

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y NEUROTECNOLOGÍAS

*Ponencia en la I Jornada de Bioética
e Inteligencia Artificial, 16 de octubre
de 2024*

Dr. Carlos Alberto Castro Campolongo

Contacto: ccastro1215.cc@gmail.com

- Licenciado en Psicología.

Master en Neuropsicología Clínica en el Instituto de Altos Estudios Universitarios (IAEU) en la Universidad Europea Miguel de Cervantes.

Doctor en teología, especialización sistemática (Antropología): Facultad de teología de Catalunya, Barcelona

Autor de varios artículos científicos publicados por la Editorial de Facultad de Teología de Catalunya, y por la Editorial de la Facultad de Psicología de la Universidad Argentina Kennedy.

Miembro del Comité de Ética de la Investigación de la Universidad Católica Argentina y responsable del Área de Neuroética y Salud Mental del Instituto de Bioética de la UCA

LA NEUROÉTICA COMO MOMENTO DE LA NEUROCIENCIA

El 2 de abril de 2013, el presidente de los EE. UU. Barack Obama, anunció la Iniciativa BRAIN (*Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies*) (The White House, 2013). Su propósito era mapear y comprender la actividad cerebral, un objetivo análogo al que *The Human Genome Project* llevó a cabo años antes (1990-2003) cuando, gracias a la colaboración internacional, se logró mapear y secuenciar el genoma humano por primera vez.

Desde 2013 en adelante se han financiado proyectos para investigar el cerebro en todo el planeta (EE.UU; Europa, China, Japón, Australia, Canadá y Corea del Sur). El foco de dichas investigaciones radica en el desarrollo y aplicación de neurotecnologías para entender las complejas dinámicas de los circuitos de la actividad neuronal y cómo éstas dan origen a nuestra cognición y conducta. Dichas tecnologías de alto rendimiento modelan y simulan informáticamente el cerebro humano integrando datos masivos, los cuales, aportan a los investigadores nuevas herramientas matemáticas para enfrentar diversas enfermedades neurológicas, neurodegenerativas, y otros trastornos (European Commission, 2021).

En el año 2014 surgen las primeras fábricas inteligentes. Con ellas se inicia (para poner un punto referencial) lo que se denomina la *cuarta revolución industrial*, *Industria 4.0*. Dicha "revolución" fue conceptualizada, formalmente, en 2016, por Klaus Schwab (fundador del Foro Económico Mundial, en 2016), en su libro, *La Cuarta Revolución Industrial*. Este fenómeno se caracteriza por la fusión de tecnologías emergentes tales como la inteligencia artificial, la robótica, la nanotecnología, la biotecnología, el Internet de las Cosas (IoT), la impresión 3D y la computación cuántica (la cual rompe con el lenguaje simplemente binario). Pues bien, junto con el poder que ofrece esta fusión y su consiguiente conocimiento, surge una responsabilidad ética. El libro de Schwab indica que más allá de los cuidados relacionados para con el *medio ambiente* hay otros desafíos éticos y sociales tales como la *Privacidad* (de la mano de la inteligencia artificial -IA- y el uso masivo de los big data), la *Vigilancia* (por la capacidad de monitorear y analizar los comportamientos humanos), la *Desigualdad Social* (pues tiene el

1 La primera Revolución Industrial comenzó alrededor de 1784 y se caracterizó por la mecanización de la producción a través del uso del vapor y la introducción de maquinaria, como el telar mecánico. La segunda Revolución Industrial dada aproximadamente en 1870 fue marcada por la producción masiva y el uso de electricidad, así como la invención de la cadena de montaje; la tercera Revolución Industrial, comenzada en 1969 se centró en la electrónica y la informática, lo que llevó a la automatización de procesos y al desarrollo de tecnologías digitales.

potencial de aumentar la brecha entre aquellos que tienen acceso a las nuevas tecnologías y aquellos que no, impactando en el empleo y en el desplazamiento-desarraigo) y la *responsabilidad* y *transparencia* debido a la posibilidad que ofrece la IA de tomar decisiones de forma automatizada. El Papa Francisco, un año antes, planteaba el tema de otro modo en su Encíclica *Laudato si*:

La humanidad ha ingresado en una nueva era en la que el poderío tecnológico nos pone en una encrucijada. Somos los herederos de dos siglos de enormes olas de cambio: el motor a vapor, el ferrocarril, el telégrafo, la electricidad, el automóvil, el avión, las industrias químicas, la medicina moderna, la informática y, más recientemente, la revolución digital, la robótica, las biotecnologías y las nanotecnologías. Es justo alegrarse ante estos avances, y entusiasmarse frente a las amplias posibilidades que nos abren estas constantes novedades (Francisco, 2015, 102).

Pero no podemos ignorar que la energía nuclear, la biotecnología, la informática, el conocimiento de nuestro propio ADN y otras capacidades que hemos adquirido nos dan un tremendo poder ... Nunca la humanidad tuvo tanto poder sobre sí misma y nada garantiza que vaya a utilizarlo bien ... ¿En manos de quiénes está y puede llegar a estar tanto poder? Es tremendamente riesgoso que resida en una pequeña parte de la humanidad (Francisco, 2015, 104)

Ahora bien, si nos ceñimos al estudio del cerebro, en referencia a las tecnologías hemos de decir que, a partir de 2013, su desarrollo ha tenido un impacto significativo transformando tanto la investigación, como las aplicaciones clínicas. Este impacto se ha manifestado particularmente, de la mano de la IA, en la mejora de técnicas de investigación y diagnóstico, y el avance de las interfaces cerebro-máquina. Podemos decir que, a grandes rasgos hay tres grandes categorías de nuevas herramientas: a) las que registran y leen la actividad cerebral (resonancia magnética funcional: IRMf; la electroencefalografía: EEG y la magnetoencefalografía: MEG); b) las que son capaces de modificar las señales cerebrales (neuromodulación) mediante señales eléctricas, magnéticas, químicas, o incluso acústicas o pulsos de luz y c) aquellas que combinan el registro de señales con una respuesta que se retroalimenta en un bucle (neurofeedback) y se fundamenta en la plasticidad neuronal a fin de lograr cambios que perduren en el tiempo.

En esta entrega nos ocuparemos sólo de las primeras, es decir, de aquellas que registran la actividad cerebral. Estas neurotécnicas aplicadas al campo neurocientífico plantean cuestiones éticas, las cuales no son un momento a

posteriori de la tarea neurocientífica, sino que forman parte del corazón de la misma. Es decir, neuroética y neurociencia se hallan íntimamente interrelacionadas. Al respecto de la neuroética suele distinguirse entre ética de la neurociencia y neurociencia de la ética, aunque en rigor, ambos campos se hallan profundamente imbricadas (Roskies, 2002). En efecto, los problemas éticos asociados con las técnicas de neuroimagen, la mejora cognitiva, o la neurofarmacología, se enlazan necesariamente con la investigación sobre la arquitectura funcional del cerebro, los cuales nos permiten comprender asuntos tan graves como la identidad personal, la conciencia, la intencionalidad y la capacidad de elaborar juicios morales. La ética de la neurociencia se centra en los problemas éticos que deben considerarse durante el diseño y ejecución de estudios neurocientíficos (consentimiento informado, diseño de ensayos clínicos, privacidad y derechos), así como las implicaciones éticas de los descubrimientos en neurociencia que pueden impactar las estructuras sociales, éticas y legales existentes (Roskies, 2002). En cambio, la neurociencia de la ética representa una nueva área de estudio que investiga las bases cerebrales de la cognición moral. También plantea interrogantes sobre cómo los cambios en el cerebro pueden afectar nuestra identidad personal. Un punto importante que se plantea es acerca del determinismo. En efecto, si el cerebro funciona como una mera máquina material, ¿puede seguir afirmándose lo que entendemos por autodeterminación? (Cortina, 2001; Dawkins, 1976; Hauser, 2008; Hamilton, 1964; Unger, 1996; Wilson, 1993). Sobre este asunto volveremos en una próxima entrega.

NEUROTECNOLOGÍAS AL SERVICIO DEL DIAGNÓSTICO

Realizar un diagnóstico diferencial es una ardua tarea que se presenta a menudo en la atención médica y requiere de la interpretación combinada de la historia clínica, el examen físico, las investigaciones y los procedimientos. Pues bien, las interfaces interactivas impulsadas por modelos de lenguaje amplios presentan nuevas oportunidades para ayudar y automatizar aspectos de este proceso (McDuff et al., 2023). Estos modelos son sistemas avanzados (redes neuronales) de inteligencia artificial diseñados para procesar y generar texto en lenguaje natural. Estas redes contienen un gran número de parámetros que pueden ser entrenadas con enormes cantidades de texto no etiquetado mediante técnicas de aprendizaje autosupervisado. Por este motivo tienen potencial de mejorar el razonamiento diagnóstico y la precisión en casos difíciles. Además, ayudan a los médicos a sintetizar información y gestionar la atención al paciente, facilitando un triaje más efectivo y una atención personalizada. Sin embargo, la implementación

de esta herramienta no puede ser ingenua y ha de tener en cuenta que dichos modelos pueden reflejar sesgos presentes en los datos de entrenamiento que podrían afectar la equidad en el diagnóstico (LHF Labs., 2023).

Por su parte, la IRMF aliada de la IA ofrece un gran potencial para el diagnóstico de enfermedades neurológicas y psiquiátricas: enfermedad de Alzheimer, Parkinson, trastorno depresivo mayor, esquizofrenia, trastorno por déficit de atención con hiperactividad y el trastorno del espectro autista (Kadry et al. 2021; Zhang et al., 2021). También dicha tecnología es utilizada, tanto para el análisis radiómico de tumores cerebrales, mejorando la predicción de riesgo del paciente y la identificación de biomarcadores (Li et al., 2022; Zhu et al., 2022), así como el diagnóstico del autismo (Giansanti, 2023).

En el caso de la electroencefalografía, en cuanto técnica no invasiva, se utiliza para registrar la actividad eléctrica evocada e inducida por el cerebro desde el cuero cabelludo. Hoy en día, la IA, en particular los algoritmos de aprendizaje automático y el aprendizaje profundo, se aplican cada vez más a los datos de EEG para el análisis de patrones a fin de clasificarlos en grupos y de ese modo comprender mejor cómo funciona el cerebro (Saeidi et al., 2021). Además, la clasificación de grupos ayuda a comprender diferentes estados mentales o condiciones neurológicas, lo que puede ser útil en el diagnóstico de trastornos, así como para el desarrollo de tecnologías que mejoren la calidad de vida de las personas.

Finalmente, otra modalidad no invasiva es la magnetoencefalografía (MEG), la cual aliada con la IA es una potente herramienta diagnóstica para la evaluación prequirúrgica de la epilepsia (Zheng et al., 2023).

INTERFASES CEREBRO-COMPUTADORA

Fuera del ámbito del diagnóstico, electrodos de registro colocados en el cuero cabelludo, o implantados en el cerebro de una persona, permiten que ésta pueda comunicarse e interactuar con el mundo, solo con el pensamiento. Estas interfaces pueden "manejar" *neuroprótesis* y así recuperar la movilidad de manos paralizadas tras sufrir un ictus, o la movilidad de las piernas en pacientes tetrapléjicos, o sustituir, complementar o mejorar un mecanismo cognitivo o sensorial que pudiese haber sido dañado, tal como es el caso del implante coclear (Zhang et al., 2018). Incluso el desarrollo de estos exoesqueletos no sólo ofrece la posibilidad de ejecutar movimientos a pesar de la función motora deteriorada, sino que tras

el uso repetido luego de varias semanas pueden desencadenar la recuperación motora (Colucci et al., 2022; Samejima, 2021).

RECONSTRUCCIÓN DE EXPERIENCIAS VISUALES

La actividad cerebral humana registrada por medio de la resonancia magnética funcional y analizada por machine learning ofrece la posibilidad de reconstruir experiencias visuales, revelando, de este modo, contenidos subjetivos que respetan detalles semánticos múltiples mediante el aprovechamiento de múltiples niveles de representaciones corticales (Shen et al., 2019). Este método permite comprender cómo el cerebro representa el mundo y, a partir de allí, interpretar la conexión entre los modelos de visión artificial y nuestro sistema visual (Takagi y Nishimoto, 2023).

Decodificación del lenguaje

Por medio de grabaciones cerebrales no invasivas, una interfaz cerebro-computadora puede decodificar el lenguaje continuo de palabras inteligibles que recuperan el significado del habla. Hacemos notar que la decodificación exitosa requiere la cooperación del sujeto, tanto para entrenar, como para aplicar el decodificador. En 2019 una persona con anartria y cuadriparesia espástica causada por un accidente cerebrovascular del tronco encefálico fue sometida a una singular operación. Se le implantó subduralmente una matriz de múltiples electrodos de electrocorticografía de alta densidad sobre el área de la corteza sensoriomotora que controla el habla y un conector percutáneo. Pues bien, junto con el uso de modelos de aprendizaje profundo y un modelo de lenguaje natural, se logró no sólo detectar y clasificar palabras, sino incluso predecir probabilísticamente la siguiente palabra dadas las palabras anteriores, en una secuencia (Moses et al., 2021).

Tal como podemos apreciar, los dispositivos invasivos han logrado decodificar el habla de la actividad cerebral gracias a los algoritmos de aprendizaje profundo entrenados con grabaciones intracraneales. Sin embargo, extender este enfoque a las grabaciones cerebrales no invasivas es un gran desafío que la neurociencia quiso asumir. Por medio de grabaciones con magnetoencefalografía o electroencefalografía se obtuvieron datos cerebrales de personas mientras escuchaban historias cortas y oraciones aisladas. Los resultados mostraron que se puede identificar, a partir de 3 segundos de señales de magnetoencefalografía el segmento de habla correspondiente, con una alta precisión y rendimiento, que permite decodificar palabras y frases ausentes, según el análisis de predicciones del decodificador, las cuales dependen principalmente de representaciones léxicas

y semánticas contextuales. Lo valioso de este procedimiento de decodificación eficaz del habla percibida es que puede realizarse a partir de la actividad cerebral, sin que los pacientes afronten el riesgo de una cirugía cerebral (Défossez et al., 2022).

Incluso se desarrollaron tecnologías que ofrecen la posibilidad de decodificar tres modalidades de salida complementarias relacionadas con el habla: texto, audio del habla y animación facial-avataar. En el entrenamiento y la evaluación, los modelos de aprendizaje profundo utilizaron datos neuronales que fueron recopilados mientras el participante intentaba decir oraciones en silencio, obteniendo una decodificación precisa y rápida de amplio vocabulario. Pero, lo curioso es que, en el caso del audio de voz, se logró una personalización inteligible y rápida, acorde con la voz del participante antes de la lesión. Finalmente, la animación facial-avataar permitió restaurar la comunicación "encarnada" y completa, lo cual abre nuevas posibilidades para las personas que viven con parálisis grave (Metzger et al., 2023).

También por medio de la resonancia magnética funcional se registraron representaciones semánticas corticales, las cuales, utilizando un decodificador no invasivo fueron reconstruidas en lenguaje continuo, generando secuencias de palabras inteligibles que recuperan el significado del habla percibida, pero incluso, el análisis cualitativo muestra que el decodificador puede recuperar el significado de los estímulos imaginados, aunque el rendimiento de decodificación para el habla imaginada sea menor que el rendimiento de decodificación para el habla percibida. Pero aún más, el decodificador semántico del lenguaje es capaz de reconstruir descripciones del lenguaje a partir de respuestas cerebrales a tareas no lingüísticas. En efecto, ante videos mudos (cortometrajes sin sonido) las secuencias decodificadas describían con precisión los eventos de las películas. En suma, un solo decodificador puede aplicarse a una serie de tareas. Y, dado que las interfaces cerebro-ordenador deben respetar la privacidad mental, se probó que el éxito de la decodificación requiere de la cooperación del sujeto, tanto para entrenar, como para aplicar el decodificador (Tang et al., 2022).

INTERFAZ CEREBRO- COMPUTADORA Y MOTRICIDAD FINA

Uno de los principales focos de la investigación de las interfaces cerebro-computadora hasta no hace mucho tiempo ha sido la restauración de las habilidades motoras gruesas. Sin embargo, en 2021, se desarrolló una interfaz intracortical que decodifica los movimientos de escritura a mano intentados a

partir de la actividad neuronal en la corteza motora y lo traduce a texto en tiempo real, utilizando un enfoque de decodificación de redes neuronales recurrentes. Estas redes consisten en un modelo de aprendizaje profundo que utiliza datos secuenciales. Y, a diferencia de las redes neuronales tradicionales que procesan la información en una sola dirección, las redes neuronales recurrentes permiten que la información fluya tanto hacia adelante como hacia atrás, lo que les otorga la capacidad de “recordar” información previa y utilizarla para influir en las próximas decisiones. Pues bien, con este método se logró que una persona cuya mano estaba paralizada por una lesión de la médula espinal alcanzase velocidades de escritura de caracteres por minuto comparables a las velocidades típicas de escritura de teléfonos inteligentes (Rapeaux y Constandinou, 2021; Willett et al., 2021).

CAPTACIÓN DE PATRONES NEURONALES EN LA CORTEZA MOTORA

En octubre de 2024, en la conferencia de Neurociencia celebrada en Chicago, Illinois, se presentó una tecnología que permite capturar patrones neuronales previamente inaccesibles en la corteza motora (oscilaciones beta) relacionados con el movimiento, ofreciendo perspectivas que podrían transformar el futuro del tratamiento neurológico y la rehabilitación (ictus, Parkinson, lesiones en la médula espinal, trastornos neurodegenerativos). Estas oscilaciones, como patrones neuronales rítmicos en la corteza motora, revelan nueva información sobre cómo el cerebro codifica el movimiento y lo controla. Además, la información recopilada sobre la actividad neuronal ofrece la posibilidad de que las interfaces cerebro-computadora puedan controlar diferentes dispositivos con solo pensarlo (Precision Neuroscience, 2024).

En suma, las interfaces cerebro-computadora pueden utilizarse para registrar y decodificar la actividad neuronal. Ya veremos que también pueden estimular neuronas, o grupos de neuronas específicos permitiendo una variedad de aplicaciones, desde las profundas (como el tratamiento de trastornos neurológicos y la recuperación de funciones), hasta las que se refieren a la mejora de las capacidades humanas.

NAVEGAR POR INTERNET

Se está avanzando en interfaces que permiten navegar por internet y tener acceso con solo pensar en una palabra o frase delante de una pantalla de una computadora. En efecto, puesto que sabemos que las señales de las ondas

cerebrales se ven afectadas por el pensamiento humano, entonces, si pudiesen captarse ciertos patrones de señales del electroencefalograma EEG y se los asociase con acciones o ideas específicas, estaríamos con la posibilidad de crear una interfaz de usuario. Dicha interfaz permitiría a un ser humano tener acceso a una variedad de servicios de internet con solo pensar o concentrándose en una palabra o frase en la pantalla de una computadora. Una aplicación recientemente desarrollada permite, a través de la señal de ondas cerebrales, no sólo conectarse a internet, sino también guiar dispositivos utilizando únicamente el poder del pensamiento (Janapati et al., 2022).

ESTADOS DE CONSCIENCIA

En pacientes con daño cerebral grave o parálisis, que no tienen ninguna respuesta fisiológica, es posible averiguar si están o no conscientes. Esto es relevante para poder proporcionarles formas de comunicación a través de interfaces cerebrales. La decodificación de estados de consciencia también es útil en personas con problemas de sueño. Tengamos presente que la mala calidad de sueño incide en depresión, trastorno de ansiedad, estrés, etc.

Técnicas avanzadas de neuroimagen (IRMf y EEG) se utilizan para identificar el procesamiento cognitivo preservado, incluida la conciencia encubierta para relacionarlos con los resultados en pacientes que no responden conductualmente. Esto tiene lugar particularmente en pacientes que padecen lesión cerebral aguda y no muestran signos conductuales de conciencia. Por su parte, la IRMf, al medir los cambios en la oxigenación de la sangre, proporciona una localización precisa de la actividad cerebral. Sin embargo, al ser sensible a movimientos involuntarios, su precisión se ve afectada. Por ello, el EEG, a pesar de tener una resolución espacial limitada y ser sensible a la atmósfera eléctricamente ruidosa de la Unidad de Cuidados Intensivos, tiene la ventaja de proporcionar datos continuos sobre la actividad eléctrica del cerebro, además de ser portátil y más rentable. En todo caso, ambas herramientas, al ser utilizadas para sondear la conciencia encubierta pueden proporcionar elementos para tomar mejores decisiones sobre el tratamiento y la rehabilitación. Reconocer que un paciente tiene algún grado de conciencia permite personalizar los enfoques terapéuticos implementando terapias que fomenten la comunicación y la interacción, incluso si éste no puede responder físicamente.

Además de la IRMf y el EEG, la espectroscopia funcional de infrarrojo cercano, es una técnica de neuroimagen óptica que como la IRMf infiere la actividad cerebral

a través del acoplamiento neurovascular mediante la estimación de los cambios en la concentración de la hemoglobina oxigenada-desoxigenada y permite medir la actividad neuronal. Esta técnica se utiliza para detectar la conciencia encubierta en trastornos crónicos de la conciencia. Sus ventajas son proporcionar una buena resolución temporo-espacial a la vez que ser menos susceptible a los artefactos de movimiento. Por su parte, la estimulación magnética transcraneal con EEG (TMS-EEG) es una técnica de neuroimagen que combina la estimulación cerebral a través de pulsos magnéticos con el registro de la actividad eléctrica cerebral, cuya complejidad se puede medir y cuantificar a través de una medida conocida como índice de complejidad perturbacional. Esta combinación de técnicas mide las interacciones neuronales y proporciona una evaluación precisa de la dinámica cerebral que puede diferenciar entre estados de conciencia con alta especificidad y sensibilidad. Además, otras ventajas son que la TMS-EEG puede eludir los sistemas sensoriales y motores, y no requiere esfuerzo cognitivo por parte de los pacientes, lo que la hace atractiva para evaluar la capacidad de haber conservado la conciencia en la unidad de cuidados intensivos. Estas herramientas impulsan los esfuerzos para desarrollar intervenciones que faciliten la recuperación y mejoren la calidad de vida de los pacientes (Kazazian et al., 2024).

DECODIFICAR EL ESTADO DEL ÁNIMO

Hasta ahora las tecnologías de decodificación fueron diseñadas en gran medida para estados cerebrales representados en áreas cerebrales localizadas. Ya hemos visto cómo las interfaces cerebro-máquina pueden decodificar las intenciones motoras a partir de regiones localizadas en áreas corticales específicas (motoras). Sin embargo, la representación del estado de ánimo no solo involucra múltiples sitios cerebrales (corteza prefrontal, amígdala, hipocampo, y otras estructuras del sistema límbico), sino que, además, aún no se sabe exactamente cómo estas regiones interactúan y se coordinan. Esto hace difícil el desarrollo de modelos precisos para decodificar el estado de ánimo a partir de la actividad neural. A pesar de todo ello se han desarrollado modelos que permiten, a partir de registros intracraneales a gran escala a lo largo de varios días, decodificar las variaciones del estado de ánimo en sujetos individuales (Sani et al., 2018; Shanechi, 2019).

Hoy en día se usan modelos de resonancia magnética de ultra alta resolución, (resonancia magnética de 7T: RM 7T) para psiquiatría de precisión. Dichos modelos permiten exámenes individualizados y planes de tratamiento psiquiátrico basados en la estructura cerebral única de cada individuo. La RM 7T ofrece una resolución espacial menor a 1 mm, lo que permite obtener imágenes extremadamente

detalladas del cerebro y otras estructuras corporales. Además, duplica la relación señal/ruido en comparación con los escáneres de resonancia magnética convencionales, lo que mejora la precisión y la claridad de las imágenes. Debido a estas características pueden detectarse cambios neurobiológicos sutiles, guiando la investigación hacia tratamientos psiquiátricos personalizados. Pues bien, estudios recientes que utilizan esta tecnología han demostrado reducciones en volúmenes específicos del hipocampo en personas con trastorno depresivo mayor, lo que podría ofrecer biomarcadores potenciales para su diagnóstico y evaluación de resistencia al tratamiento. Además, se han introducido análisis radiómicos y métricas corticales avanzadas para evaluar la complejidad de las estructuras corticales y detectar diferencias sutiles en los trastornos de ansiedad y depresión. Estos avances están proporcionando una comprensión más profunda de los cambios cerebrales en los trastornos del estado de ánimo y guiando la investigación hacia tratamientos psiquiátricos individualizados (Watanabe et al., 2024).

También se han realizado estudios a fin de vincular cambios longitudinales en las oscilaciones corticales rápidas (utilizando la electroencefalografía) con ensayos farmacológicos y terapia cognitivo-conductual. Hasta la fecha, el estudio de las oscilaciones corticales antes del inicio del tratamiento ha demostrado ser prometedoras en la predicción de las respuestas a varios Inhibidores Selectivos de la Recaptación de Serotonina (ISRS). Se ha descubierto una asociación entre un aumento en la actividad theta y disminuciones tardías en la potencia alfa asociadas con la mejoría en los síntomas depresivos. El estudio respalda los efectos moduladores de los ISRS sobre las oscilaciones corticales en estado de reposo y sugiere que futuras investigaciones podrían utilizar EEG para identificar objetivos biológicos robustos y desarrollar intervenciones de neuroestimulación personalizadas (Schwartzmann et al, 2024).

COMPUTACIÓN AFECTIVA

La computación afectiva (también conocida como inteligencia artificial de emociones o IA de emociones) basada en aprendizaje profundo es un campo interdisciplinario que combina la informática, la psicología, la ciencia cognitiva y la educación centrándose en el desarrollo de sistemas y dispositivos capaces de reconocer, interpretar y responder a las emociones humanas. Este tipo de desarrollo podría resultar útil para trabajar en la depresión, dosificar medicamentos y supervisar el proceso de atención que se brinda a esa persona (Wang et al., 2022).

Con el rápido crecimiento del envejecimiento de la población en todo el mundo, esta técnica tiene un inmenso potencial para beneficiar el tratamiento y la atención de los trastornos cognitivos y del estado de ánimo en la vejez. Puede utilizarse para abordar las deficiencias de los enfoques actuales de detección y diagnóstico, mitigar la soledad y el aislamiento, proporcionar enfoques de tratamiento más personalizados y detectar el riesgo de suicidio (Smith et al., 2021).

NEURODERECHOS

Si bien el tema de los neuroderechos volveremos a tratarlos cuando realicemos la segunda entrega y allí deberemos plantear el tema del libre albedrío (Genser et al., 2022), ahora hemos de indicar que éstos son una propuesta de extensión de los derechos humanos que ya están reconocidos en tratados internacionales. No obstante, existe un debate acerca de cómo abordarlos legislativamente. En efecto, algunos señalan que los derechos existentes ya ofrecen una suficiente cobertura y cuestionan la necesidad de incluirlos en los tratados internacionales vigentes. Pero, la mayor parte de la comunidad experta argumenta que los derechos humanos, tal como son planteados hoy en día, no ofrecen protección frente al potencial de las neurotecnologías. Hemos visto que existen herramientas que permiten leer el cerebro y ya veremos que, incluso otras pueden modificar la actividad cerebral y, por tanto, el comportamiento de las personas. La comunidad de neurocientíficos desde NeuroRights Foundation impulsada por Rafael Yuste insiste en la necesidad de reconocer al menos cinco neuroderechos. Ahora haremos mención sólo a dos de ellos, los cuales podrían verse afectados por las neurotecnologías que leen la actividad neuronal. Nos referimos al derecho a la privacidad mental y la protección contra el sesgo. En relación al primero decimos que éste supone al menos tres cosas: a) cualquier NeuroData que se obtenga al medir la actividad neuronal debe mantenerse en privado; b) si los datos fuesen almacenados el sujeto puede exigir que sean eliminados por su sola petición; c) debe regularse estrictamente el uso, la venta y la transferencia comercial de los datos. Ahora bien, sobre la protección contra el sesgo se afirma que combatirlo ha de ser la norma para los algoritmos en neurotecnología. En efecto, un uso deficiente de datos, o un mal diseño de algoritmos podría reforzar la discriminación hacia grupos vulnerables.

El peso que los datos obtenidos a partir de las neuroimágenes es tan contundente que el Tribunal Supremo español, en la Sentencia 814/2020, ha reconocido el valor probatorio de las neuroimágenes en un caso penal diciendo que aportan unas conclusiones "certeras" e "incuestionables". Esto parece sugerir una apertura hacia su uso en procesos judiciales (Julià-Pijoan, 2022). Muchos años antes, en 2008,

en la India, se condenó a Aditi Sharma de 24 años, de haber envenenado a su antiguo novio, basándose en los resultados de un escáner cerebral de tipo EEG. El tema suscitó la atención mundial y el veredicto fue anulado un año después. Sin embargo, en junio de 2021, Sharma y su nueva pareja fueron hallados culpables del crimen. En fin, sea lo que fuere y más allá de las discusiones jurídicas, lo cierto es que los científicos haciendo uso del aprendizaje automático y de la IA pueden extraer datos cerebrales con notable precisión (*Katsnelson*, 2021). De todos modos, la cuestión de su uso sigue siendo altamente discutida (Julià-Pijoan, 2023).

REFERENCIAS

- Colucci, A., Vermehren, M., Cavallo, A., Angerhöfer, C., Peekhaus, N., Zollo, L., Kim, W., Paik, N., & Soekadar, S. (2022). Brain-Computer Interface-Controlled Exoskeletons in Clinical Neurorehabilitation: Ready or Not?. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 36, 747 - 756. <https://doi.org/10.1177/15459683221138751>
- Cortina, A. (2001). *Ética aplicada y democracia radical*. Madrid: Tecnos
- Dawkins, R. (1976). *The selfish gene*. New York: Oxford University Press
- Défossez, A., Caucheteux, C., Rapin, J., Kabeli, O., & King, J. (2022). Decoding speech from non-invasive brain recordings. *ArXiv*, *abs/2208.12266*
- European Commission. (2021). *The Human Brain Project: A European flagship project*. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/final-human-brain-project-summit-achievements-and-future-digital-brain-research>
- Francisco. (2015). Laudato Si: Sobre el cuidado de la casa común. https://www.vatican.va/content/francesco/es/encyclicals/documents/papa-francesco_20150524_encyclica-laudato-si.html
- Genser, J., Herrmann, S. & Yuste, R. (2022). International Human Rights Protection Gaps in the Age of Neurotechnology. https://collimateur.uqam.ca/wp-content/uploads/sites/11/2022/09/NeurorightsFoundation_PU_BLICAnalysis5.6.22.PDF
- Giansanti, D. (2023). An Umbrella Review of the Fusion of fMRI and AI in Autism. *Diagnostics*, 13. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13233552>
- Hamilton, W.D. (1964). The genetical evolution of social behaviour. *J Theo Biology* 7, 1-52
- Hauser, M. (2008). *La mente moral. Cómo la naturaleza ha desarrollado nuestro sentido del bien y del mal* (Miguel Candel trad.). Barcelona: Paidós

Janapati, R., Dalal, V., Kumar, G. M., Anuradha, P., & Shekar, P. V. R. (2022). Web interface applications controllers used by autonomous EEG-BCI technologies. *AIP Conference Proceedings*, 2418, 030038. <https://doi.org/10.1063/5.0081780>

Julià-Pijoan, M. (2022). Sobre la valoración judicial de las neuroimágenes. *Rev. chil. derecho* vol.49 no.3 Santiago dic. 2022. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34372022000300009&script=sci_arttext

Julià-Pijoan, M. (2023). La prueba penal de los estados mentales desde la "neurotecnología": ¿ya es una realidad?. *Polít. crim.* vol.18 no.35 Santiago jul. 2023. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33992023000100091&script=sci_arttext

Kadry, S., Taniar, D., Damaševičius, R., & Rajinikanth, V. (2021). Automated Detection of Schizophrenia from Brain MRI Slices using Optimized Deep-Features. 2021 Seventh International conference on Bio Signals, Images, and Instrumentation (ICBSII), 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICBSII51839.2021.9445133>

Katsnelson, A. (2021). Criminalidad: ¿las imágenes del cerebro sirven de prueba? <https://courier.unesco.org/es/articles/criminalidad-las-imagenes-del-cerebro-sirven-de-prueba>

Kazazian, K., Edlow, B. L., & Owen, A. M. (2024). Detecting awareness after acute brain injury. *The Lancet Neurology*, 23, 836–844. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(24\)00456-7](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(24)00456-7)

Kumari, N., Anwar, S. & Bhattacharjee, V. (2022). Automated visual stimuli evoked multi-channel EEG signal classification using EEGCapsNet. *Pattern Recognition Letters* 153, 29–35. www.doi.org/10.1016/j.patrec.2021.11.019

LHF Labs. (2023). El sesgo en los modelos de lenguaje. <https://www.lhf.ai/el-sesgo-en-los-modelos-de-lenguaje/>

Li, C., Li, W., Liu, C., Zheng, H., Cai, J., & Wang, S. (2022). Artificial intelligence in multi-parametric magnetic resonance imaging: A review. *Medical physics*. <https://doi.org/10.1002/mp.15936>

McDuff, D., Schaeckermann, M., Tu, T., Palepu, A., Wang, A., Garrison, J., Singhal, K., Sharma, Y., Azizi, S., Kulkarni, K., Hou, L., Cheng, Y., Liu, Y., Mahdavi, S., Prakash, S., Pathak, A., Semturs, C., Patel, S., Webster, D., Dominowska, E., Gottweis, J., Barral, J., Chou, K., Corrado, G., Matias, Y., Sunshine, J., Karthikesalingam, A., & Natarajan, V. (2023). Towards Accurate Differential Diagnosis with Large Language Models. *ArXiv*, abs/2312.00164. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2312.00164>

Metzger, S. L., Littlejohn, K. T., Silva, A. B., Moses, D. A., Seaton, M. P., Wang, R., Dougherty, M. E., Liu, J. R., Wu, P., Berger, M. A., Zhuravleva, I., Tu-Chan, A., Ganguly, K., Anumanchipalli, G. K., & Chang, E. F. (2023). A high-performance neuroprosthesis for speech decoding and avatar control. *Nature*, *620*(7976), 1037–1046. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06443-4>

Moses, D. A., Metzger, S. L., Liu, J. R., Anumanchipalli, G. K., Makin, J. G., Sun, P. F., Chartier, J., Dougherty, M. E., Liu, P. M., Abrams, G. M., Tu-Chan, A., Ganguly, K., & Chang, E. F. (2021). Neuroprosthesis for Decoding Speech in a Paralyzed Person with Anarthria. *The New England journal of medicine*, *385*(3), 217–227. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2027540>

Precision Neuroscience. (2024, 7 de octubre). Breakthrough in brain-computer interface technology: A new era of neural decoding at the Society for Neuroscience annual meeting Neuroscience 2024. GlobeNewswire. <https://www.globenewswire.com/news-release/2024/10/07/2959101/0/en/Breakthrough-in-Brain-Computer-Interface-Technology-A-New-Era-of-Neural-Decoding-at-the-Society-for-Neuroscience-Annual-Meeting-Neuroscience-2024.html>

Rapeaux, A., & Constandinou, T.G. (2021). Implantable brain machine interfaces: first-in-human studies, technology challenges and trends. *Current opinion in biotechnology*, *72*, 102–111

Roskies, A. (2002). Neuroethics for the New Millenium. *Neuron*, *35*, 21–23

Saeidi, M., Karwowski, W., Farahani, F., Fiok, K., Taiar, R., Hancock, P., & Al-Juaid, A. (2021). Neural Decoding of EEG Signals with Machine Learning: A Systematic Review. *Brain Sciences*, *11*. <https://doi.org/10.3390/brainsci11111525>

Samejima, S., Khorasani, A., Ranganathan, V., Nakahara, J., Tolley, N., Boissenin, A., Shalchyan, V., Daliri, M., Smith, J., & Moritz, C. (2021). Brain-Computer-Spinal Interface Restores Upper Limb Function After Spinal Cord Injury. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, *29*, 1233–1242. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2021.3090269>

Sani, O. G., Yang, Y., Lee, M. B., Dawes, H. E., Chang, E. F., & Shanechi, M. M. (2018). Mood variations decoded from multi-site intracranial human brain activity. *Nature Biotechnology*, *36*, 954–961. <https://doi.org/10.1038/nbt.4200>

Schwartzmann, B., Chatterjee, R., Vaghei, Y., Quilty, L. C., Allen, T. A., Arnott, S. R., Atluri, S., Blier, P., Dhami, P., Foster, J. A., Frey, B. N., Kloiber, S., Lam, R. W., Milev, R., Müller, D. J., Soares, C. N., Stengel, C., Parikh, S. V., Turecki, G., Uher, R., ... Farzan, F. (2024). Modulation of neural oscillations in escitalopram treatment:

- a Canadian biomarker integration network in depression study. *Translational psychiatry*, 14(1), 432. <https://doi.org/10.1038/s41398-024-03110-8>
- Shanechi, M. M. (2019). Brain-machine interfaces from motor to mood. *Nature Neuroscience*, 22, 1554–1564. <https://doi.org/10.1038/s41593-019-0488-y>
- Shen, G., Horikawa, T., Majima, K., & Kamitani, Y. (2019). Deep image reconstruction from human brain activity. *PLoS computational biology*, 15(1), e1006633. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1006633>
- Smith, E., Storch, E., Vahia, I., Wong, S., Lavretsky, H., Cummings, J., & Eyre, H. (2021). Affective Computing for Late-Life Mood and Cognitive Disorders. *Frontiers in Psychiatry*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2021.782183>
- Takagi, Y., & Nishimoto, S. (2023). High-resolution image reconstruction with latent diffusion models from human brain activity. *bioRxiv*
- Tang, J., LeBel, A., Jain, S., & Huth, A.G. (2022). Semantic reconstruction of continuous language from non-invasive brain recordings. *Nature Neuroscience*, 26, 858–866
- The White House. (2013, abril 2). *Fact Sheet: BRAIN Initiative*. <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2013/04/02/fact-sheet-brain-initiative>
- Unger, P. (1996). *Living high and letting die: Our illusion of innocence*. New York: Oxford University Press
- Wang, Y., Song, W., Tao, W., Liotta, A., Yang, D., Li, X., Gao, S., Sun, Y., Ge, W., Zhang, W., & Zhang, W. (2022). A Systematic Review on Affective Computing: Emotion Models, Databases, and Recent Advances. *ArXiv*, abs/2203.06935. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.06935>
- Watanabe, K., Joglekar, J., & Yoshimura, R. (2024). Editorial: Recent developments in neuroimaging in mood disorders. *Frontiers in psychiatry*, 15, 1371347. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2024.1371347>
- Willett, F. R., Avansino, D. T., Hochberg, L. R., Henderson, J. M., & Shenoy, K. V. (2021). High-performance brain-to-text communication via handwriting. *Nature*, 593(7858), 249–254. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03506-2>
- Wilson, J.Q. (1993). *The moral sense*. New York: Free Press

Zhang, W., Kim, S. M., Wang, W., Cai, C., Feng, Y., Kong, W., & Lin, X. (2018). Cochlear Gene Therapy for Sensorineural Hearing Loss: Current Status and Major Remaining Hurdles for Translational Success. *Frontiers in molecular neuroscience*, 11, 221. <https://doi.org/10.3389/fnmol.2018.00221>

Zhang, Z., Li, G., Xu, Y., & Tang, X. (2021). Application of Artificial Intelligence in the MRI Classification Task of Human Brain Neurological and Psychiatric Diseases: A Scoping Review. *Diagnostics*, 11. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11081402>

Zheng, L., Liao, P., Wu, X., Cao, M., Cui, W., Lu, L., Xu, H., Zhu, L., Lyu, B., Wang, X., Teng, P., Wang, J., Vogrin, S., Plummer, C., Luan, G., & Gao, J. (2023). An artificial intelligence-based pipeline for automated detection and localisation of epileptic sources from magnetoencephalography. *Journal of Neural Engineering*, 20. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/acef92>

Zhu, M., Li, S., Kuang, Y., Hill, V., Heimberger, A., Zhai, L., & Zhai, S. (2022). Artificial intelligence in the radiomic analysis of glioblastomas: A review, taxonomy, and perspective. *Frontiers in Oncology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.924245>