



# Neurología y nuevas neurotecnologías

## *Neurology and new neurotechnologies*

**David Ezpeleta**

Servicio de Neurología, Hospital Universitario Quirónsalud, Madrid, España  
Director de Kranion

Durante 2023 se han dedicado dos números de la revista a revisar las aplicaciones de la inteligencia artificial (IA) en neurología clínica, con artículos específicos sobre: enfermedad cerebrovascular, deterioro cognitivo y demencias, enfermedad de Parkinson y otros trastornos del movimiento, neurorrehabilitación y, en este número, migraña y otras cefaleas, esclerosis múltiple y epilepsia. Quedan otras subespecialidades neurológicas en el tintero que esperamos ir publicando más adelante. Durante 2024 se dará paso a otro campo estrechamente relacionado con la IA en muchas de sus aplicaciones: la neurotecnología.

La neurotecnología puede definirse como el conjunto de métodos e instrumentos que permiten la conexión de componentes técnicos con el sistema nervioso<sup>1</sup> con un propósito. Tales componentes pueden ser electrodos, computadoras, neuroprótesis, exoprótesis o dispositivos neuromoduladores, entre otros, capaces de registrar las señales del cerebro u otras partes del sistema nervioso, procesarlas y decodificarlas con diferentes fines, desde predecir una intención/decisión o una palabra hasta manipular la actividad cerebral con fines terapéuticos.

Cabe definir tres escalas neurotecnológicas: microescala nanotecnológica (p. ej., optogenética, microelectrodos basados en grafeno, microelectrodos híbridos biológicos-nanomateriales), mesoescala portátil (p. ej., interfaces cerebro-computadora [ICC] de uso clínico y comerciales) y macroescala computacional (p. ej., ICC basados en registros electroencefalográficos invasivos o por resonancia magnética funcional que reconstruyen el lenguaje, el habla o la experiencia visual gracias a la IA; *hardware* para el procesamiento en la nube de neurodatos con IA; etc.). Sea cual sea el nivel de la escala, las nuevas neurotecnologías están avanzando a pasos agigantados, planteando enormes desafíos éticos y normativos donde las actuales herramientas legales son claramente insuficientes.

En la actualidad, hablar de neurotecnología es, en gran parte de los casos, hablar de IA. Los motivos son varios. En primer lugar, la IA no deja de ser una neurotecnología: la inspiración biológica de los modelos computacionales en la neurona que tan oportunamente describió Cajal y en la circuitería cerebral que luego desarrolló su discípulo Rafael Lorente de Nó es un hecho ampliamente demostrado. La neurona artificial, el perceptrón, remeda fielmente la neurona cajaliana: *input* (dendritas) con diferentes valores o pesos, cálculo (soma) y función de activación (umbral), y *output* (axón), cuyo valor pueden ser el resultado final del proceso de cálculo o los *inputs* de las siguientes neuronas artificiales con que se conecta, formándose así capas de neuronas artificiales. El algoritmo de retropropagación (*backpropagation*), clave en el *machine learning*, no deja de ser una aplicación computacional de los axones recurrentes (*feedback loops*) y los circuitos reverberantes que describió Lorente de Nó<sup>2</sup>. Por otro lado, a medida que los modelos de IA se hacen más complejos (redes neurales, *deep learning*, redes neurales convolucionales) y necesarios para poder procesar cantidades masivas de neurodatos y emular capacidades cognitivas humanas (visión, lenguaje, IA generativa en todas sus modalidades, etc.), más se inspiran en nuestra arquitectura cerebral. Es más, se están desarrollando procesadores neuromórficos cuyo objetivo es, además de mejorar la velocidad de cálculo, ser más eficientes, que consuman mucha

### Correspondencia:

David Ezpeleta  
E-mail: [neuroezpeleta@gmail.com](mailto:neuroezpeleta@gmail.com)

Fecha de recepción: 06-09-2023  
Fecha de aceptación: 12-09-2023  
DOI: 10.24875/KRANION.M23000069

Disponible en internet: 23-11-2023  
Kranion. 2023;18:131-2  
[www.kranion.es](http://www.kranion.es)

menos energía. Finalmente, el conocimiento derivado de toda esta cibernética está devolviendo el favor al dar pistas clave sobre cómo funciona el cerebro humano, cómo procesa la información, crea el pensamiento, construye la memoria, toma decisiones, etc. En consecuencia, no en vano las grandes iniciativas de investigación del cerebro, como *BRAIN* o *Human Brain Project/EBRAINS*, han enfocado sus esfuerzos en la investigación de nuevas neurotecnologías y modelos digitales del cerebro como el mejor modo de llegar a comprenderlo.

La neurotecnología que se avecina en la práctica de la neurología clínica se fundamenta en la IA, pues solo con ella se pueden procesar las cantidades ingentes de neurodatos que proporciona una o miles de personas, entrenar los modelos para fines concretos (p. ej., predicción de crisis epilépticas) y tomar decisiones en diversos escenarios (p. ej., en una ICC que monitorice la actividad eléctrica cerebral y sea capaz de predecir una crisis antes de que aparezca, que el mismo dispositivo aplique sobre el cerebro pulsos de energía eléctrica o magnética que aborten la crisis). Quien practica la neurología clínica debe comenzar a familiarizarse no ya con este tipo de dispositivos de uso clínico, sino también con la neurotecnología comercial en forma de cascos, diademas, bandas y otros formatos que el usuario se coloca en la cabeza para muy diversos fines, como juegos *online*, *neurofeedback*, focalización de la atención, meditación, *mindfulness*, tratamiento de la migraña y una larga lista de presuntas indicaciones, muchas de ellas peregrinas. No tardarán en consultar pacientes que, haciendo uso de estos neurodispositivos externos, aquejen cefaleas, mareos inespecíficos, sensaciones de irrealidad y despersonalización, otros síntomas y, en el peor de los casos, delirios de robo de pensamiento que, he ahí la paradoja, podrían no ser tales.

La Sociedad Española de Neurología (SEN), vía su Comité *ad hoc* de Nuevas Tecnologías e Innovación (TecnoSEN), está procurando desde hace cinco años la formación de sus miembros en análisis de datos con nuevas tecnologías e IA gracias a un curso anual que tiene cinco partes bien diferenciadas: 1) introducción a la IA y la neurotecnología; 2) recogida de datos mediante REDCap (*Research Electronic Data Capture*); 3) tabulación, visualización y análisis de datos con R; 4) fundamentos computacionales de la IA e introducción a la programación con Python; y 5) encuentro con *start-ups* y empresas consolidadas cuyos ingenieros explican productos en desarrollo o ya comercializados que emplean IA. El curso anual de TecnoSEN procura una formación básica pero sólida en todas estas cuestiones, de modo que el alumnado adquiera una serie de conocimientos de gran utilidad para entender todo lo relacionado con el apasionante mundo de la neurotecnología y la IA, aplicarlo en su quehacer diario y en investigación clínica, disponer de una ventaja competitiva frente a quien no tenga esta formación transversal y, finalmente, se arme de argumentos y sentido crítico ante los numerosos neurodispositivos de uso clínico y comerciales que están saliendo al mercado.

La implicación de los y las profesionales de la neurología en todas estas cuestiones debe ser, a nuestro juicio, máxima. Piénsese que se están desarrollando neurodispositivos con aplicaciones clínicas (sensores para análisis del movimiento, sueño o respuestas vegetativas; ICC portátiles pasivas y activas; entornos terapéuticos de realidad aumentada, mixta y virtual; y un largo etcétera de aplicaciones de la neurotecnología y la IA en nuestro campo) donde apenas se cuenta con nosotros salvo en las fases finales de adopción y prescripción. Los neurólogos queremos y debemos estar en todas las fases de desarrollo de estas soluciones neurotecnológicas, especialmente en las primeras, que es cuando se detecta la necesidad, el reto que resolver, se conceptualiza la mejor forma de hacerlo y se genera el primer prototipo, factores clave para garantizar el correcto desarrollo tecnológico y clínico de este tipo de aplicaciones y su ulterior adopción por quienes ejercen la especialidad. Debemos hablar de neurotecnología e IA con la misma soltura con que ahora nos expresamos sobre la migraña, la trombósis o el síndrome de Guillain-Barré. Además, debemos ser los principales vigilantes de que los límites de los nuevos dispositivos neurotecnológicos, sean médicos o comerciales, no se traspasan, es decir, no atentan contra los neuroderechos<sup>3,4</sup>, y si lo hacen, sus principales denunciantes.

La neurotecnología y la IA se están convirtiendo en materias de importancia estratégica para la neurología clínica. Los profesionales que la ejercemos debemos formarnos adecuadamente si no queremos estar en desventaja con quienes sí lo hagan, lo que incluye a otras especialidades que podrían hacerse con parte de un terreno que nos pertenece en esencia y por naturaleza. La SEN lo tiene tan claro que, vía TecnoSEN, va a emprender una incubadora neurotecnológica para que sean sus miembros quienes, con ayuda de ingenieros, otros tecnólogos y mentores que formarán parte de equipos funcionales desde la fase inicial de definición del reto que resolver, creen soluciones innovadoras en forma de prototipos que puedan optar a un ulterior apoyo financiero y desarrollo empresarial.

Si bien lo venimos haciendo desde hace años, Kranion va a intensificar su función divulgadora y formativa sobre todo lo que concierne a la neurotecnología y la IA aplicadas a la neurología clínica y especialidades afines. El apoyo de la revista a los proyectos que, en este sentido, emprenda la SEN, será constante.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Müller O, Rotter S. Neurotechnology: Current developments and ethical issues. *Front Syst Neurosci.* 2017;11:93.
2. Espinosa-Sanchez JM, Gomez-Marín A, de Castro F. The Importance of Cajal's and Lorente de Nó's neuroscience to the birth of cybernetics. *Neuroscientist.* 2023;10738584231179932. doi: 10.1177/10738584231179932. Online ahead of print.
3. Ienca M. On neurorights. *Front Hum Neurosci.* 2021;15:701258.
4. Yuste R, Genser J, Herrmann S. It's time for neurorights. *Horizons.* 2021;18:155-64.