos vinculados a determinados usos de esta nueva tecnología.

La Propuesta de Reglamento pretende desarrollar un ecosistema de confianza mediante la proposición de un marco jurídico destinado a lograr que la IA sea fiable. La Propuesta se basa en los valores y derechos fundamentales de la UE y tiene por objeto inspirar confianza a los ciudadanos y otros usuarios para que adopten soluciones basadas en la IA, al tiempo que se trata de animar a las empresas a que desarrollen este tipo de soluciones. La IA debe ser un instrumento para las personas y una fuerza positiva en la sociedad, y su fin último debe ser incrementar el bienestar humano.

La Comisión propone un marco reglamentario sobre inteligencia artificial con los siguientes objetivos específicos:

- garantizar que los sistemas de IA introducidos y usados en el marco de la UE sean seguros y respeten la legislación vigente en materia de derechos fundamentales y valores de la Unión Europea.
- garantizar la seguridad jurídica para facilitar la inversión e innovación en IA;
- mejorar la gobernanza y la aplicación efectiva de la legislación vigente en materia de derechos fundamentales y los requisitos de seguridad aplicables a los sistemas de IA.

- facilitar el desarrollo de un mercado único para hacer un uso legal, seguro y fiable de las aplicaciones de IA y evitar la fragmentación del mercado.

No es momento de una explicación más detenida de los propósitos del borrador de reglamento europeo, sobre el que me limitaré a expresar mi opinión de que está en el buen camino.

Es importante considerar que el canon de la corrección lingüística no puede limitarse actualmente a la utilización adecuada de las reglas de la gramática o al empleo del vocabulario correcto. La inteligencia artificial está siendo utilizada, a ritmo creciente, por las Administraciones públicas y por las grandes corporaciones empresariales en sus relaciones con los ciudadanos. Cobra especial importancia la exigencia de buen uso del lenguaje en el sentido de que no se oscurezca, limite, pierda capacidad de comunicación porque, de seguirse esta tendencia, se estaría vulnerando el derecho de los ciudadanos a entender las normas, las resoluciones de las Administración que les afectan, las decisiones de los jueces y tribunales, y también su capacidad para usar los servicios de interés general, sean públicos o privados. Existe un movimiento universal en favor del lenguaje claro e instituciones que lo defienden implantadas en geografías supranacionales, no solo de habla española. Las simplificaciones, jergas y dialectos que han introducido las redes, y que puede generalizar la inteligencia artificial, reclaman atención especial.

El deber de emplear un lenguaje claro está ampliamente relacionado con la preservación de los derechos individua-

les, que no pueden ejercerse adecuadamente ante comunicaciones oscuras o casi encriptadas para quienes carecen de habilidades digitales mínimas. Por esta razón a la idea de lenguaje claro hay que añadir la de lenguaje accesible. Hay que adecuar el lenguaje de la inteligencia artificial a las capacidades naturales de las personas. Cuando la normativa europea o estatal sobre inteligencia artificial se refiere a la prohibición de discriminaciones como uno de los valores que el progreso en esta materia debe preservar, no se refiere solo al sexo, la raza o la religión, sino también a la discapacidad. Un porcentaje importante de la población es incapaz de entender el lenguaje complejo, y la inteligencia artificial (que ha de atenerse a la máxima de que no puede restringir o empeorar el régimen de los derechos) tiene que establecer alternativas útiles para el disfrute de sus ventajas por todas las personas, con independencia de su capacidad, sea por razón de nacimiento, accidente o edad. No es solo un problema de claridad, sino de diseño de un lenguaje fácil, de accesibilidad universal, que hay que entender como uno de los avances irreversibles de los derechos de las personas.

\* \* \*

Hace poco más de cuatro años (noviembre de 2019) que la RAE anunció su programa Lengua Española e Inteligencia Artificial (LEIA), que hemos venido desarrollando con la colaboración de las empresas tecnológicas globales. En una primera fase hemos centrado nuestra atención en el buen uso del español por estos gigantes. Con una gran receptividad por su parte, que nos ha alegrado poder constatar. Ya

usan nuestras obras para perfeccionar sus sistemas hablantes. Ahora entramos en la fase que Asunción Gómez-Pérez ha descrito, para cuyo desarrollo contamos con la ayuda que ha concedido a la RAE el Gobierno de España, a propuesta del departamento que dirige la Vicepresidenta 1.<sup>a</sup> del Gobierno y ministra de asuntos económicos, y con cargo al denominado «PERTE nueva economía de la lengua», cuyo apoyo agradecemos muy sinceramente, así como su presencia en esta sesión solemne. Para este periodo de acoplamiento a la tecnología de la inteligencia artificial esperamos contar también con empresas especializadas de España.

Teníamos necesidad en la RAE de una experta como la profesora Gómez-Pérez y hemos escogido, estoy seguro, a la más idónea por sus conocimientos y experiencia. Nos ha hablado de una disciplina cuyos contenidos materiales han sido hasta ahora ajenos a la actividad de la Real Academia Española. La inteligencia artificial abre un nuevo horizonte y presenta retos que la profesora Gómez-Pérez ha explicado en su discurso. Estamos seguros de que su acreditada capacidad ayudará a su progresiva ejecución en los años inmediatos.

La profesora doctora Asunción Gómez-Pérez es Licenciada en Informática (1991) y Doctora en Ciencia de la Computación de Inteligencia Artificial (1993) por la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Máster en Dirección y Administración de Empresas (1994) por ICADE. Es catedrática de Universidad en el área de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial (2007). Actualmente es Vicerrectora de Investigación, Innovación y Doctorado (2016- ) en la UPM. Fue Directora del Departamento de

Inteligencia Artificial (2008-2016), es Directora del Grupo de Ingeniería Ontológica desde 1995, fue Directora Académica del Máster en Inteligencia Artificial (IA) (2009-2016) y también Coordinadora del Programa de Doctorado en Inteligencia Artificial (2009-2016) en la UPM.

Aparece en la lista del 2 % de los científicos más citados del mundo en todas las áreas del conocimiento publicada por la Universidad de Stanford. Posición 15 en informática en el listado nacional del año 2022. <https://research.com/scientists-rankings/computer-science/es> .

Miembro de la Academia Europea de Ciencias (EURASC) desde 2018. Cuenta con un importante número de premios que reconocen su condición de profesional pionera y el alto nivel de su especialización.

Desde el año 2016 es miembro del Consejo de Ciencia y Tecnología de la región de Madrid. En 2018 fue nombrada miembro del grupo de expertos que asesora al Gobierno de España en materia de inteligencia artificial y *Big Data*. En 2019 participó en la Estrategia Española de I+D en Inteligencia Artificial. Es miembro del Consejo Asesor de Inteligencia Artificial del Gobierno de España desde 2020. Representa a España en el grupo de trabajo GPAI – sobre Gobernanza de Datos (2021).

Es miembro fundador de la Asociación EBRAINS (2019) para el proyecto Cerebro Humano y de ODISEIA (Observatorio del impacto social y ético de la inteligencia artificial (2019).

Ha participado en la creación a nivel mundial del área de ontologías, Web semántica y datos enlazados desde sus comienzos, introduciéndola en España. Sus principales contribuciones científicas han sido las metodologías Methontology y NeOn, y su trabajo pionero en evaluación de

ontologías en la Universidad de Stanford. En todos ellos ha conseguido una altísima proyección internacional. Cuenta con más de 300 publicaciones, más de 26 800 citas acumuladas y un índice h de 67.

La doctora Gómez-Pérez posee una excepcional y asombrosa experiencia investigadora tanto en el ámbito nacional como internacional, tanto con fondos públicos como con recursos privados. Ha participado en 106 proyectos de los cuales 49 son internacionales y 57 nacionales. De estos 49 proyectos internacionales, ha coordinado 7 consorcios europeos, en otros 32 ha participado como investigadora principal (IP) por la UPM, y en 10 como miembro del equipo investigador. De estos 57 proyectos nacionales: 50 proyectos como IP y en 7 como miembro del equipo de la UPM. Además, es la directora de la primera sede del Instituto de Datos Abiertos en España: ODI-Madrid (desde octubre de 2015). Los fondos de estos proyectos le permitieron crear y ahora mantener el Grupo de Ingeniería Ontológica (integrado actualmente por 61 miembros), y dirigir 28 tesis doctorales. Ocho de las tesis dirigidas han sido distinguidas por la UPM con «honor», (premio que es competitivo), y 16 obtuvieron la mención Internacional en el Diploma de Doctorado. La profesora Gómez-Pérez también ha supervisado más de 20 postdoctorados financiados por programas españoles e internacionales.

En el campo de la IA, es responsable del centro de operaciones de innovación digital de IA y Robótica para los Objetivos de Desarrollo Sostenible, uno de los 30 AI DIH europeos seleccionados por la Comisión Europea en este campo. Además, fue IP en la UPM y miembro del consejo

asesor consultivo en el proyecto europeo Inteligencia Artificial para Europa y participa como profesora en el máster Inteligencia Artificial para el Sector Público.

Asimismo, es revisora y evaluadora de proyectos europeos de la Comisión Europea y de otras agencias europeas, nacionales e internacionales.

Ha sido conferenciante invitada en numerosas universidades y centros internacionales de investigación de Estados Unidos, del Reino Unido, Irlanda y Francia, entre otros.

La evolución y progresión profesional extraordinaria de la profesora Gómez-Pérez en el campo de la inteligencia artificial ha pasado, en fin, por cuatro etapas bien definidas:

La primera, que comprende los años 1993 a 1999, viene marcada por su estancia postdoctoral en la Universidad de Stanford (EE. UU.) en 1994, mientras trabajaba con Tom Gruber (célebre investigador en el ámbito de la ingeniería ontológica y cofundador de Siri Inc.).

Su primer artículo sobre Methontology fue publicado por la Asociación Americana de Inteligencia Artificial en 1997. Tiempo más tarde, se empleó esta metodología para desarrollar una ontología en el dominio de la química, y el artículo consiguió ser uno de los 15 más citados en la historia de la revista hasta el año 2008. El éxito de la metodología y su aceptación por parte de la comunidad la llevaron a escribir en el año 2003 el primer libro del mundo en inglés sobre ingeniería ontológica, que incluía ejemplos tomados de las áreas de gestión del conocimiento, comercio electrónico y web semántica.

Paralelamente a la metodología, la Prof. Gómez-Pérez lideró el desarrollo de un software denominado WebODE,

cuyo objetivo era ayudar a los desarrolladores a crear ontologías en colaboración con equipos de ontólogos utilizando una interfaz web.

El impacto de Methontology no se puede medir teniendo en cuenta únicamente el número de citas acumuladas. Recientemente (2015), se ha empleado para desarrollar otras ontologías importantes como CORA y, además, se ha recomendado en programas educativos en universidades como la de Edimburgo, en el Instituto de Tecnologías de Massachusetts, Universidad de Milán, Universidad Politécnica de Cataluña, Universidad de Zaragoza, Universidad Nacional de Educación a Distancia, Universidad Carlos III de Madrid, Universidad de Murcia, entre otras.

La segunda fase de la evolución profesional de Asunción Gómez-Pérez comprende el periodo 2000-2010 y viene marcada por la expansión de su actividad en materia de ontologías por todo el mundo, así como por su participación en la creación de la web semántica. Asumió la coordinación de tres proyectos europeos en el sexto y séptimo programa marco de la Unión Europea y fue investigadora principal de la UPM en otros seis, realizando actividades de coordinación científica en ellos.

En el transcurso de todos estos años, investigó en: reutilización de ontologías, integración de ontologías, reingeniería de ontologías, evaluación de ontologías, aprendizaje de ontologías, alineamiento de ontologías y bases de datos, ontologías multilingües y localización de ontologías. A modo de compilación de todos los trabajos se publicó el libro *Ingeniería Ontológica en un mundo conectado*, del que Asunción Gómez-Pérez fue coautora junto con otros cuatro

investigadores. En él se recogen las aportaciones más relevantes de los principales investigadores de aquellos años.

La tercera fase de la evolución profesional de la profesora Gómez-Pérez llega hasta 2016. En este periodo destaca su investigación orientada hacia la aplicación de datos enlazados en cuestiones más amplias como los campos de la geografía, la meteorología, consumo energético en ciudades y el nuevo portal de datos enlazados de la Biblioteca Nacional de España.

En una Europa multilingüe, la investigación previa sobre ontologías multilingües y localización de ontologías la llevó a centrarse de forma intensiva en los datos lingüísticos enlazados. Estos persiguen transformar los recursos lingüísticos en RDF y relacionarlos con otros recursos. Un artículo de su equipo, que versaba sobre el enriquecimiento de una ontología con información multilingüe fue pionero en este tema. Esta investigación condujo al proyecto europeo Monnet, en el que el modelo LIR se tomó como input para el estándar W3C denominado Lemon-Ontolex. En el año 2013, la Prof. Gómez-Pérez coordinó el proyecto de la UE sobre datos lingüísticos enlazados con el objetivo de generar recursos lingüísticos en formato de datos enlazados a través de Lemon-Ontolex.

La evaluación de ontologías fue su primer tema de investigación en Stanford y, desde entonces, siempre ha estado presente en su trayectoria investigadora. Su amplia experiencia en este tema le permitió supervisar una tesis doctoral que resume y da a conocer las últimas novedades sobre el tema de evaluación de ontologías y el software *OOPS! OOPS!* es una aplicación online para la evaluación

de ontologías que ha sido ampliamente aceptado por un elevado número de usuarios en todo el mundo y se ha empleado más de 4 000 veces en unos 60 países diferentes.

En fin, el periodo actual de su actividad profesional se caracteriza por su dedicación a tareas de gestión universitaria junto a las docentes y de investigación que han marcado toda su trayectoria. Desde 2016 es vicerrectora de Investigación, Innovación y Doctorado en la Universidad Politécnica de Madrid. Desde entonces, y tal y como se ha descrito anteriormente, ha ampliado su actividad al trabajar como revisora y evaluadora internacional, nacional y regional. También forma parte del panel evaluador de los proyectos de consolidación del Consejo Europeo de Investigación. En el ámbito de la IA, es responsable del intercambiador de innovación digital de IA y Robótica para los Objetivos de Desarrollo Sostenible, uno de los 30 intercambiadores de innovación digital europeos en materia de inteligencia artificial seleccionados por la Comisión Europea en este campo. Además, fue IP en la UPM y miembro del consejo asesor consultivo en el proyecto europeo Inteligencia Artificial para Europa, y participa como profesora en el máster Inteligencia Artificial para el sector público.

\* \* \*

Ahora te esperan en la RAE, querida Asunción, retos muy importantes. Te acogemos confiados en tu trabajo y grandes conocimientos, y te deseamos muchos éxitos y felicidad al servicio de nuestra lengua y de los proyectos de esta centenaria institución.



# Índice

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y LENGUA ESPAÑOLA .....	16
1. DEFINICIÓN DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL .....	18
2. MÁQUINAS CON CAPACIDADES COGNITIVAS .....	25
2.1. Máquinas precursoras de tipo mecánico y electromecánico .....	25
2.2. El lenguaje de los ordenadores .....	28
2.3. ¿Cómo dotar de capacidades cognitivas a las máquinas? .....	32
3. INTELIGENCIA ARTIFICIAL SUBSIMBÓLICA Y SIMBÓLICA .....	36
4. PRINCIPALES APORTACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL .....	40

5. INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y PROCESAMIENTO DEL LENGUAJE NATURAL .....	54
6. ESPACIOS DE DATOS LINGÜÍSTICOS Y PRINCIPIOS FAIR .....	74
7. INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y LENGUA ESPAÑOLA .....	83
7.1. Situación de partida de la informática en la RAE .....	83
7.2. Rumbo al nuevo mundo de la inteligencia artificial .....	90
7.3. Incorporar los materiales en el espacio europeo de datos lingüísticos .....	95
7.4. Modelos de lenguaje en español .....	96
7.5. Gobernanza de los materiales lingüísticos ....	97
7.6. Plataforma software para la inteligencia artificial .....	100
7.7. Inteligencia artificial en los procesos productivos de la RAE .....	103
7.8. Sistema de consultas lingüísticas .....	103
7.9. Verificador lingüístico en línea para el español .....	105
7.10. Observatorio del sistema lingüístico del español en Internet .....	105
7.11. La necesidad de evaluar de forma comparativa y consensuada .....	107
7.12. Ecosistema de innovación abierta .....	109
8. HACIA UNA REGULACIÓN EUROPEA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL .....	111



