

## FUTURO DE LA INTELIGENCIA: CEREBRO NATURAL, CEREBRO ARTIFICIAL

MARTA MARTÍNEZ-MORGA, SALVADOR J. MARTÍNEZ, DANIEL GARRIGÓS, SALVADOR MARTÍNEZ

Instituto de Neurociencias de Alicante. UMH-CSIC. San Juan de Alicante. España

**Dirección postal:** Salvador Martínez. Instituto de Neurociencias de Alicante. UMH-CSIC. 03550-San Juan de Alicante. España.

**E-mail:** smartinez@umh.es

### Resumen

La inteligencia artificial (IA) ha avanzado significativamente en las últimas décadas, impactando sectores como la medicina, la educación y el entretenimiento. Por otro lado, la inteligencia natural (IN) es el resultado de más de mil millones de años de evolución, culminando en el cerebro del *Homo sapiens* hace cien mil años. Este desarrollo ha permitido la creación de una cultura de conocimiento acumulado, facilitando avances tecnológicos y científicos.

La combinación de IA e IN promete superar limitaciones cognitivas y abordar problemas complejos, siempre que se gestione éticamente. Áreas clave de esta integración incluyen: ampliación cognitiva, salud, educación, resolución de desafíos globales, redefinición de los límites de la IN y subsecuentes desafíos éticos.

Aunque la IN y la IA comparten capacidades de aprendizaje y adaptación, la inteligencia humana se distingue por la consciencia, emoción y creatividad, aspectos que la IA aún no puede replicar plenamente. El futuro de esta interacción dependerá de una gestión adecuada que permita la coexistencia y beneficio mutuo entre humanos y máquinas.

**Palabras clave:** inteligencia natural, inteligencia artificial, redes neuronales, procesamiento neuromórfico

### Abstract

*Future of intelligence: natural brain, artificial brain*

Artificial intelligence (AI) has advanced significantly in recent decades, impacting sectors such as medi-

cine, education, and entertainment. In contrast, natural intelligence (NI) is the result of over a billion years of evolution, culminating in the *Homo sapiens* brain approximately one hundred thousand years ago. This development has enabled the creation of a culture of accumulated knowledge, facilitating technological and scientific advancements.

The combination of AI and NI holds the promise of overcoming cognitive limitations and addressing complex problems, provided it is managed ethically. Key areas of this integration include cognitive augmentation, health, education, resolution of global challenges, redefinition of NI boundaries, and subsequent ethical challenges.

While both NI and AI share learning and adaptation capabilities, human intelligence is distinguished by consciousness, emotion, and creativity, facets that AI has yet to fully replicate. The future of this interaction will depend on proper management that allows for the coexistence and mutual benefit of humans and machines.

**Key words:** natural intelligence, artificial intelligence, neural networks, neuromorphic processing.

La inteligencia artificial (IA) ha experimentado un crecimiento exponencial en las últimas décadas, transformando diversas áreas de la sociedad, desde la medicina hasta la educación y la economía.

La inteligencia natural (IN) es el resultado de más de mil millones de años de evolución que culmina hace cien mil años en el cerebro del

*Homo sapiens*. Grandes procesos han sucedido en el tiempo para que se consiga este nivel de inteligencia: la generación de la vida celular, la aparición de animales pluricelulares, de las primeras neuronas, de las valencias emocionales que permiten el aprendizaje, de lenguaje asociativo, el pensamiento simbólico, el control del tiempo y la predicción y el desarrollo de la mente, para inferir sentido a nuestra comunicación. Por ello se ha creado una cultura de conocimiento acumulado transmisible y, como consecuencia, podemos “teclear ordenadores, escribir palabras, utilizar móviles, curar enfermedades e, incluso, construir una IA semejantes a nosotros”<sup>1</sup>.

Tenemos que aceptar que el apoyo de la IA a la IN tiene el potencial de transformar la humanidad, permitiendo superar limitaciones cognitivas y resolver problemas complejos, siempre que se gestione de manera ética y equitativa. La IA bien usada debe de ser un asistente de la IN para mejorar nuestras capacidades<sup>2</sup>.

Algunas áreas clave del desarrollo de la IN asociado a la IA incluyen:

- Ampliación cognitiva: IA servirá como una extensión de la IN, ayudando en tareas complejas como análisis de datos, resolución de problemas y toma de decisiones.

- Salud: La IA está mejorando la gestión de recursos sanitarios, el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades. En el ámbito de la neurología y la salud mental, la IA será fundamental en el diagnóstico temprano y tratamiento de enfermedades neurodegenerativas, mediante el análisis del conectoma y patrones cerebrales funcionales. Prótesis neuronales avanzadas e interfaces cerebro-computadora podrían restaurar funciones perdidas y ampliar capacidades sensoriales.

- Educación personalizada: Sistemas de aprendizaje adaptativo basados en IA crearán experiencias educativas a medida, ajustándose al ritmo, estilo y necesidades de cada persona.

- La IA actuará como asistente en la resolución de desafíos globales, desde el cambio climático hasta la exploración espacial.

- Redefinición de los límites de la IN: Con el avance de tecnologías como interfaces cerebro-máquina, los humanos podrían acceder directamente a bases de datos y redes globales, acelerando la transmisión de conocimientos.

- Desafíos y consideraciones éticas: Garantizar que la IA respalde el desarrollo humano sin

reemplazar aspectos esenciales como la creatividad, las emociones, el mentalismo y la intencionalidad. Diseñar marcos regulatorios para evitar desigualdades en el acceso a estas tecnologías y prevenir usos perjudiciales.

La IN y la IA comparten capacidades para aprender, adaptarse y tomar decisiones, la inteligencia humana está marcada por la consciencia, la emoción, la creatividad y la comprensión profunda, que la IA aún no puede replicar de manera auténtica. Sin embargo, la IA está demostrando ser un complemento para las capacidades humanas, llevando a cabo tareas complejas con eficiencia y precisión. El futuro de la IA dependerá de cómo se gestionen sus avances y se integren en un mundo donde las máquinas coexistan con los humanos, para que estos sean mejores.

## Inteligencia natural

### *El origen de la inteligencia natural está en el cerebro*

La inteligencia no tiene una definición simple, aunque se puede describir como la capacidad para adquirir y aplicar conocimientos y habilidades, resolver problemas, adaptarse a nuevas situaciones y comprender conceptos complejos. En los seres humanos, la inteligencia está asociada con procesos cognitivos como la memoria, el razonamiento, la creatividad y el aprendizaje.

Aunque aún queda mucho por descubrir, los avances en neurociencia y genética han proporcionado nuevas perspectivas sobre cómo surge y se desarrolla la inteligencia en el cerebro. Para entender el origen de la IN, es esencial conocer cómo funciona el cerebro humano. Este órgano está compuesto por aproximadamente 86 mil millones de neuronas, y cada una de ellas se conecta con miles de otras mediante sinapsis. La complejidad y la organización de estas conexiones son claves para la cognición y la inteligencia.

Las neuronas son las células especializadas del cerebro que permiten la transmisión de información mediante impulsos eléctricos. La inteligencia no reside en una única neurona, sino en la forma en que estas neuronas se conectan y forman redes complejas (circuitos). Estas redes neuronales permiten que el cerebro procese información de manera rápida y eficiente. En los

procesos de aprendizaje, estas redes se modifican y se adaptan, lo que explica la capacidad de los seres humanos para aprender de la experiencia y mejorar su desempeño cognitivo con el tiempo, proceso conocido como plasticidad cerebral. La plasticidad cerebral es la capacidad del cerebro para reorganizarse y formar nuevas conexiones neuronales en respuesta a la experiencia. Este fenómeno permite la adaptación y la resolución de problemas complejos.

### **La evolución de la inteligencia en los seres humanos**

La inteligencia humana es el resultado de un largo proceso evolutivo que se remonta a los primeros homínidos. A lo largo de millones de años, los cerebros humanos evolucionaron para adaptarse a un entorno cada vez más complejo, lo que permitió el desarrollo de capacidades cognitivas avanzadas. Lo que realmente destaca en el cerebro humano es una corteza cerebral más grande en relación con otras especies animales. En particular, la región prefrontal se expandió significativamente durante la evolución de los *Homo sapiens*, lo que permitió el desarrollo de funciones cognitivas superiores, como funciones emergentes: la simbolización, el pensamiento abstracto y la planificación. Además de la expansión en tamaño, los cambios en la organización estructural y funcional del cerebro también fueron cruciales para la inteligencia. Por ejemplo, la capacidad para controlar y coordinar la información sensorial y motora aumentó, lo que permitió un comportamiento más sofisticado y flexible. La plasticidad en las conexiones es la base neurobiológica del progreso intelectual y cultural de la especie humana.

### **El lenguaje y la inteligencia**

Uno de los hitos más importantes en la evolución de la inteligencia humana fue el desarrollo del lenguaje. El lenguaje facilitó la comunicación y permitió la transmisión de conocimientos, con la acumulación de información y la resolución colectiva de problemas. El cerebro humano evolucionó y pudo generar y procesar el lenguaje de manera altamente especializada, lo que permitió capacidad para razonar, conceptualizar y, en definitiva, para pensar<sup>3</sup>.

La genética determina en gran medida las capacidades cognitivas de un individuo, aunque el

ambiente también tiene un impacto significativo. En la actualidad, los avances en la genética han permitido identificar ciertos genes relacionados con el desarrollo cerebral y la cognición. Estos hallazgos están ayudando a comprender cómo las variaciones genéticas pueden influir en las diferencias individuales en la inteligencia, así como en la susceptibilidad a trastornos neurológicos que afectan el funcionamiento cognitivo<sup>4</sup>. A medida que las tecnologías de imagen cerebral funcional avanzan, es probable que podamos obtener una comprensión más profunda de cómo funcionan los procesos cognitivos en el cerebro y cómo estos procesos están relacionados con la IN y la conducta<sup>5</sup>.

Como conclusión podemos decir que el origen de la inteligencia en el cerebro es el resultado de una combinación compleja de factores evolutivos, genéticos y ambientales. Desde la expansión del cerebro humano hasta la mejora en el procesamiento de información, la inteligencia es el producto de miles de millones de años de evolución. Al mismo tiempo, los procesos de aprendizaje, la plasticidad cerebral y las interacciones entre la genética y el ambiente juegan un papel crucial en el desarrollo de las capacidades cognitivas. El estudio de la IN sigue siendo una de las fronteras más fascinantes de la ciencia, con el potencial de transformar nuestra comprensión de la mente humana y las posibilidades de la cognición artificial.

### **Las neuronas: el primer eslabón de la cadena en la IN**

Las neuronas son las células fundamentales del sistema nervioso, responsables de generar y transmitir señales eléctricas dentro de los circuitos cerebrales. El surgimiento de las neuronas tuvo lugar hace más de 500 millones de años, con la aparición de los organismos multicelulares y la necesidad de coordinar las actividades de células distantes. En este contexto, algunas células comenzaron a especializarse en la generación y transmisión de señales a largas distancias, lo que sentó las bases para el desarrollo de las neuronas. A medida que los animales evolucionaron, los sistemas nerviosos se hicieron cada vez más complejos, con la aparición de neuronas con formas heterogéneas y funciones cada vez más especializadas, como la

percepción sensorial, la coordinación motora y la capacidad de generar memoria. Las neuronas se conectan mediante sinapsis, que permiten la comunicación entre ellas y la formación de circuitos por los que se vehicula y procesa la información.

El origen de las neuronas, tanto desde la perspectiva evolutiva como embriológica, es un proceso fascinante que ha permitido la creación de sistemas nerviosos cada vez más complejos, capaces de gestionar la información y regular el comportamiento de los organismos. Este proceso evolutivo (filogenia) y embriológico (ontogenia) refleja una increíble capacidad de adaptación y especialización, que ha permitido la aparición de los cerebros humanos<sup>6</sup>. La comprensión profunda de la función de las neuronas ha abierto la puerta a innovaciones científicas, entre ellas la IA.

### La modelización matemática de la neurona y las redes neuronales: el primer eslabón de la cadena en la IA

La modelización matemática de las neuronas y las redes neuronales ha sido uno de los desarrollos más significativos en el campo de la neurociencia, sentando las bases de la IA. Este enfoque no solo ha permitido una mejor comprensión de cómo las neuronas procesan información en el cerebro, sino que también ha dado lugar a modelos computacionales que imitan estos procesos, permitiendo avances notables en áreas como la visión computarizada, el procesamiento de lenguaje natural, el análisis y la predicción de datos, pilares básicos de la IA.

#### La neurona y su modelización matemática

Para entender la modelización matemática de las neuronas, es crucial primero comprender cómo funcionan. Las neuronas reciben estímulos de otras neuronas en sus dendritas y, si el estímulo es lo suficientemente intenso, generan un impulso eléctrico, conocido como potencial de acción, que se transmite a través de su axón hacia otras neuronas.

En 1943, los neurocientíficos Warren McCulloch y Walter Pitts propusieron un modelo matemático de la función de una neurona<sup>7</sup>. Este modelo ha sido crucial para el desarrollo de

las redes neuronales artificiales, ya que trata a la neurona como una función matemática que recibe entradas (señales de otras neuronas) y produce una salida (respuesta) en función de un umbral de intensidad de las entradas.

En el modelo de McCulloch-Pitts, la neurona realiza una operación lógica sobre las señales de entrada. Si la suma ponderada de las entradas supera un umbral predefinido, la neurona “dispara” o envía una señal de salida (Figura 1). Este modelo es básico y sentó las bases para la creación de redes neuronales artificiales al definir cómo las neuronas pueden interactuar de manera efectiva.

#### Características del modelo (Figura 1A)

- Estructura:
  - o La neurona recibe múltiples entradas binarias (0 o 1) provenientes de otras neuronas o del entorno ( $X_1, X_2 \dots X_n$ ).
  - o Cada entrada tiene un peso sináptico asociado ( $W_1, W_2 \dots W_n$ ), que depende de valores de frecuencia de impulsos y refleja su influencia en el estado de actividad de la neurona diana.
  - o Las entradas ponderadas se suman y comparan con un umbral pre-establecido.
- Función de activación:
  - o Si la suma ponderada de las entradas supera el umbral, la salida de la neurona es 1 (activada).
  - o Si no supera el umbral, la salida es 0 (inactiva).

Las funciones de activación más comunes incluyen la función sigmoide, la tangente hiperbólica y la función ReLU (Rectified Linear Unit). La función de activación es crucial porque permite a la red neuronal aprender relaciones no lineales complejas entre las entradas y las salidas.

#### Redes neuronales de la IN

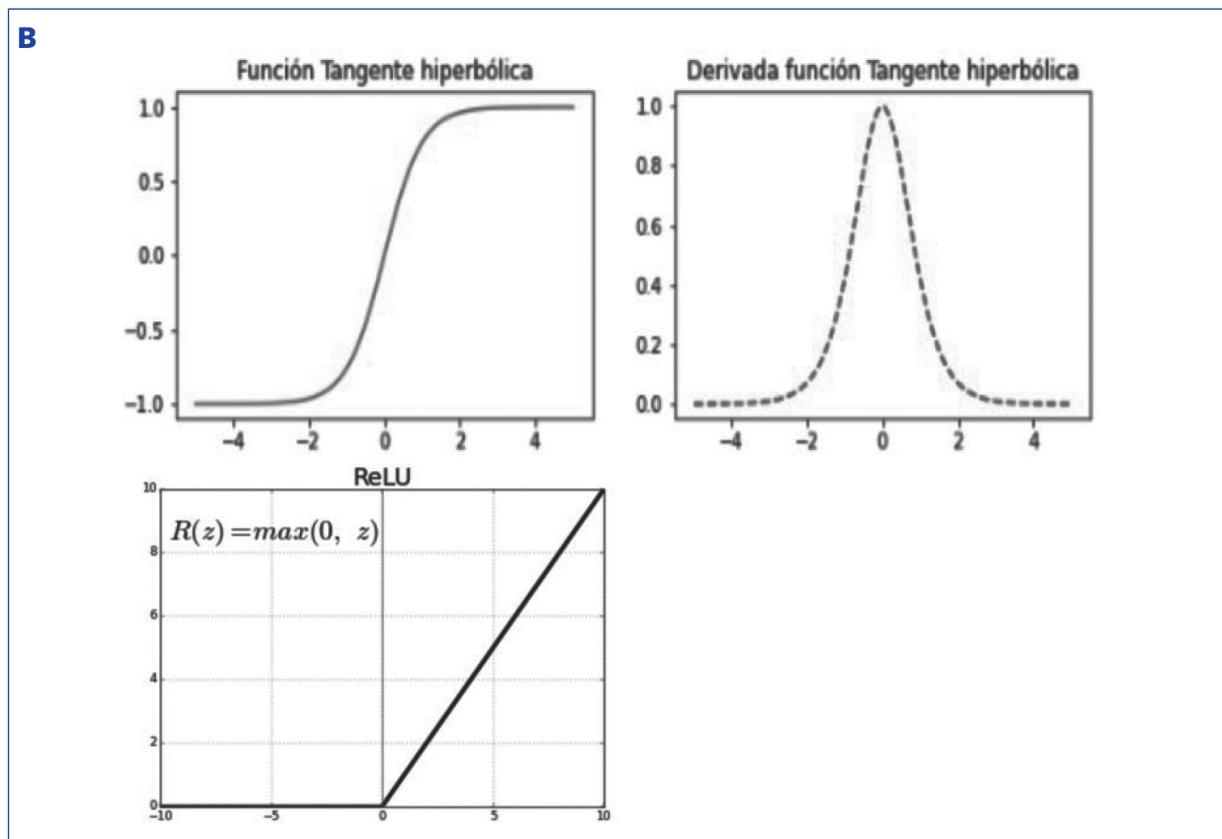
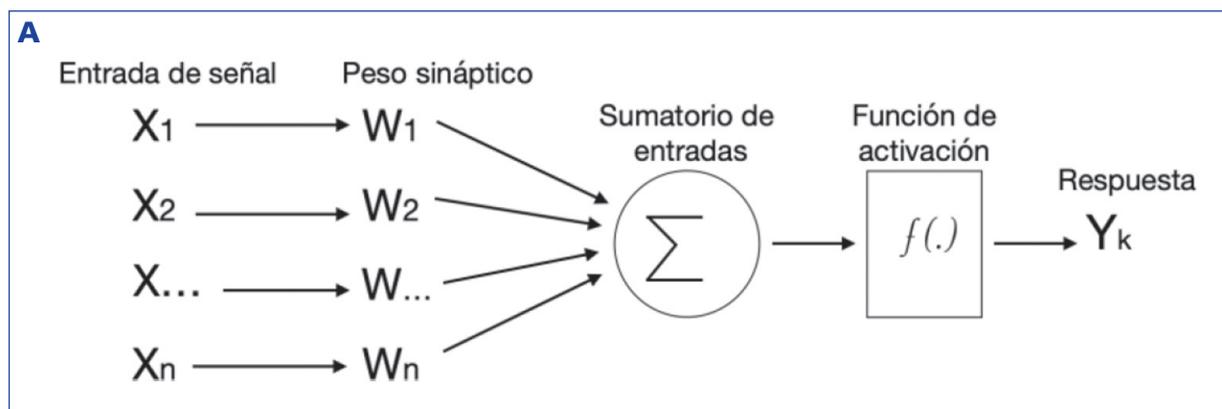
Las neuronas se comunican a través de sinapsis formando circuitos en los que se procesa la información sensorial y se diseña la respuesta. El tipo de información procesada y la organización del circuito es específica de cada área cerebral, y determina el tipo de respuesta que el circuito genera. Usando la neurona como

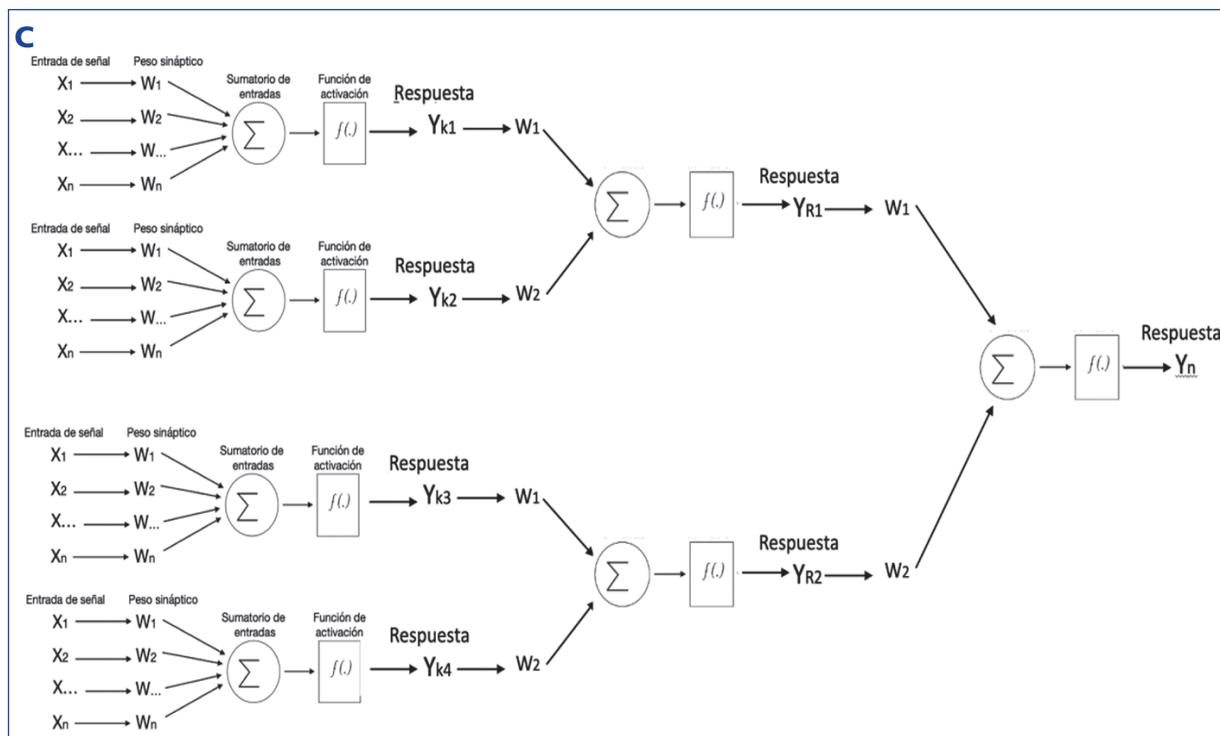
unidad de procesamiento, podemos modelar un circuito de siete neuronas como aparece en la Figura 1C

Así, el circuito de la corteza cerebelosa (Fig. 2) está conformado por una entrada sensorial en forma de fibras musgosas que conectan con las neuronas de los granos (sinapsis excitatorias,

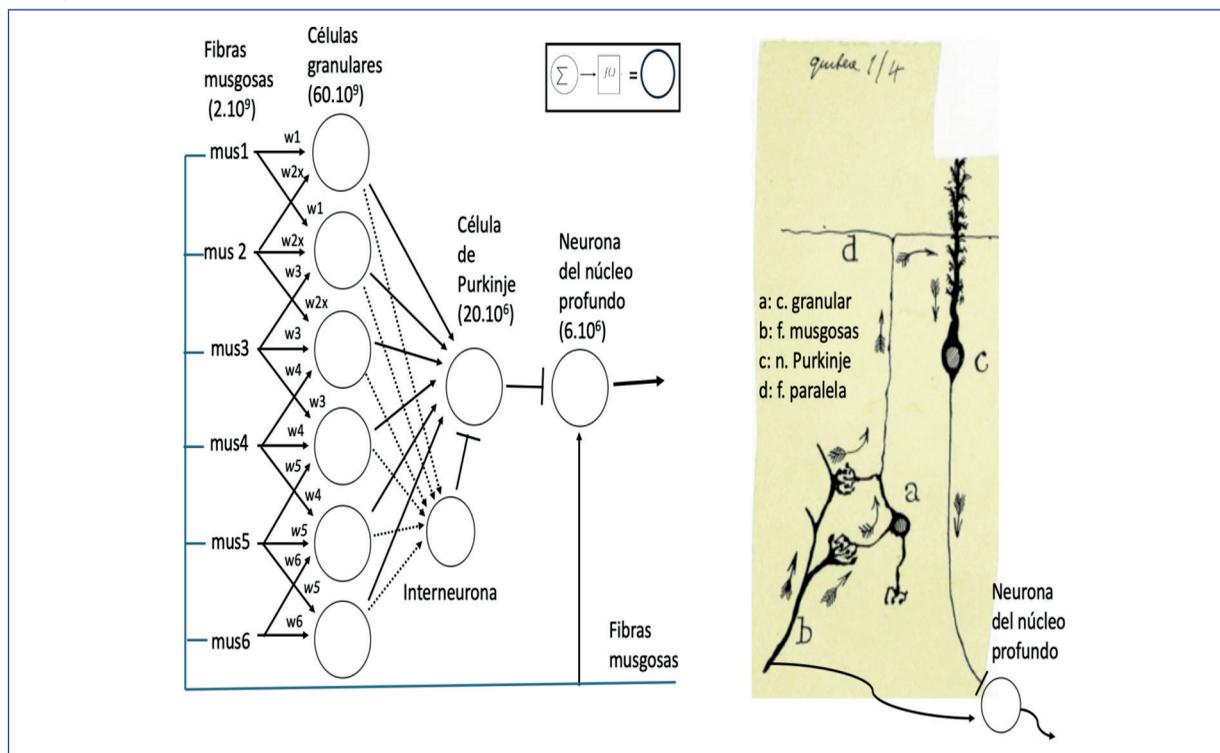
flechas), después de haber dejado una colateral excitatoria para las neuronas de los núcleos profundos (flechas). Las neuronas de los granos conectan con las dendritas de las células de Purkinje (sinapsis excitatorias, flechas), donde se elabora la respuesta específica, inhibitoria hacia los núcleos profundos (barra)<sup>8,9</sup>.

**Figura 1** | Modelo de McCulloch-Pitts





**Figura 2** | Modelo de circuito cerebeloso (modificado de Barri et al., 2022) y un esquema de circuito cerebeloso (modificado de Cajal)



### Redes neuronales artificiales: estructura y funcionamiento de la IA

Las redes neuronales de la IA son un conjunto de módulos conectados mediante modelos matemáticos de neuronas, organizadas en capas, que semejan circuitos de interconexión entre ellos (Fig. 3). Estas redes se originaron en la década de los 80, con el nacimiento de la computación neuromórfica, mediante circuitos de chips que imitaban el comportamiento de las neuronas y los circuitos de la IN<sup>10-12</sup>.

Al pensar de manera algorítmica sobre los procesos de optimización utilizados por los circuitos neuronales de la IN, podemos desarrollar estrategias derivadas del cerebro para mejorar el diseño de redes en IA<sup>13</sup>.

Los chips están constituidos por unidades de procesamiento binario conocidas como puertas lógicas (Fig. 3). Las puertas lógicas son un tipo de circuito digital elemental que funciona basado en la lógica booleana<sup>14</sup>. Un circuito digital es aquel que procesa la información como un dígi-

to binario (ya sea 0 o 1) para usarlo según el diseño del circuito. El desarrollo tecnológico pronto permitirá saltar de la computación binaria a la cuántica, y con ello incrementar los estados posibles de respuesta: de binarios (bits) a cuánticos (qbits), donde hay múltiples estados posibles de respuesta simultanea por los fenómenos cuánticos de superposición y entrelazamiento, lo que permite a un simple qbit procesar múltiples niveles de información en paralelo.

Una red neuronal basada en estos circuitos se compone de tres tipos de capas (Fig. 3):

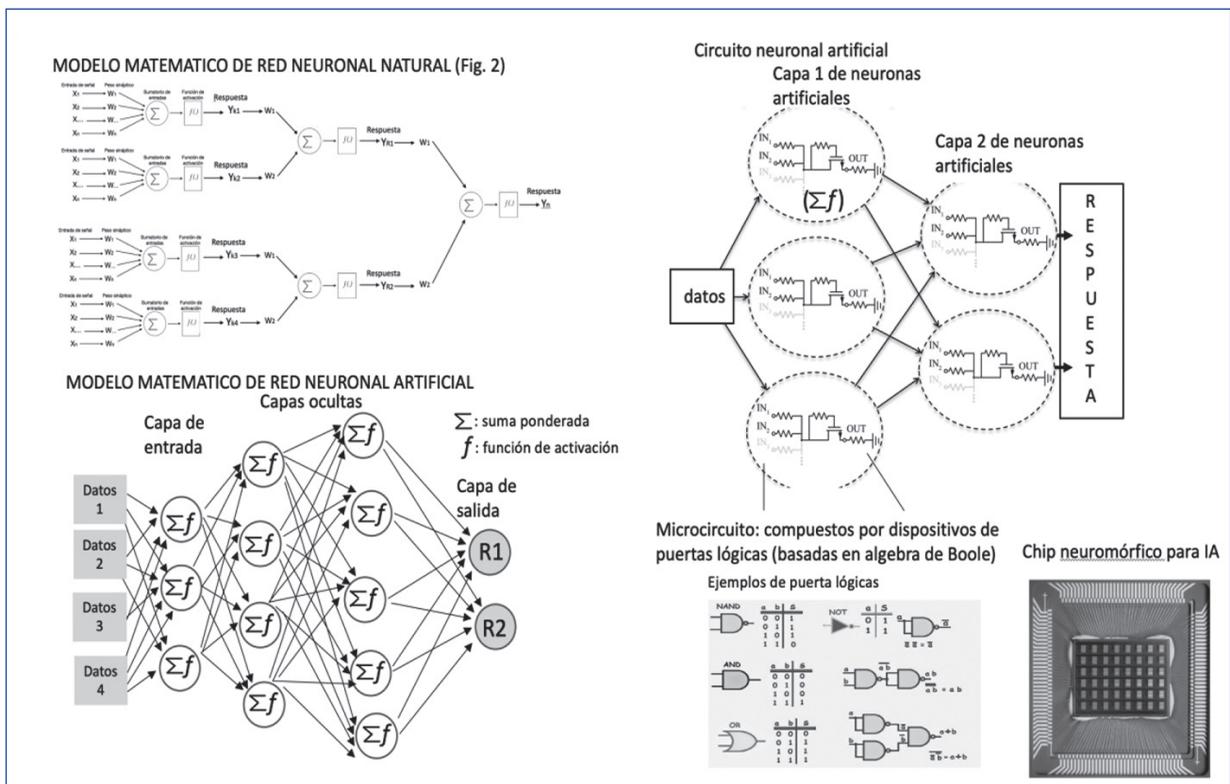
*Capa de entrada:* Recibe los datos de entrada y los pasa a la siguiente capa.

*Capas ocultas:* Realizan los cálculos y transformaciones de los datos mediante neuronas artificiales interconectadas.

*Capa de salida:* Produce la salida final del modelo.

Las conexiones entre neuronas en diferentes capas tienen pesos asociados, que determinan la influencia de una neurona sobre otra, seme-

Figura 3 | Modelización de circuitos en redes neuronales en IA



jando los pesos sinápticos de las neuronas en la IN. El proceso de entrenamiento asocia algoritmos de aprendizaje en las capas ocultas interconectadas (*Deep Learning*), con el objetivo de ajustar estos pesos para minimizar el error en las predicciones de la red mediante un algoritmo de optimización, que elige los resultados más probables.

Los modelos de redes neuronales y los algoritmos matemáticos de la IA estaban desarrollados en los años 80 y 90. La revolución de la IA en los últimos años se basa en la disponibilidad de grandes volúmenes de datos (*big data*) y el aumento de la capacidad de procesamiento gracias a las unidades de procesamiento gráfico (GPU)<sup>15</sup>.

Las redes neuronales de la IA pueden variar en complejidad y estructura, siendo las redes neuronales de procesamiento masivo de lenguaje natural (LLM: *large language model*) las más avanzadas. Accediendo a datos extensos de lenguaje humano para procesar y generar lenguaje, son hoy en día las más evolucionadas en el contexto de asistentes cognitivos.<sup>2,16</sup>

### IA en el presente: aplicaciones y desafíos

Hoy en día, la inteligencia artificial está omnipresente en nuestras vidas cotidianas. Desde asistentes virtuales como Siri y Alexa, hasta sistemas de recomendación en plataformas como Netflix y Amazon, la IA está mejorando la eficiencia de innumerables tareas. Además, la IA también está demostrando su utilidad en campos avanzados como la medicina, donde se utilizan algoritmos para diagnosticar enfermedades y predecir tratamientos, y las finanzas, donde los sistemas de IA son capaces de predecir movimientos del mercado y realizar operaciones.

Sin embargo, la ética es una de las principales preocupaciones, ya que la IA plantea preguntas sobre el control, la responsabilidad y la privacidad. ¿Quién es responsable de las decisiones tomadas por la IA? ¿Cómo podemos garantizar que los algoritmos sean justos y no perpetúen sesgos existentes? Estas preguntas son cruciales y habrá que abordarlas a medida que la IA continúa evolucionando.

Con avances como la IA explicativa, que busca hacer comprensibles los procesos de toma de decisiones de los algoritmos, y el potencial de la IA general (inteligencia artificial capaz de realizar cualquier tarea cognitiva humana), la IA podría transformar aún más la sociedad. Sin embargo, es esencial que se aborden los desafíos éticos y sociales para asegurar que la IA beneficie a todos los seres humanos y no solo a un pequeño grupo.

En conclusión, el desarrollo de la inteligencia artificial ha recorrido un largo camino, desde sus primeras aspiraciones hasta su implementación en tecnologías disruptivas. Aunque ha transformado de manera significativa nuestra vida diaria, también ha abierto nuevos debates sobre su impacto en la sociedad. El futuro de la IA dependerá no solo de los avances tecnológicos, sino también de cómo los seres humanos elijan gestionar y regular esta poderosa herramienta.

### Implicaciones futuras

El debate sobre la IN y IA no es solo un tema técnico, sino que también involucra profundas cuestiones antropológicas y filosóficas. La pregunta de si las máquinas pueden “pensar” como los humanos o si algún día podrían desarrollar consciencia sigue siendo un campo de debate activo en la filosofía de la mente y la ética. Además, el progreso de la IA plantea cuestiones éticas sobre el control, la autonomía y el papel de las máquinas en la sociedad humana<sup>17, 18</sup>.

Una cuestión latente que hay que tener en cuenta es la de un desarrollo tecnológico impredecible, una transformación novedosa de redes y procesamiento que no se base en los modelos neuromórficos. La historia nos muestra que la revolución del transporte fue la invención y aplicación de la rueda, que nada se parece a las patas de los animales. Es posible que se descubran y apliquen nuevas formas de análisis y procesamiento con mayores capacidades y rendimiento. Quedamos pues a la espera de la nueva IA que la IN pueda desarrollar en el futuro.

---

**Conflicto de intereses:** Ninguno para declarar.

## Bibliografía

1. Bennet, M. S. Una historia de la inteligencia. Tendencias, 2024. Madrid.
2. Alexandre, L. La guerre des intelligences a l'heure de Chatgpt. Lgf. 2023. Paris.
3. Birchenall, Leonardo Barón, & Müller, Oliver. La Teoría Lingüística de Noam Chomsky: del Inicio a la Actualidad. *Lenguaje* 2014 42: 417-42.
4. Plomin R, von Stumm S. The new genetics of intelligence. *Nat Rev Genet* 2018; 19: 148-59.
5. Friedman NP, Robbins TW. The role of prefrontal cortex in cognitive control and executive function. *Neuropsychopharmacology* 2022; 47: 72-89.
6. Martínez-Morga M, Martínez S. Desarrollo y plasticidad del cerebro [*Braindevelopment and plasticity*]. *Rev Neurol* 2016; 62 (Suppl 1): S3-8.
7. Pitts W, McCulloch WS. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bull Math Biophys* 1943; 5: 115-33.
8. Dean P, Porrill J, Ekerot CF, et al. The cerebellar microcircuit as an adaptive filter: experimental and computational evidence. *Nat Rev Neurosci* 2010; 11: 30-43.
9. Barri A, Wiechert MT, Jazayeri M, et al. Synaptic basis of a sub-second representation of time in a neural circuit model. *Nat Commun* 2022; 13: 7902.
10. Lazzaro J, Mead C. Silicon modeling of pitch perception. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1989; 86: 9597-601.
11. Boahen K. Neuromorphic Microchips. *Sci Am* 2005; 292: 56-63.
12. Mead C. Neuromorphic Engineering: In Memory of Misha Mahowald. *Neural Comput* 2023; 35: 343-83.
13. Navlakha S, Bar-Joseph Z, Barth AL. Network Design and the Brain. *Trends Cogn Sci* 2018; 22: 64-78.
14. Bleich H. George Boole, mathematical logic, and the modern computer. *MD Comput* 1992; 9: 136.
15. Girón-Sierra JM. Introducción a la inteligencia artificial. *Sekotia* 2023. Córdoba.
16. Sigman M; Boilinks S. Artificial. Penguin Random House Edit; 2023. Barcelona.
17. Tegmark M. Vida 3.0. Taurus. Navarra; 2018.
18. Adler D. Intelligence artificielle, intelligence humaine: la double énigme. Gallimard, 2023.