

El desarrollo humanista de la neurotecnología, una nueva oportunidad para España

Un programa de



GOBIERNO
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA
PRIMERA DE GOBIERNO
MINISTERIO
DE ASUNTOS ECONÓMICOS
Y TRANSFORMACIÓN DIGITAL

SECRETARÍA DE ESTADO
DE DIGITALIZACIÓN
E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

red.es



Mobile
WorldCapital
Barcelona

Sobre Digital Future Society

Digital Future Society es una iniciativa transnacional sin ánimo de lucro que conecta a responsables políticos, organizaciones cívicas, expertos académicos y empresarios para explorar, experimentar y explicar cómo se pueden diseñar, usar y gobernar las tecnologías a fin de crear las condiciones adecuadas para una sociedad más inclusiva y equitativa.

Nuestro objetivo es ayudar a los responsables políticos a identificar, comprender y priorizar los desafíos y las oportunidades fundamentales, ahora y en los próximos diez años, en relación con temas clave que incluyen la innovación pública, la confianza digital y el crecimiento equitativo.

Para más información, visite digitalfuturesociety.com

Un programa de



red.es



Permiso para compartir

Esta publicación está protegida por la licencia internacional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 (CC BY-SA 4.0).

Publicado

Noviembre del 2023

Aviso legal

La información y las opiniones expuestas en este informe no reflejan necesariamente la opinión oficial de Mobile World Capital Foundation. La Fundación no garantiza la exactitud de los datos incluidos en este informe. Ni la Fundación ni ninguna persona que actúe en nombre de la Fundación será considerada responsable del uso que pueda darse a la información que contiene.

Contenidos

Resumen ejecutivo	3
Glosario	5
Introducción: ¿por qué hablamos de neurotecnología?	7
El cerebro como prioridad global	7
Sobre este informe	9
Por qué ahora	9
1. ¿Qué es la neurotecnología y cómo se aplica?	11
Definiciones de neurotecnología	11
Neurodatos	12
Neurotecnologías implantables y no implantables	14
Tipos de neurotecnologías	17
Contextos de uso médico	24
Contextos de uso no médico	27
2. Principales implicaciones éticas, jurídicas y sociales	34
Creciente preocupación social y política por la neurotecnología	34
Cuestiones éticas que plantea la neurotecnología	36
Documentos destacados sobre la regulación de la neurotecnología	41
Aspectos a tener en cuenta a la hora de establecer la regulación	46
Oportunidades para nuevos modelos de gobernanza	48
Marcos centrados en las personas	50
Conclusión y recomendaciones	51
Referencias	54
Agradecimientos	66

Resumen ejecutivo

El mundo está movilizando recursos para mitigar el sufrimiento humano y las consecuencias económicas que derivan de la carga mundial de morbilidad por problemas cerebrales como la enfermedad de Alzheimer, la enfermedad de Parkinson, los accidentes cerebrovasculares y los trastornos mentales. Muchos grandes avances de la lucha contra estas enfermedades se han logrado gracias a la convergencia de la investigación y el desarrollo, entre otros, en neurociencia, ingeniería, digitalización e inteligencia artificial (IA).

En las dos últimas décadas, tanto Gobiernos como centros de investigadores del mundo académico y la industria, así como otros actores del sector privado, han invertido sumas nunca vistas para el estudio de la neurociencia y la innovación en neurotecnología. Esta tendencia se ha mantenido incluso con la pandemia de la COVID-19: diversos programas de recuperación económica pospandemia —incluido el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia en España— han priorizado el desarrollo de la neurotecnología.

Los avances en neurotecnología se suceden rápidamente y son difíciles de entender. En los medios de comunicación aparecen a menudo empresas como Neuralink, con promesas esperanzadoras como la de conseguir que los pacientes con parálisis se comuniquen y, al mismo tiempo, afirmando que en el futuro será posible la simbiosis entre nuestro cerebro y la IA, una idea que no desentonaría en una novela de ciencia ficción. Expertos académicos, científicos sociales, especialistas en salud, organizaciones de pacientes y legisladores piden cada vez más que se analicen los aspectos éticos que se derivan o podrían derivarse de los usos de la tecnología ahora y en el futuro.

Aunque comunidades de todo el mundo coinciden en la necesidad de ampliar y mejorar el tratamiento de las enfermedades cerebrales y paliar la creciente carga que suponen, hay una mayor divergencia en la opinión de la sociedad sobre el uso de la neurotecnología más allá de sus aplicaciones médicas; por ejemplo, en contextos militares o para obtener mejoras cognitivas. Por ello, existe una necesidad clara y urgente de abordar estas cuestiones de manera proactiva, de un modo que permita promover, de cara al futuro, una innovación en neurotecnología alineada con las necesidades y los intereses de la sociedad.

Dentro de este contexto global, España está desarrollando un modelo para hacer prosperar un ecosistema de la neurotecnología tomando como marco orientador el llamado *humanismo tecnológico*. Este término aparece cada vez más, tanto en los medios de comunicación como en las esferas políticas de España, y expresa la aspiración de situar a las personas en el centro del desarrollo tecnológico. Además, el humanismo tecnológico es el marco de la Carta de Derechos Digitales adoptada recientemente en este país, que, entre otras cosas, subraya la necesidad de establecer medidas de protección contra las amenazas que podría representar la neurotecnología para los derechos humanos individuales y colectivos.

Dicha Carta describe el derecho a preservar la identidad individual, la protección de datos y la necesidad de regular las neurotecnologías diseñadas para la mejora cognitiva. Por todo esto, el lanzamiento de Spain Neurotech, el nuevo centro de neurotecnología de España, que, entre otros objetivos, abordará aspectos éticos y legales relacionados, es una respuesta no solo a la creciente necesidad de la sociedad de hallar soluciones para el tratamiento de enfermedades y promover la innovación, sino también, en particular, a la Carta de Derechos Digitales adoptada recientemente. No obstante, la implementación de la Carta de Derechos Digitales, un instrumento no vinculante que ofrece recomendaciones y reflexiones más que establecer leyes imperativas en este campo, se enfrenta a diversos retos.

Hasta ahora no se ha llegado a ningún consenso ni definición global del término *neurotecnología*. Las neurotecnologías, en general, se consideran mecanismos que permiten una conexión directa con el cerebro o la médula espinal o ambos. El funcionamiento de estas tecnologías suele consistir en detectar o estimular la actividad cerebral, lo cual puede ser un medio para modularla. Las neurotecnologías aplicadas a la medicina y las que se están desarrollando con fines clínicos, por ejemplo, para el diagnóstico o la sustitución o restauración de capacidades que se han perdido debido a lesiones o enfermedades, representan los tipos más avanzados de neurotecnología.

Las inversiones han contribuido a alcanzar logros extraordinarios en el ámbito clínico, como el de permitir que personas con parálisis vuelvan a moverse o incluso comunicarse con sus seres queridos. Sin embargo, la neurotecnología también presenta toda una serie de cuestiones controvertidas, desde barreras éticas ya conocidas, como las relacionadas con la equidad, la justicia y la privacidad, hasta nuevos problemas vinculados a los riesgos para la capacidad de decisión y actuación, la autonomía y la identidad. En el futuro, estas tecnologías podrán aplicarse cada vez más fuera del ámbito clínico, y ya en la actualidad el mercado de consumo está explorando el uso de la neurotecnología en la educación, el trabajo, las fuerzas armadas y el marketing. En este contexto de expansión, los organismos reguladores se enfrentan a retos cada vez más complejos a la hora de asegurarse de que esos usos sigan orientados a beneficiar a las personas.

Actualmente, hay todo un mosaico de entidades reguladoras, a nivel local y global, esforzándose por seguirle el ritmo al desarrollo de las tecnologías emergentes. Quienes investigan la regulación de dichas tecnologías sugieren un enfoque múltiple, que incluya tanto explorar los mecanismos actuales de legislación como tratar de crear soluciones a más corto plazo con instrumentos no vinculantes. Las propuestas de unos nuevos *neuroderechos* plantean la necesidad de estudiar en mayor profundidad cómo adaptar la legislación de derechos humanos existente para abordar los problemas ampliados por la neurotecnología. Asimismo, los expertos en leyes siguen analizando cómo podrían adaptarse las normas actuales para cubrir las lagunas en la regulación, en particular las medidas para proteger la privacidad de los neurodatos en los usos más relacionados con los consumidores.

Por lo tanto, España tiene ante sí una oportunidad de ampliar su liderazgo en derechos digitales con Spain Neurotech, aprovechando el impulso que ha obtenido gracias al debate que se está manteniendo sobre la regulación de la neurotecnología y la aplicación del humanismo tecnológico, para hacer avanzar soluciones políticas y técnicas en el ecosistema global de la innovación en neurotecnología.

Glosario

E

Electroencefalograma (EEG): dispositivo formado por pequeños electrodos capaces de detectar la actividad eléctrica del cerebro desde el exterior del cráneo. Los dispositivos de EEG se colocan en un gorro o una cinta para la cabeza que llevan las personas durante las grabaciones de la actividad cerebral.

Estimulación cerebral profunda (ECP): técnica en la que se implanta quirúrgicamente un electrodo largo en las estructuras profundas del cerebro. A veces llamada “marcapasos para el cerebro”, los electrodos están conectados a una batería que permite que la corriente eléctrica llegue al cerebro.

Estimulación eléctrica transcraneal (EET): técnica en la que se intercambian corrientes eléctricas entre un electrodo positivo y uno negativo colocados en la cabeza, lo que puede alterar la actividad eléctrica del cerebro.

Estimulación magnética transcraneal (EMT): técnica en la que se emplea una bobina magnética en forma de ocho para modificar la actividad cerebral.

Estimulación transcraneal con corriente continua (tDCS por sus siglas en inglés): tipo específico de EET que emplea una corriente constante y unidireccional, similar a la de las baterías que alimentan los vehículos eléctricos, en lugar de la corriente alterna que suele usarse en las tomas eléctricas de los hogares. También existe la estimulación transcraneal con corriente alterna (tACS).

H

Humanismo tecnológico: modelo de desarrollo tecnológico centrado en el ser humano, que aspira a reducir las desigualdades sociales y proteger los derechos humanos velando por que la tecnología esté al servicio de las personas y el interés general.

I

Imagen por resonancia magnética funcional (IRMf): técnica con la que se estima la actividad del cerebro midiendo el flujo sanguíneo de una persona mientras esta realiza una tarea. La persona se sitúa dentro de un gran tubo cerrado mientras una serie de imanes gira alrededor de su cabeza para medir el movimiento de la sangre hacia las neuronas que se activan.

Interfaz cerebro-máquina (ICM): dispositivo que permite transmitir la actividad cerebral a dispositivos externos como un brazo robótico o el cursor de un ordenador.

N

Neurociencia: estudio del sistema nervioso.

Neuroderecho: campo que se ocupa de estudiar cómo usar la neurociencia y la neurotecnología en el ámbito legal.

Neuroderechos: nuevos derechos reclamados por un movimiento de reciente creación, para protegernos frente a las amenazas específicas que presenta la neurotecnología si no se somete a controles.

Neurofeedback: técnica en la que la actividad del cerebro se graba mediante EEG o IRMf y se representa en tiempo real (por ejemplo, en forma de imágenes) para enseñar a los pacientes a controlar su actividad cerebral concentrándose o relajándose para modificar esas señales.

Neuroimagen: técnica en la que se detecta la actividad cerebral y se transmite de forma visual mediante representaciones de ondas eléctricas (p. ej., con EEG) o incluso imágenes coloreadas de estructuras cerebrales (p. ej., con IRMf).

Neurología cosmética: término acuñado por el neurocientífico Anjan Chatterjee en el año 2004, que hace referencia a la cirugía que se realiza por propia voluntad y en la que las intervenciones en el cerebro no se llevan a cabo para curar enfermedades, sino para obtener automejoras.

Neuromarketing: uso de una serie de neurotecnologías, como el EEG, para medir las respuestas no verbales de los consumidores ante los productos comerciales, como el grado de excitación o de atención a los mismos.

Neuromejora: proceso por el que se aumentan las capacidades humanas por encima de los valores típicos o promedios a través de intervenciones cerebrales.

Neuromodulación: técnica en la que se estimulan los nervios que parten del cerebro o de la médula espinal con el fin de alterar la actividad de las neuronas.

Neurona: unidad más básica y componente fundamental del sistema nervioso. Las neuronas también se denominan *células cerebrales*.

Neuroprótesis: dispositivo que puede reemplazar e incluso ampliar funciones del sistema nervioso.

Neurotecnología humanista: para Digital Future Society, neurotecnología definida por una concepción integral del bienestar humano y la promoción de los derechos humanos.

R

Reidentificación: proceso que permite identificar a personas a partir de datos, aunque se haya eliminado la información personal.

S

Sistema nervioso: sistema que incluye el sistema nervioso central (el cerebro y la médula espinal) y el sistema nervioso periférico (los nervios que conectan el sistema nervioso central con el resto del cuerpo humano)

T

Tecnosolucionismo: enfoque de las soluciones que proponen aplicar medidas técnicas simplistas como parche para abordar problemas que tienen dimensiones sociales más complejas, como una infraestructura sanitaria deficiente o unas condiciones de trabajo inadecuadas.

Terapia electroconvulsiva (TEC): técnica que se emplea para tratar la depresión mayor. Se anestesia a los pacientes y, a continuación, se les administran corrientes eléctricas que traspasan el cráneo mediante electrodos situados fuera de este para modificar la actividad de diferentes circuitos del cerebro.

Tomografía por emisión de positrones (TEP): técnica de generación de imágenes del cerebro que se basa en la inyección de sustancias radiactivas en el flujo sanguíneo para que, al entrar en el cerebro, hagan visibles los marcadores de ciertas enfermedades.

Introducción: ¿por qué hablamos de neurotecnología?

El cerebro como prioridad global

El mundo está movilizando recursos para mitigar el sufrimiento humano y la presión económica que derivan de la carga mundial de morbilidad¹ por problemas cerebrales como la enfermedad de Alzheimer, la enfermedad de Parkinson, los accidentes cerebrovasculares y los trastornos mentales. En este sentido, en las últimas dos décadas se han dedicado unos recursos sin precedentes a la investigación en neurociencia y al desarrollo de la neurotecnología, gracias en parte a los grandes avances logrados por la convergencia de la investigación y el desarrollo, entre otros, en neurociencia, ingeniería, digitalización e IA (Garden et al. 2016; Global Neuroethics Summit Delegates 2018; SharpBrains 2020; Quaglio et al. 2021; Research and Markets 2022).

Esta convergencia de diferentes campos científicos y tecnológicos, niveles de inversión nunca vistos y una gran variedad de avances y progresos apasionantes en innovación neurotecnológica ha generado, y sigue generando, un gran impulso global de todo lo que rodea a la neurociencia y la neurotecnología. Ahora, el cerebro humano se ve como un área prioritaria a escala internacional.

En el año 2013, la Unión Europea (UE) lanzó el Proyecto Cerebro Humano, una iniciativa a gran escala y a largo plazo para promover la investigación del cerebro por medios digitales, con más de 500 investigadores en 16 países y 123 instituciones (Human Brain Project y EBRAINS s.f.). Ese mismo año, la Administración de Obama, en Estados Unidos, anunció la iniciativa Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies® (BRAIN), con el objetivo de descubrir “la manera exacta en que el cerebro permite al cuerpo humano registrar, procesar, utilizar, guardar y recuperar inmensas cantidades de información, todo ello a la velocidad de los pensamientos” (NIH s.f.).

Más adelante, en el 2017, ese impulso global contribuyó a que se fundara la International Brain Initiative, que agrupó numerosos proyectos sobre el cerebro, tanto emergentes como ya consolidados, de la UE, Estados Unidos, Canadá, China, Japón, Corea del Sur y Australia (Global Neuroethics Summit Delegates 2018; Quaglio et al. 2021). Este año (2023) ha visto el lanzamiento de Spain Neurotech, que, como Centro Nacional de Neurotecnología, aspira a promover la innovación neurotecnológica internacional (La Moncloa 2022).

¹ La carga mundial de morbilidad es un parámetro que cuantifica las pérdidas asociadas a la prevalencia de enfermedades, lesiones y otros factores de riesgo para la salud (Institute for Health Metrics and Evaluation s.f.).

En muchos casos, las innovaciones en neurotecnología llegan a los pacientes y a la población general por medio de las iniciativas de empresas como INBRAIN, Neuralink, Blackrock Neurotech, BrainGate o Synchron, entre otras (Velasquez-Manoff 2020). La gran mayoría de las tecnologías disponibles se han desarrollado en forma de dispositivos médicos centrados en la comunicación con el cerebro y la médula espinal, a fin de restablecer capacidades perdidas debido a lesiones o enfermedades. Por ejemplo, con implantes cerebrales se ha logrado que pacientes con parálisis y lesiones medulares controlen un cursor visible en una pantalla o muevan una prótesis de brazo con solo concentrarse e intentar realizar esos movimientos. Hay electrodos para estimular el cerebro, implantados dentro de este, que ya han recibido autorización clínica para tratar trastornos motores como la enfermedad de Parkinson, y también se está estudiando su uso para tratar la depresión resistente al tratamiento, la obesidad y el trastorno obsesivo-compulsivo (TOC) (Vedam-Mai et al. 2021).

Algunas neurotecnologías experimentales de tipo *wearable* (es decir, diseñadas para llevar puestas), como las desarrolladas por empresas como Neuroelectronics, emplean gorros o cintas que se colocan en la cabeza con el objetivo de tratar la epilepsia en adultos y niños. Bitbrain, por ejemplo, diseña tecnologías que ayudan en la rehabilitación de la parálisis, a la vez que desarrolla tecnologías *wearable* que permiten captar y medir la respuesta emocional para aplicarlas en estudios de marketing. Asimismo, existen tecnologías *wearable* ideadas con fines recreativos, como jugar o relajarse (Coates McCall et al. 2019), muchas de las cuales difuminan los límites entre las aplicaciones médicas y las no médicas (Paek et al. 2021).

No obstante, pese a las considerables ventajas que prometen ofrecer, el desarrollo de estas nuevas tecnologías no está exento de polémicas y presenta diversos retos éticos, jurídicos y sociales. Algunos investigadores del ámbito académico han sugerido que la investigación del cerebro puede llevarnos a entender los principales mecanismos de la identidad, la personalidad, la memoria, las emociones y las intenciones humanas (Global Neuroethics Summit Delegates 2018), y han llegado a insinuar que la tecnología será capaz de “descodificar los procesos mentales de las personas y manipular directamente el mecanismo cerebral que subyace a sus intenciones, emociones y decisiones” (Yuste et al. 2017).

Por ello, aunque el objetivo mayoritario sea obtener resultados transformadores en los tratamientos médicos, este insólito panorama puede hacer que debamos considerar unas implicaciones éticas que, a veces, vayan en contra de los beneficios clínicos. Eso también nos lleva a cuestionarnos lo que podría suceder si estas tecnologías, diseñadas para uso médico, llegaran a utilizarse en personas que no padecen ninguna enfermedad, por ejemplo, para mejorar sus capacidades cognitivas.

En los medios de comunicación aparecen a menudo empresas como Neuralink (Sáez 2023), con promesas esperanzadoras como la de conseguir que los pacientes con parálisis se comuniquen y, al mismo tiempo, afirmando que en el futuro será posible la simbiosis entre nuestro cerebro y la IA, una idea que no desentonaría en una novela de ciencia ficción. Estas afirmaciones, a menudo, se tildan de “teatro de la neurociencia” (Regalado 2020). Por ejemplo, Elon Musk, cofundador de Neuralink y OpenAI, espera que en un futuro no muy lejano todos podamos llevar dispositivos implantados en el cerebro para “determinar cómo coexistir con la IA avanzada, alcanzando cierto grado de simbiosis con la IA” (Ibid.).

En cualquier caso, y dejando a un lado el teatro de la neurociencia, es cierto que la convergencia de la neurotecnología con la IA plantea una cuestión de peso que algunos responsables políticos ya han empezado a abordar. Para hacer frente a los retos éticos, jurídicos y sociales de la neurotecnología, habrá que identificar cómo encaja la innovación neurotecnológica dentro de un ecosistema más amplio en el que convergen grandes avances emergentes en ingeniería, digitalización, IA y otros campos.

Sobre este informe

Este informe es un primer paso a la hora de explorar la necesidad y las oportunidades más adecuadas de influir positivamente en la trayectoria global de un desarrollo responsable en el ámbito de la neurotecnología. La primera sección resume el estado actual de la neurotecnología en el mundo y cómo se están explorando estas tecnologías en contextos clínicos y en otros ámbitos. La segunda sección describe el panorama del debate que está teniendo lugar a nivel global sobre los retos éticos, jurídicos y sociales que conlleva el desarrollo neurotecnológico. El informe concluye esbozando unas recomendaciones dirigidas a los responsables de la elaboración de políticas públicas, para que faciliten la “neurotecnología humanista”, entendida por Digital Future Society en este informe como la neurotecnología definida por una concepción integral del bienestar humano y la promoción de los derechos humanos.

Así, el objetivo de este trabajo es ayudar a los responsables políticos a comprender:

- Qué es la neurotecnología, cómo se está aplicando y cuáles son actualmente las metas de investigación de cara al futuro
- Los principales retos sociales, éticos, jurídicos y normativos que presentan estas nuevas tecnologías, especialmente los problemas que pueden surgir si se usan de forma inadecuada, así como las consecuencias no deseadas de su uso

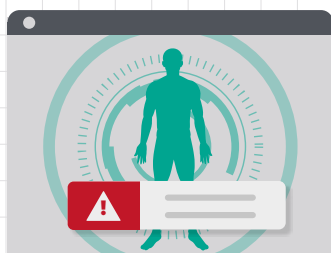
Este informe también puede resultar útil a las organizaciones de la sociedad civil que trabajan en actividades de incidencia política relacionadas con los riesgos de implementar las neurotecnologías. Se anima a todos los lectores a compartir este informe con sus respectivas organizaciones y redes, a modo de recurso.

Por qué ahora

El Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital ha liderado las iniciativas españolas para elaborar una Carta de Derechos Digitales, adoptada como instrumento no vinculante en el año 2021. Dicha Carta ofrece un marco reflexivo de interpretación para la legislación existente. Sobre esta base, el Ministerio, junto con la Comunidad de Madrid y la Universidad Autónoma de Madrid, también ha lanzado hace poco el Centro Nacional de Neurotecnología, Spain Neurotech, que se ha descrito como “una respuesta a los principios y prioridades de la Carta de Derechos Digitales de España” (La Moncloa 2022). Este informe reconoce la convergencia de dichas iniciativas de avance de la neurotecnología con el creciente impulso al desarrollo de tecnologías centradas en las personas en España.

En la Carta de Derechos Digitales, adoptada recientemente, España ya ha incluido una serie de disposiciones sobre los derechos digitales en el uso de las neurotecnologías. Dicha Carta describe el derecho a preservar la identidad individual, la protección de datos y la necesidad de regular las neurotecnologías diseñadas para la mejora cognitiva (Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital s.f.). Nadia Calviño, ministra de Economía y Transformación Digital y vicepresidenta primera del gobierno de España, señala que la Carta trata de “garantizar una digitalización humanista que ponga en el centro a las personas” (La Moncloa 2021). Esta afirmación concuerda con un planteamiento recurrente en la gobernanza de las tecnologías emergentes en España, llamado *humanismo tecnológico* (Digital Future Society 2021).

Con la creación de Spain Neurotech, también se pretende promover un foro para aplicar los principios de la Carta de Derechos Digitales. Por otra parte, a medida que crece el ecosistema español de la neurotecnología, este enfoque proactivo, en lugar de reactivo, podría ser un modelo útil para las iniciativas globales de innovación neurotecnológica.

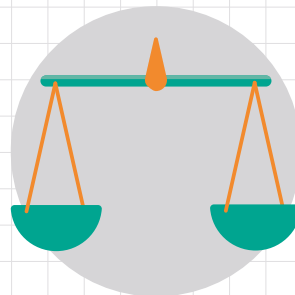


Humanismo tecnológico

El término *humanismo tecnológico* es cada vez más habitual en el debate en España, tanto entre el público general como en el plano político, al hablar de las implicaciones sociales de los avances tecnológicos (Digital Future Society 2021). El humanismo tecnológico se puede definir como “un modelo de desarrollo tecnológico centrado en el ser humano, que aspira a reducir las desigualdades sociales y proteger los derechos humanos velando por que la tecnología esté al servicio de las personas y el interés general” (Ayuntamiento de Barcelona 2021).

Neurotecnología humanista

A partir del término *humanismo tecnológico*, Digital Future Society entiende por *neurotecnología humanista* la neurotecnología definida por una concepción integral del bienestar humano y la promoción de los derechos humanos.



1. ¿Qué es la neurotecnología y cómo se aplica?



El interés por la neurotecnología no deja de crecer, y tarde o temprano la sociedad tendrá que entender bien en qué consiste y cuáles podrían ser las repercusiones de interactuar con estas tecnologías. La población también va a necesitar orientación para distinguir entre los titulares más impactantes y la realidad científica. Con ese objetivo, y antes de entrar en las implicaciones éticas, jurídicas y sociales de la neurotecnología, en la presente sección se da una definición de neurotecnología y se exploran otras definiciones, se ilustran varios tipos de neurotecnologías y se analizan diferentes contextos en los que se aplican.

Definiciones de neurotecnología

En pocas palabras, las neurotecnologías son dispositivos que permiten una conexión directa con el cerebro o la médula espinal (Müller y Rotter 2017). En general, estas tecnologías detectan o estimulan la actividad cerebral, a veces con el fin de modularla. Ahora bien, las neurotecnologías constituyen una categoría de dispositivos muy amplia y compleja, y a menudo cada entidad las define de una manera distinta. En términos generales, las diferentes entidades hacen hincapié en distintas características de la neurotecnología y en sus capacidades y funciones.

Por ejemplo, la definición de neurotecnología de la OCDE (organización que elaboró la primera norma internacional de innovación ética en neurotecnología) abarca los “dispositivos y procedimientos” (Garden et al. 2016; Comité Internacional de Bioética de la UNESCO 2021). El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), la mayor asociación profesional de ingeniería del mundo, destaca los aspectos relacionados con la investigación, al incluir en la definición de la neurotecnología el hecho de que permite “entender mejor el cerebro” (IEEE brain s.f.). Y Neurotech Network, un grupo que promueve los intereses de los pacientes y las familias en relación con la tecnología, enfatiza las aplicaciones médicas al definir la neurotecnología como “electrónica médica” diseñada especialmente para las personas, excluyendo la gran cantidad de estudios de neurotecnología que se están llevando a cabo en animales (Neurotech Network s.f.).

Figura 1.
Ejemplos de definiciones de neurotecnología

Tipo de entidad	Definición
Organizaciones políticas e intergubernamentales	“ dispositivos y procedimientos que se usan para acceder a la estructura y las funciones del sistema nervioso, supervisarlas, investigarlas, evaluarlas, manipularlas o simularlas” (OECD 2019)
Asociaciones profesionales internacionales	“cualquier tecnología que permite entender mejor el cerebro o el sistema nervioso, o que afecta al funcionamiento del cerebro o el sistema nervioso” (IEEE brain s.f.)
Personas usuarias defensoras de la neurotecnología	“ electrónica médica que interactúa con el sistema nervioso de las personas ” (Neurotech Network s.f.)

Las distintas entidades de esta tabla son partes interesadas fundamentales que ponen de relieve unas dimensiones y un contexto importantes para la investigación en neurotecnología y su comprensión para el uso por parte del público. No obstante, la ambigüedad y la falta de un consenso más amplio a la hora de definir la neurotecnología también pueden suponer una serie de obstáculos al intentar crear y aplicar regulaciones y pautas de orientación ética.² Se profundizará en esta cuestión en la sección sobre las implicaciones éticas, jurídicas y sociales. En cualquier caso, se puede identificar una característica que aparece en todas las definiciones de la neurotecnología: el hecho de que las neurotecnologías están diseñadas para conectarse de algún modo al cerebro y la médula espinal para detectar o modificar la actividad cerebral.

Neurodatos

Los datos recogidos por las neurotecnologías se suelen denominar *neurodatos*. Sin embargo, se trata de otro término que carece de consenso y tiene implicaciones normativas, de las que se hablará en mayor detalle en la sección sobre las implicaciones éticas, jurídicas y sociales. También existen variaciones en los términos que emplean las personas para hacer referencia a los datos que recoge la neurotecnología.³

² También se han empleado otros términos como equivalentes de la neurotecnología; por ejemplo, “interfaz neuronal” (Royal Society 2019), “interfaz cerebro-ordenador” (Brunner et al. 2015; Borman 2021; Future of Privacy Forum 2021) o interfaz cerebro-máquina (ICM), que algunos ingenieros describen como un tipo de neurotecnología (IEEE Standards Association 2020).

³ Dado que este informe se dirige principalmente a responsables de la elaboración de políticas públicas, en él se utiliza el término neurodatos.

Figura 2.
Terminología para describir los datos recogidos por la neurotecnología

Término	Definición
Neurodatos	datos “ primarios ” procedentes de las neuronas o células cerebrales, incluyendo “su actividad eléctrica, hemodinámica y química, sus componentes anatómicos, sus conexiones, etc.” (Future of Privacy Forum 2021)
Datos neuronales	“Datos del cerebro de una persona que se registran de forma directa o indirecta ; por ejemplo, obteniendo imágenes del cerebro, con grabaciones intracraneales o mediante interfaces cerebro-ordenador” (Comité Internacional de Bioética de la UNESCO 2021)
Datos mentales	“cualquier conglomeración de representaciones mentales y actitudes proposicionales que se corresponde con la experiencia de pensar, recordar, planear, percibir y sentir” (Ienca y Malgieri 2022)
Datos de neurociencia	“van más allá de las meras mediciones y comprenden también los datos derivados de ellas, así como los metadatos que describen todo el conjunto de pasos de procesamiento y el análisis realizados para producir datos” (Eke et al. 2022)

Estas definiciones se diferencian por el modo en que se adquieren los datos, el tipo de información que se extrae de ellos y los protocolos que acompañan a los datos para analizarlos. Así, para think tanks como Future of Privacy Forum, los neurodatos son datos “primarios” procedentes de las neuronas, lo que indica que la información se recoge directamente del cerebro (Future of Privacy Forum 2021).

En cambio, en un informe del Comité Internacional de Bioética de la UNESCO (2021) aparece una definición más amplia de los datos neuronales, que incluye tanto los datos recogidos directamente a través de electrodos que se conectan con las neuronas como los datos recogidos de forma indirecta mediante dispositivos que se llevan puestos o que no requieren cirugía.

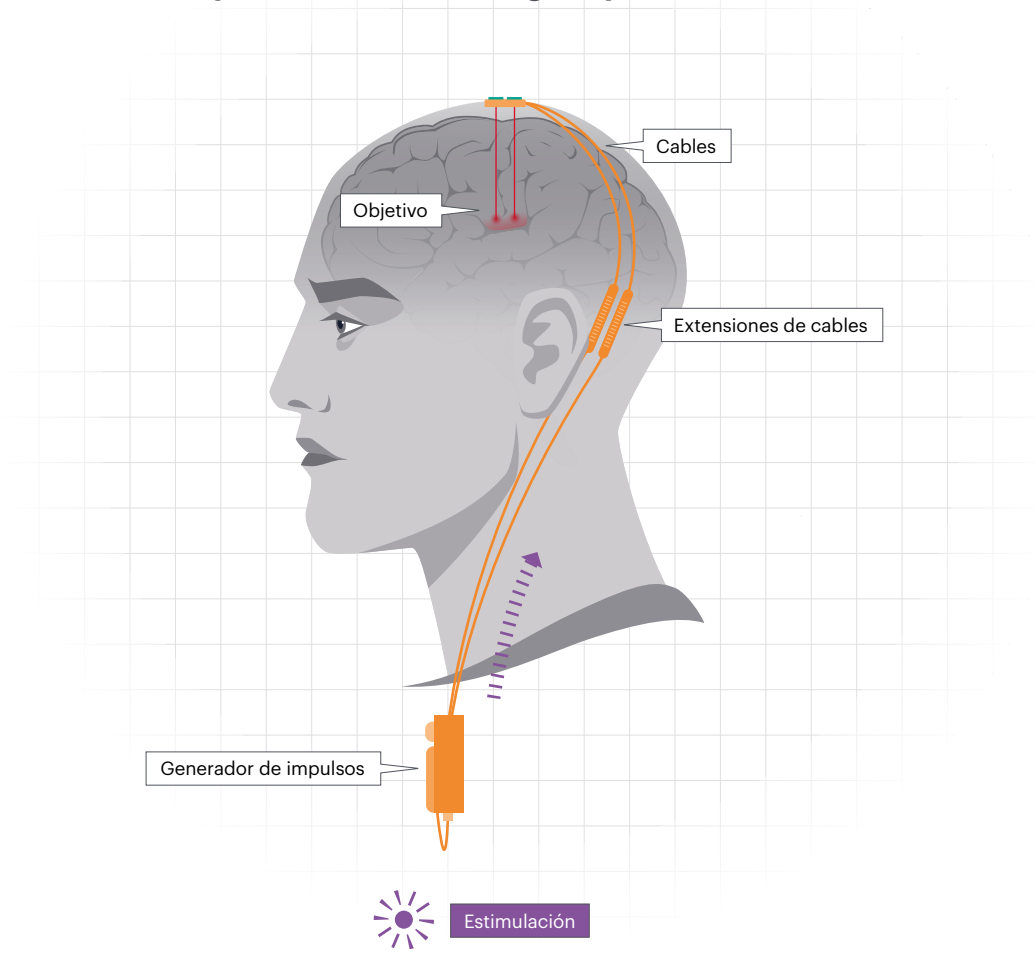
En el entorno académico se habla de los neurodatos o datos cerebrales como una categoría que puede englobar más datos y que se denomina de manera más exacta *datos mentales* (Ienca y Malgieri 2022). Este término, aún más general, abarca los datos recogidos del cerebro directa o indirectamente. Los datos mentales proceden de dispositivos que pueden no considerarse neurotecnologías. Por ejemplo, los teléfonos móviles que recopilan datos de los mensajes de texto pueden revelar información sobre el estado de ánimo de sus usuarios, y pueden proporcionar más información que la que detectan las neurotecnologías actuales.

Y, por último, un consorcio de proyectos de investigación del cerebro tiene como objetivo modernizar la definición de los neurodatos, a los que denomina “datos de neurociencia”. Según su punto de vista, no solo deben considerarse neurodatos los datos recogidos del cerebro, sino también los algoritmos que se usan para procesar esos datos (Eke et al. 2022).

Neurotecnologías implantables y no implantables

Algunas neurotecnologías, como las de estimulación cerebral profunda (ECP), requieren la implantación quirúrgica de un electrodo largo para administrar una corriente eléctrica a las estructuras profundas del cerebro, a fin de mitigar los síntomas de trastornos motores como la enfermedad de Parkinson. La ECP actúa como si fuera un marcapasos para el cerebro, transmitiéndole a este impulsos eléctricos. Estas tecnologías suelen denominarse *neurotecnologías invasivas o implantables*.

Figura 3.
Estimulación cerebral profunda (neurotecnología implantable)

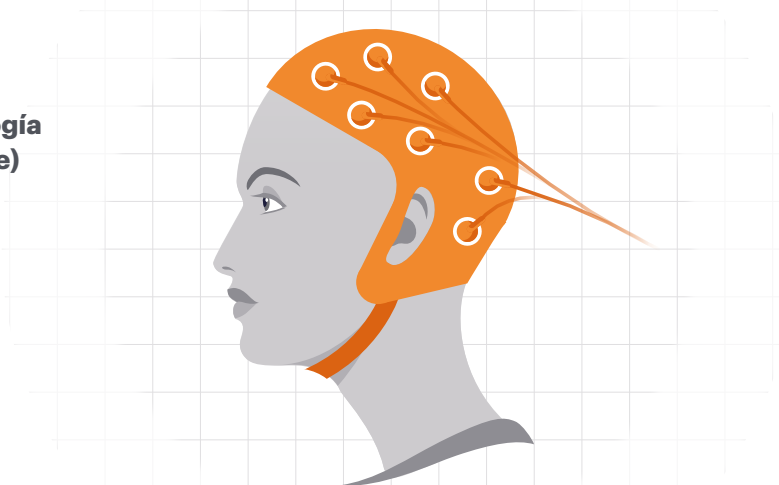


Fuente de la imagen: Digital Future Society basada en Cavagnoli 2023

Otras neurotecnologías, sin embargo, no requieren cirugía. Se suelen denominar *no invasivas* o *no implantables*.⁴ En lugar de someterse a una operación, los usuarios se sientan dentro de una máquina, como sucede por ejemplo con las imágenes por resonancia magnética (IRM). Las máquinas de IRM se utilizan a menudo en los hospitales para visualizar el cuerpo, pero estos dispositivos están especializados en medir la actividad cerebral “funcional”, por lo que reciben el nombre de IRMf (imagen por resonancia magnética funcional). Las IRMf son una herramienta clave que permite a los investigadores entender cómo funciona el cerebro mientras alguien lleva a cabo una tarea. La tecnología de IRMf se emplea habitualmente al planificar operaciones en el cerebro, a fin de localizar los puntos óptimos en los que implantar electrodos o incluso al preparar la extirpación de tumores cerebrales.

Algunas neurotecnologías no implantables se pueden llevar puestas (es decir, son de tipo wearable). A modo de ejemplo, las de electroencefalograma (EEG) se suelen integrar en dispositivos wearable. Los gorros de EEG, por ejemplo los de tela desarrollados por empresas como Neuroelectrics, llevan integrados varios sensores de EEG para medir la actividad cerebral. Esos gorros cuentan también con una batería para suministrar corriente eléctrica sin necesidad de una operación como la de la estimulación cerebral profunda. Actualmente, se están estudiando las posibilidades de los gorros diseñados por Neuroelectrics para tratar una gran variedad de afecciones, desde la enfermedad de Parkinson en personas mayores hasta la epilepsia en niños.

Figura 4.
Gorro de EEG
(neurotecnología
no implantable)



Fuente de la imagen: Digital Future Society basada en Hope 2012

Entendiendo que las neurotecnologías pueden detectar y estimular el sistema nervioso mediante implantes quirúrgicos o sin ellos, en el siguiente apartado se describen los distintos tipos o categorías de neurotecnologías que intervienen en estas actividades.

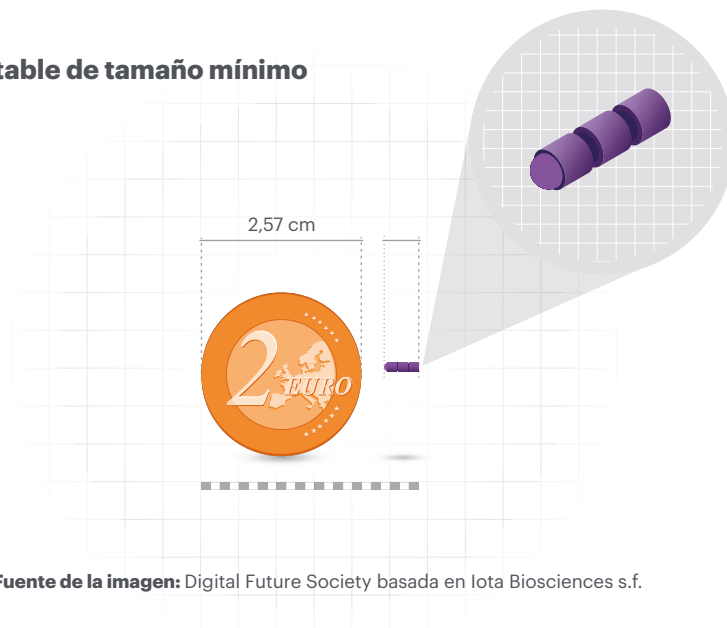
⁴ La distinción entre tecnologías invasivas y no invasivas surge de una consideración física del riesgo: las intervenciones invasivas son las que atraviesan la piel. Sin embargo, en el campo de la neurotecnología, una evaluación de riesgos en términos de tecnologías invasivas o no invasivas podría dar lugar a suposiciones erróneas en cuanto al riesgo que presentan. Por este motivo, dicha división ha sido muy discutida. Por ejemplo, un gorro que estimule el cerebro a través del cráneo, aunque no requiera implantación quirúrgica, puede conllevar riesgos significativos, así como afectar a la estructura y el funcionamiento del cerebro de manera similar a los dispositivos implantables.

Neurotecnologías invasivas versus implantables

Cabe destacar que la neurotecnología también puede complicar las evaluaciones de riesgos de seguridad. El primer factor que se suele considerar a este respecto en las tecnologías biomédicas es en qué medida es invasivo su procedimiento; por ejemplo, si requiere perforar la piel con una inyección o una operación quirúrgica completa con anestesia. Los dispositivos implantables requieren conocimientos médicos especializados y, a menudo, los cirujanos tienen que abrir el cráneo para colocar los electrodos. Se suele asumir que el riesgo es mayor con los dispositivos implantables que con los no implantables. Sin embargo, aunque los segundos no requieren cirugía, sus efectos pueden ser bastante invasivos. Por ese motivo, en este informe se emplea el término *no implantable*, más preciso que *no invasivo*.

Además, a medida que evolucione la neurotecnología, es posible que la diferencia entre ambos conceptos se difumine aún más con las nuevas metodologías. Hay un área emergente que se considera a medio camino entre las tecnologías implantables y las no implantables: las tecnologías *mínimamente invasivas* (Gaudry et al. 2021). Los investigadores prevén que continuará la tendencia de desarrollar tecnologías cada vez más pequeñas, de modo que las que antes requerían un procedimiento más complicado pasen a integrarse en dispositivos electrónicos inyectables o inhalables. Más adelante, estas tecnologías podrían modularse desde el exterior mediante estimulación magnética transcraneal (EMT), estimulación eléctrica transcraneal (EET) o ultrasonidos focalizados (Patch 2021).

Figura 5.
Tecnología implantable de tamaño mínimo



Fuente de la imagen: Digital Future Society basada en Iota Biosciences s.f.

Tipos de neurotecnologías

Las neurotecnologías se suelen agrupar según sus funciones y capacidades, es decir, según cómo **detectan** la actividad cerebral, la **modifican** o **permiten transmitirla mejor**, con frecuencia a otros dispositivos externos.

IEEE brain clasifica las neurotecnologías en tres grandes grupos:⁵

- Tecnologías de neuroimagen, que detectan la actividad cerebral
- Tecnologías de neuromodulación, que pueden modificar la actividad cerebral
- Neuroprótesis e interfaces cerebro-máquina (ICM), que posibilitan la actividad cerebral o la transmiten a otros dispositivos externos

A pesar de esta clasificación, es importante señalar que dichas tecnologías habitualmente se usan juntas al aplicarlas en contextos médicos o de investigación. Por ello, el objetivo de estas categorías es, más bien, explicar mejor las características de las neurotecnologías que se están desarrollando e implementando actualmente.

Las **tecnologías de neuroimagen** pueden detectar la actividad del cerebro y, a menudo, la convierten en representaciones visuales de ondas eléctricas (por ejemplo, con EEG) o incluso en imágenes coloreadas de las estructuras cerebrales (por ejemplo, con IRMf).

Estas tecnologías se utilizan con frecuencia en la práctica médica habitual. Uno de estos métodos es el electroencefalograma (EEG), con el que se fijan varios electrodos redondos de pequeño tamaño a diversos puntos del cuero cabelludo. Los gorros de EEG que se utilizan en algunos centros de salud, por ejemplo, permiten evaluar si hay una disfunción en la actividad cerebral durante el sueño o diagnosticar episodios convulsivos. La EEG también se emplea en multitud de centros de investigación y en el ámbito clínico.⁶

Otras tecnologías de neuroimagen, como la imagen por resonancia magnética funcional (IRMf), estiman la actividad del cerebro midiendo el flujo sanguíneo mientras una persona lleva a cabo una tarea. Como se ha indicado más arriba, estas tecnologías se usan en los hospitales para determinar los puntos óptimos en los que se deben realizar las operaciones en el cerebro. Pero la IRMf también es una herramienta de investigación útil para entender mejor el funcionamiento cerebral; por ejemplo, para descodificar lo que ha visto o incluso oído el cerebro sin que la persona tenga que expresarlo en palabras. A modo de ejemplo, hace ya más de una década, el neurocientífico Jack Gallant utilizó IRMf para reconstruir imágenes que los participantes del estudio habían visto antes en el laboratorio (Nishimoto et al. 2011).

⁵ La organización de normativas de IEEE es una entidad de referencia que, mediante consensos, ha desarrollado estándares internacionales para diversas tecnologías, desde productos de consumo hasta sistemas de inteligencia artificial. Su categorización de las neurotecnologías puede ser un marco útil de cara a las futuras normas que se desarrollen para las neurotecnologías emergentes.

⁶ Cabe destacar que, aunque esta tecnología existe desde hace un siglo y se usa de forma generalizada, no está optimizada para las personas con cabello rizado y grueso, como los afrodescendientes (Taylor y Rommelfanger 2022).

Reconstrucción de imágenes vistas

En el año 2011, el neurocientífico Jack Gallant y su equipo de laboratorio pidieron a los participantes de un estudio que observaran atentamente varios fragmentos concretos de películas mientras se escaneaba su cerebro con IRMf. La actividad cerebral que se midió cuando vieron los primeros fragmentos se registró en un ordenador. El ordenador fue capaz de aprender a relacionar las formas y los movimientos representados en los fragmentos de esas películas con la actividad cerebral. Asimismo, se entrenó al ordenador con vídeos de YouTube escogidos al azar, para que aprendiera a predecir la actividad cerebral que podría corresponderse con esos vídeos.

A continuación, se utilizó la IRMf de nuevo para medir la actividad del cerebro mientras los participantes veían otros fragmentos cinematográficos. A partir de la actividad cerebral observada en esos segundos fragmentos, el programa informático seleccionó varias partes de diferentes imágenes procedentes del conjunto de datos de vídeo con el que fue entrenado, para reconstruir imágenes borrosas similares a las que habían visto los participantes (Nishimoto et al. 2011).

Una de las aplicaciones que podría tener esta tecnología en el futuro sería la de lograr comunicarse con quienes no son capaces de hablar; por ejemplo, con personas que han sufrido un ictus o están en coma. Por otra parte, el trabajo de Gallant suscitó un amplio debate en la sociedad, entre los responsables políticos y en el ámbito académico, por sus posibles implicaciones judiciales. Profundizaremos en ello en la sección sobre las implicaciones éticas, jurídicas y sociales.

Las **tecnologías de neuromodulación** son dispositivos que actúan sobre los nervios que parten del cerebro o de la médula espinal con el fin de alterar o modular la actividad de esos nervios.⁷ Estas neurotecnologías se conectan al cerebro o la médula espinal para administrar estímulos eléctricos. También se denominan *neuroestimulación*.

Una de las técnicas más antiguas de neuromodulación es la terapia electroconvulsiva (TEC) para tratar la depresión mayor. Con la TEC, primero se anestesia a los pacientes y, luego, tras colocarles electrodos en la cabeza, se hacen pasar corrientes eléctricas a través de su cráneo. Aunque la TEC puede resultar útil, se está experimentando con otras técnicas de neuromodulación más modernas, como la estimulación cerebral profunda (ECP), para tratar la depresión resistente al tratamiento. A diferencia de la TEC, la ECP requiere la implantación quirúrgica de un electrodo largo en estructuras profundas del cerebro y, durante ese procedimiento, los pacientes a menudo están despiertos. De ese modo, como pueden comunicarse con los cirujanos, es posible colocarles los electrodos con más precisión, teniendo en cuenta la variabilidad individual de las estructuras del cerebro. La ECP ya es una opción habitual para reducir los temblores en pacientes con enfermedad de Parkinson.

⁷ Un recurso útil de la International Neuromodulation Society se puede encontrar en su sitio web (<https://www.neuromodulation.com/about-neuromodulation>).

Más recientemente, se ha aprobado el uso de ECP para trastornos psiquiátricos como el trastorno obsesivo-compulsivo (TOC) grave.⁸ Aunque tecnologías como la ECP han brindado enormes beneficios terapéuticos, en un pequeño número de casos los pacientes experimentan cambios drásticos indeseados de su personalidad, lo que ha suscitado preocupación por los riesgos para la identidad de las personas que pueden conllevar las intervenciones cerebrales (Wilt et al. 2021).

La estimulación cerebral profunda (ECP)

En el 2004, se dio a conocer el sorprendente caso de un paciente de 62 años que recibió tratamiento con ECP para paliar los síntomas de la enfermedad de Parkinson que padecía. El paciente empezó a experimentar un síndrome maniaco tras el tratamiento y, en tres años, se arruinó debido a ello (Leentjens et al. 2004). El síndrome coincidía con los periodos en que el estimulador estaba activado, y se interrumpía si se desactivaba la estimulación. Los síntomas del paciente eran tan graves que, cuando el estimulador estaba apagado, no era capaz de levantarse de la cama, pero cuando se encendía el dispositivo sufría ese síndrome maniaco, por lo que no se le podía permitir que llevara una vida independiente.

Al final, el paciente decidió dejar activado el estimulador, aunque eso implicara la obligación de vivir en un centro psiquiátrico. Los casos como este, aunque son poco frecuentes, han llevado a investigadores, responsables políticos y académicos del ámbito de la ética médica a cuestionar si la normativa y los protocolos vigentes son suficientes para que los pacientes sean capaces de tomar decisiones, dados los cambios que pueden provocar en los rasgos fundamentales de su personalidad estas intervenciones cerebrales.

Otro tipo de tecnología de neuromodulación es la estimulación eléctrica transcraneal o EET. Esta tecnología puede alterar la actividad eléctrica del cerebro transmitiendo una corriente entre un electrodo positivo y uno negativo colocados en la cabeza. Algunas empresas del sector clínico, como Neuroelectronics, han integrado la EET en gorros de EEG para intentar detectar la actividad eléctrica problemática y, en esos momentos, suministrar una corriente para reducir los episodios convulsivos en niños.


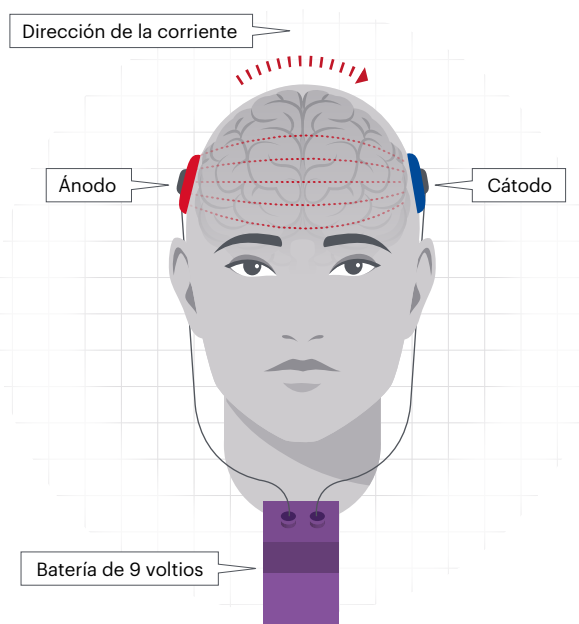
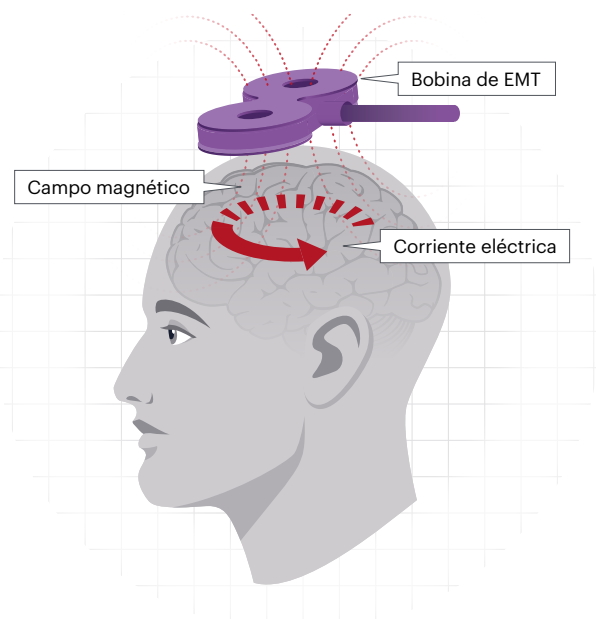
⁸ La ECP ha recibido la aprobación de la Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (FDA) acogiéndose a una exención de los requisitos generales para tratar enfermedades raras, y ha obtenido el marcado CE de conformidad con la normativa de la UE para su uso en casos de trastorno obsesivo-compulsivo grave resistente al tratamiento. Con este tipo de aprobación reglamentaria, se puede usar este dispositivo en los pacientes mencionados. Sin embargo, se trata de una tecnología demasiado inmadura como para que las sociedades médicas profesionales hayan elaborado unas pautas consensuadas.

Hay ciertos tipos de EET, como la estimulación transcranial con corriente continua (tDCS por sus siglas en inglés), que son más sencillos. Las versiones de esta tecnología que se venden directamente a los consumidores, como los estimuladores de tDCS, han llamado la atención de una comunidad de usuarios dispuestos a experimentar con ella, puesto que su composición es bastante simple: para usar el dispositivo, solo hay que empapar unas esponjas en una solución salina y conectar los cables a una batería. Se hablará en mayor detalle de esta tecnología en el apartado sobre los usos no médicos de la neurotecnología.

Figura 6.
EMT (A) y tDCS (B)


6. A
Estimulación magnética transcranial (EMT)

Estimulación mediante un dispositivo que emplea una bobina magnética en forma de ocho para modificar la actividad cerebral.

6. B
Estimulación transcranial con corriente continua (tDCS)

Tipo específico de estimulación eléctrica transcranial (EET) que emplea una corriente constante y unidireccional, similar a la de las baterías que alimentan los vehículos eléctricos, en lugar de la corriente alterna que suele usarse en las tomas eléctricas de los hogares. También existe la estimulación transcranial con corriente alterna (tACS).

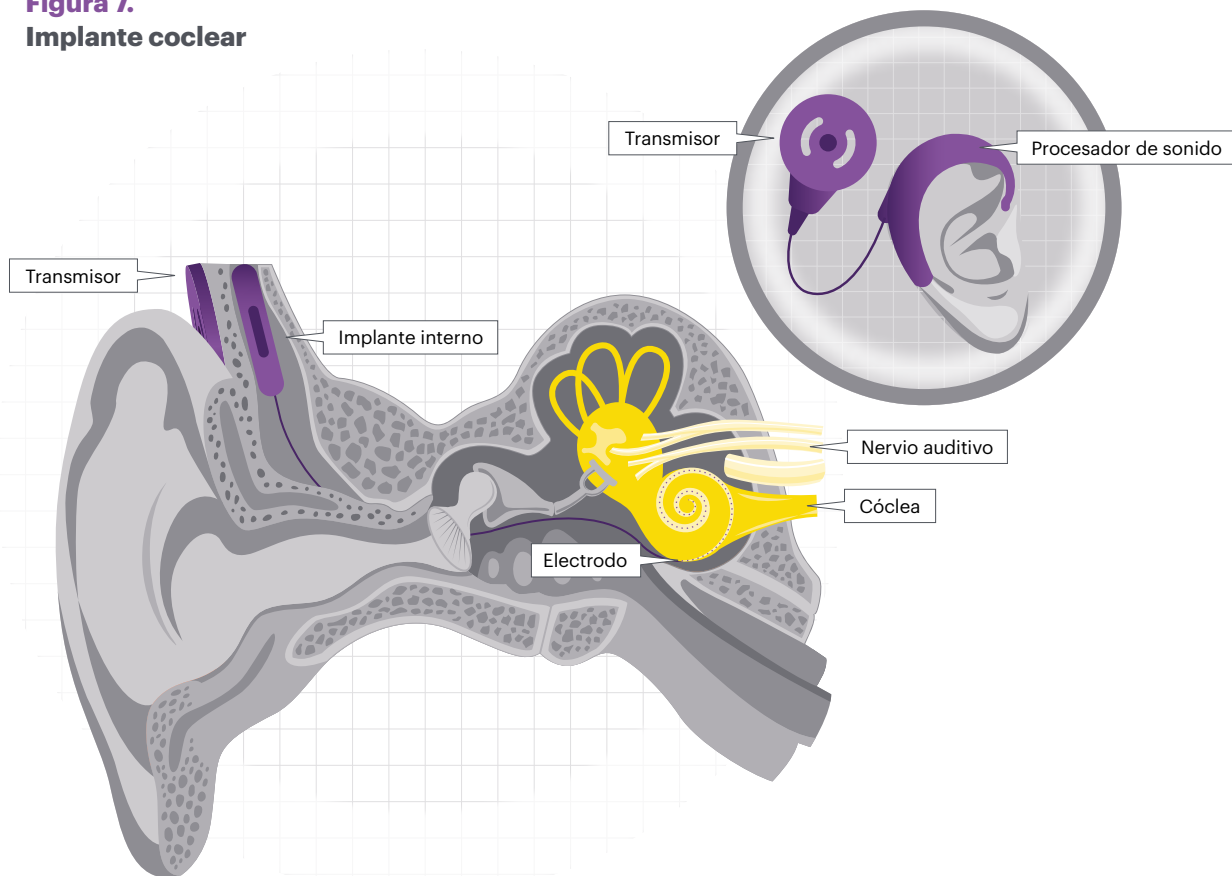


Fuente de las imágenes: Digital Future Society basadas en Kim et al. 2020

Las **neuroprótesis** son dispositivos que pueden reemplazar e incluso ampliar funciones del sistema nervioso (Bavishi et al. 2018). Por ejemplo, las neuroprótesis pueden sustituir o restablecer las capacidades sensoriales de los pacientes, como la visión, o lograr que se muevan pacientes con lesiones medulares (Kasten et al. 2015).

Una de las primeras neuroprótesis que se inventaron, y también una de las más comunes, es el implante coclear, que está formado por unos electrodos implantados en el nervio auditivo. Este implante actúa como una prótesis para transmitir el sonido y puede hacer que las personas que han perdido la audición vuelvan a oír. Otra neuroprótesis más moderna es la prótesis de retina, cuyo uso se aprobó por primera vez en la UE en el año 2003, y en Estados Unidos en el 2013. La prótesis de retina envía señales eléctricas a determinadas partes del cerebro que controlan la visión y, así, aportan sensibilidad a la luz y al movimiento, lo cual ayuda a los pacientes a recuperar cierto grado de independencia.

Figura 7.
Implante coclear



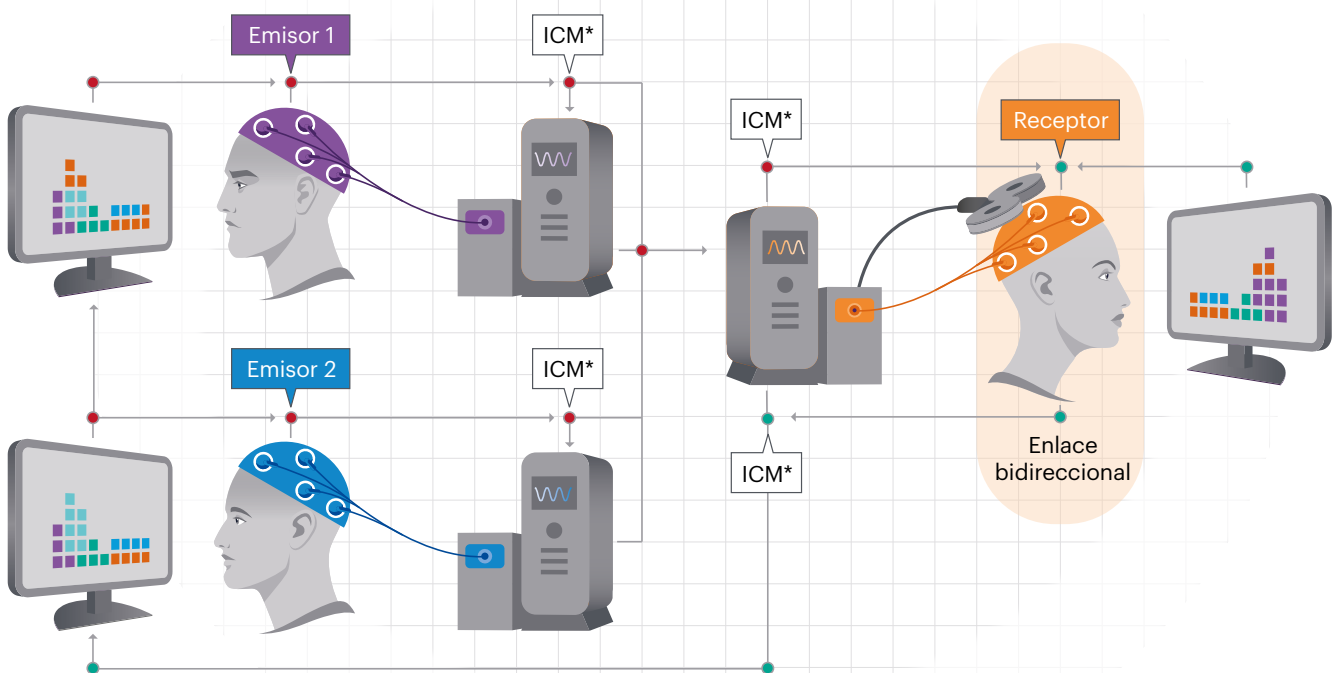
Fuente de la imagen: Digital Future Society basada en Medical gallery of Blausen Medical 2014

Algunas prótesis del sistema nervioso, que reciben el nombre de **interfaz cerebro-máquina** (ICM) (también llamadas *interfaz cerebro-ordenador* o BCI por sus siglas en inglés), permiten la comunicación con dispositivos externos como un brazo robótico o el cursor de un ordenador. Las ICM son, fundamentalmente, tecnologías de comunicación que conectan el cerebro a un dispositivo externo (Trimper et al. 2014; Müller y Rotter 2017). Se pueden controlar con electrodos implantados mediante cirugía o a través de sensores de dispositivos wearable, como los de EEG.

Un ejemplo de ICM implantable es la matriz de electrodos, una pequeña red formada por numerosos electrodos que se implanta en la superficie del cerebro. Dichos electrodos estimulan y registran la actividad del cerebro, por lo general la de una parte del cerebro asociada al movimiento. Estos electrodos también se han implantado, en diversos experimentos, en el área del cerebro vinculada al movimiento de las cuerdas vocales, para que pacientes con parálisis comunicaran una lista de palabras que habían practicado con solo imaginarse que pronunciaban esas palabras (Moses et al. 2021).

En algunos casos, el cerebro se conecta no solo a un dispositivo, sino también a otro cerebro. Hay investigadores que han utilizado interfaces cerebro-cerebro, también llamadas BrainNet, para descubrir posibles formas de ampliar las capacidades de comunicación y conexión humanas. En el ejemplo que se representa en la Figura 8, los investigadores usaron dispositivos no implantables para intervenir en la comunicación entre varias personas que jugaban a un juego de tipo Tetris (Jiang et al. 2019).

Figura 8.
La arquitectura de una BrainNet



Fuente de la imagen: Digital Future Society basada en Jiang et al. 2019

BrainNet: una interfaz directa entre cerebros

Jiang et al. registraron señales cerebrales de “emisores” que llevaban un gorro de EEG y las enviaron a “receptores” que se encontraban debajo de una bobina magnética de estimulación magnética transcraneal (EMT) que transmitía estímulos focalizados al cerebro del receptor. Los grupos de emisores y receptores, denominados BrainNet, fueron capaces de decidir de forma colaborativa cómo girar las figuras para que encajaran en un juego de rompecabezas (como Tetris®). El experimento no se diseñó con fines clínicos, sino más bien para entender cómo podrían comunicarse estas tecnologías.

Las personas que participaban de la BrainNet estaban en salas separadas y no podían ver ni oír a las demás, ni hablar con ellas. Los emisores que llevaban un gorro de EEG veían una pantalla con un bloque que se movía en la parte superior de la pantalla y la forma en la que debía encajar en la parte inferior, mientras que el receptor solo veía el bloque de la parte de arriba de la pantalla. Los emisores tenían que transmitir al receptor la dirección en la que debía girar el bloque. Los emisores se concentraban en una luz que parpadeaba debajo de la palabra “sí” o en otra situada bajo la palabra “no” que parpadeaba a una frecuencia distinta. Al concentrarse en la luz correspondiente, el EEG podía detectar la actividad cerebral correspondiente a la frecuencia de la luz. A continuación, un ordenador descifraba esta actividad para determinar si la opción elegida era “sí” o “no”. Si era “sí”, la bobina colocada sobre el receptor transmitía un estímulo a su cerebro, por la corteza visual, para que viera un destello.

Además, los investigadores querían saber si el receptor aprendería a identificar al emisor que más acertaba y confiar en él. Para comprobarlo, el sistema de uno de los emisores enviaba a veces una respuesta incorrecta de forma deliberada. Con el tiempo, los participantes aprendieron a identificar al emisor más fiable. De acuerdo con los investigadores, este estudio podría servir como modelo de las redes sociales humanas, en las que las personas tienen que aprender a distinguir entre las fuentes de información fiables y las no fiables.

En este experimento, la comunicación fue extremadamente lenta y la información se transmitió a través de un servidor diseñado y utilizado en exclusiva para la prueba. Pero, si se logra acelerar el proceso o incluso conectarse a un servidor normal y acceder y operar en Internet de manera fácil, se puede especular con muchas posibles aplicaciones de esta tecnología, desde los videojuegos hasta el control remoto en entornos laborales o zonas de guerra (Trimper et al. 2014; Jiang et al. 2019). En general, los investigadores no están pensando en las implicaciones de que se generalice su uso más allá del laboratorio, pero si la tecnología mejora, surgirán retos éticos que habrá que abordar de manera proactiva (véase la segunda parte de este informe).

Contextos de uso médico

Los principales avances, inversiones y aplicaciones de la neurotecnología se han centrado, con diferencia, en resolver problemas médicos (Brunner et al. 2015; SharpBrains 2020). Hace décadas que se aprueba el uso de neurotecnologías en contextos médicos. Ya se han descrito varias de ellas más arriba: los implantes cocleares para recuperar la audición, la estimulación cerebral profunda (ECP) para mitigar los síntomas de la enfermedad de Parkinson (Harmsen et al. 2020) y la estimulación magnética transcraneal (EMT) para tratar la depresión (Hutton 2014; Cohen et al. 2022). Como se ha observado en otras tecnologías emergentes, el desarrollo tecnológico a menudo comienza con fines médicos y, después, cuando las tecnologías se vuelven más seguras y eficaces, llegan al uso y disposición del público general (Robinson et al. 2022).

Ya en la actualidad se están explorando algunas neurotecnologías para ampliar o mejorar las experiencias de las personas, aplicándolas en videojuegos y actividades de bienestar, así como en contextos más polémicos, como en lugares de trabajo o en el sector militar. Algunas empresas están a caballo entre los usos médicos y los no médicos. Por ejemplo, empresas de neurotecnología como Bitbrain han desarrollado dispositivos de EEG que se pueden utilizar para ayudar a pacientes que han sufrido un ictus a manejar una silla de ruedas y, al mismo tiempo, desarrollan modelos más sencillos de esas tecnologías para que las compañías de marketing midan la actividad cerebral asociada a las reacciones emocionales que provocan los productos de consumo.

En este apartado se recogen varios ejemplos de uso de la neurotecnología en el ámbito médico. Las neurotecnologías médicas se están usando en la investigación básica para entender mejor las enfermedades, pero también para reemplazar, restablecer o ampliar las capacidades de los seres humanos en una serie de ámbitos, como se describe a continuación (no se trata de una lista exhaustiva).

Diagnóstico

Las neurotecnologías de imagen se utilizan para evaluar y diagnosticar enfermedades. Por ejemplo, hace mucho tiempo que los EEG forman parte de los procedimientos habituales para diagnosticar trastornos del sueño y epilepsia, e incluso para distinguir entre los trastornos de la conciencia (como el coma) y la muerte cerebral.

Enfermedades cerebrales asociadas al envejecimiento: un uso más reciente de la neurotecnología es la generación de otro tipo de imágenes del cerebro, como la tomografía por emisión de positrones (TEP), que consiste en inyectar sustancias radiactivas en el flujo sanguíneo para observar los marcadores de ciertas enfermedades cuando esas sustancias llegan al cerebro. La TEP se usa con el fin de confirmar patrones de degeneración cerebral característicos de la enfermedad de Parkinson. Asimismo, hace poco se ha empezado a explorar el uso de imágenes de TEP para identificar las fases de la patología del cerebro en pacientes con la enfermedad de Alzheimer. Se espera que, al identificar esta afección en etapas tempranas, los investigadores puedan desarrollar mejores intervenciones para las primeras fases de la enfermedad y, así, ralentizarla y retrasar la aparición de sus síntomas (Cassinelli Petersen et al. 2022).

Sustitución

Deficiencias visuales o auditivas: como se ha mencionado más arriba, si bien los implantes cocleares ya son de uso común en el ámbito médico, se están estudiando nuevos implantes para sustituir tejidos dañados, como los implantes de retina o las prótesis de retina (Finn et al. 2018; Strickland y Harris 2022), que prometen ofrecer una “visión artificial” para restablecer esta capacidad.

Recientemente, varios pacientes con implantes de retina que ya están disponibles en el mercado (Strickland y Harris 2022) y pacientes con un implante cerebral experimental para la epilepsia (Hamzelou 2023) perdieron acceso a sus dispositivos cuando las empresas que los habían fabricado quebraron o fueron adquiridas por otra compañía. En ambos casos, los pacientes afirmaban que esos implantes eran fundamentales para su día a día o, incluso, una parte esencial de quiénes son, por lo que hay quien considera este problema un nuevo tipo de violación de los derechos humanos. La reivindicación de que se definan estos nuevos derechos se abordará en la segunda parte de este informe.

Deficiencias funcionales de la médula espinal y parálisis: se han empleado dispositivos no implantables para ayudar a las personas con lesiones medulares a caminar de nuevo. Se colocan electrodos en la piel de las zonas cercanas a la médula espinal para que el tejido dañado responda mejor a las señales del cerebro. De ese modo, es posible activar los músculos para mover el cuerpo. Existe también un dispositivo similar que va integrado en un traje robótico y es capaz de sortear la médula lesionada. Por ejemplo, cuando la persona que lleva el traje decide moverse, este detecta las señales del cerebro que se envían al músculo de la pierna a través de la piel que rodea a ese músculo. Así, dichas señales se utilizan para controlar las prótesis acopladas a las piernas del paciente (Sczesny-Kaiser et al. 2015).

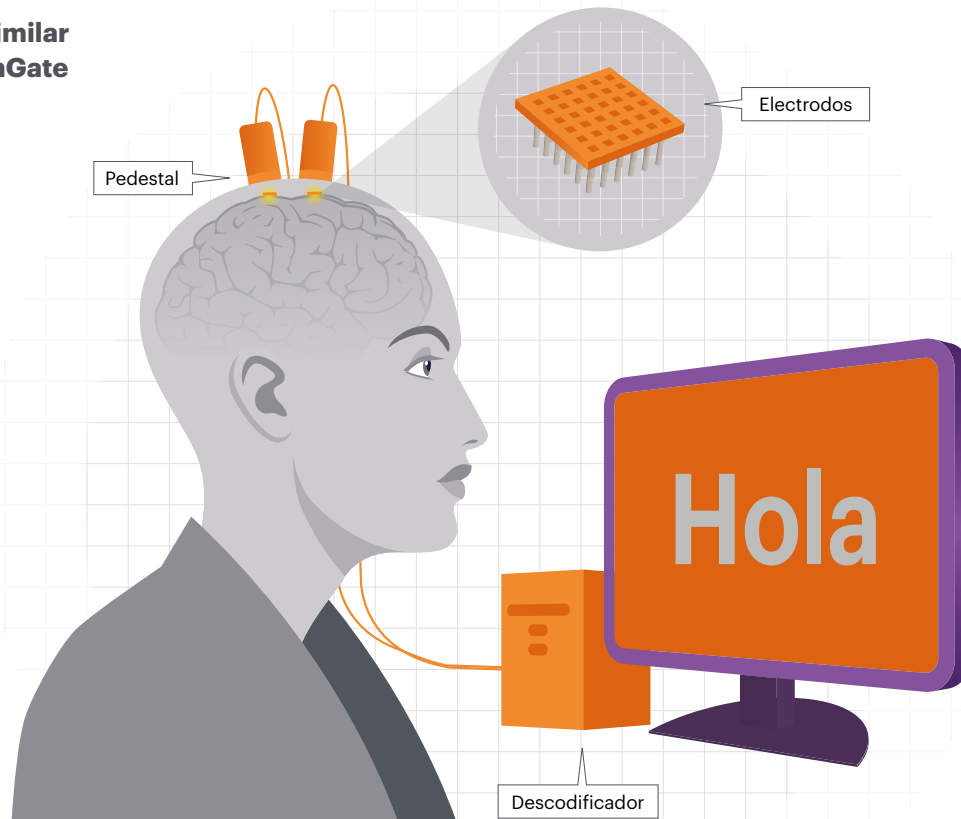
Empresas como Bitbrain han desarrollado un sistema de EEG wearable no implantable para ayudar a los pacientes con lesiones de la médula espinal. El dispositivo de EEG de Bitbrain se integra con un dispositivo que estimula los músculos de los brazos. Las señales cerebrales sortean la médula dañada y se conectan al dispositivo de estimulación muscular para potenciar los movimientos de los brazos y las manos, y lograr que los pacientes puedan agarrar objetos.

Asimismo, al igual que la ECP se puede considerar una especie de marcapasos para el cerebro, se están desarrollando marcapasos para la médula espinal con el fin de ayudar a los pacientes con lesiones medulares. Hay pacientes que han conseguido volver a andar gracias a implantes medulares, que ayudan a que las señales del cerebro lleguen a la médula espinal, hasta cuatro años después de producirse la lesión (Wagner et al. 2018).

Restablecimiento y mejora

Parálisis y pérdida de capacidades de comunicación o movimiento: también existen dispositivos que se implantan en la superficie del cerebro (por ejemplo, en la corteza motora) y que ayudan a las personas que han perdido el habla o capacidades motrices, o que han sufrido un ictus o una lesión, de modo que puedan mover un cursor. Por ejemplo, un dispositivo implantable tan pequeño como una moneda, llamado BrainGate, es capaz de hacer que los pacientes escriban con un teclado electrónico o utilicen un brazo robótico para agarrar objetos (Vilela y Hochberg 2020).

Figura 9.
Sistema similar
al de BrainGate



Fuente de la imagen: Digital Future Society basada en Balougador 2007

El uso de neurotecnologías en este campo ha abierto una carrera especialmente competitiva para el sector privado. Varias empresas emergentes pioneras, como la española INBRAIN Neuroelectronics o las estadounidenses Neuralink y Synchron, están llevando a cabo ensayos clínicos con el fin de descodificar el cerebro humano y restablecer la capacidad de comunicarse y moverse en pacientes que han sufrido enfermedades o lesiones significativas. Elon Musk, fundador y director general de Neuralink, aspira a que esta tecnología avance hasta crear un dispositivo que pueda adquirir la población general para mejorar sus capacidades.

Trastornos psiquiátricos: a medida que la ECP se ha ido consolidando y percibiendo desde el punto de vista clínico y científico como un procedimiento seguro, ha empezado a explorarse su uso en diversas afecciones, como la depresión resistente al tratamiento, el síndrome de Tourette, las adicciones, la anorexia nerviosa y la esquizofrenia (Harmsen et al. 2020). La ECP también se ha empleado en niños para tratar la distonía⁹ y se está estudiando su aplicación en otros trastornos neurológicos pediátricos como el TOC infantil (Muñoz et al. 2021).

⁹ La distonía es un trastorno que provoca la contracción simultánea e involuntaria de una serie de músculos y, a menudo, produce dolor, giros involuntarios o movimientos repetitivos.

Trastornos varios: una intervención que existe desde los años sesenta, llamada *neurofeedback*, se está mejorando ahora gracias a los avances en las neurotecnologías. El neurofeedback es una técnica en el que se registra la actividad del cerebro mediante EEG o IRMf, para obtener representaciones en tiempo real de dicha actividad (por ejemplo, en forma de imágenes) y enseñar a los pacientes a controlarla concentrándose o relajándose de manera que cambien esas imágenes (Hampson et al. 2020; Tursic et al. 2020). En este procedimiento, se pide a los pacientes que modulen su actividad cerebral hasta un nivel determinado, a menudo mediante una interfaz similar a la de un videojuego que representa su actividad cerebral en tiempo real.

Ahora bien, el neurofeedback sigue siendo cuestionado, ya que hay investigadores que consideran que los estudios de esta tecnología no están bien contrastados y atribuyen sus resultados al efecto placebo. Aun así, el neurofeedback continúa interesando al público general y se ha abierto camino entre los consumidores (Wexler et al. 2020), de lo cual hablaremos con mayor detalle en el apartado sobre usos no médicos.

Contextos de uso no médico

La mayoría de las neurotecnologías que han llegado al mercado de consumo fueron diseñadas inicialmente con fines médicos. Por lo general, cuando las nuevas tecnologías permiten tratar una enfermedad grave, se aceptan mayores riesgos. Sin embargo, con el tiempo, como se ha mencionado anteriormente, la mejora de la eficacia y la seguridad de esas tecnologías hacen que se toleren mejor también en contextos no médicos. Además, su aplicación continua en entornos médicos suele ir de la mano de una mejora de dichas tecnologías para hacerlas más pequeñas, eficientes, rentables y accesibles (Gaudry et al. 2021).

Por lo pronto, las neurotecnologías, sobre todo las que no requieren implantación quirúrgica, se están abriendo camino en el ámbito no médico. Se están comercializando neurotecnologías no implantables, como versiones simplificadas de dispositivos de EEG o estimulación eléctrica transcraneal (EET) que se pueden llevar puestas, para distintos usos, como videojuegos, nuevas maneras de trabajar, automejora y bienestar, educación, defensa y marketing.

Videjuegos

Los consumidores del sector de los videojuegos siempre se han mostrado dispuestos a adoptar enseguida las nuevas tecnologías, incluido el uso de diademas de EEG, por lo que se ha desarrollado este tipo de diademas, capaces de registrar e interpretar la actividad cerebral y vincularla con otros dispositivos de juego, como drones o gafas de realidad virtual (RV). Con estas interfaces, cuando el ordenador reconoce actividad eléctrica del cerebro que se corresponde con algún tipo de concentración o atención, se puede producir una acción en el juego, como mover un objeto en un entorno virtual o un dron en el mundo real.

Realidad virtual controlada por el cerebro

En el 2017, la start-up estadounidense Neurable colaboró con la empresa española de gráficos de RV estudiofuture para crear el primer “juego de RV controlado por el cerebro”, llamado Awakening (Strickland 2017). El dispositivo está formado por unas gafas de RV unidas a una correa para la cabeza que llevaba integrados siete sensores de EEG. En este juego, que se controla sin usar las manos, el usuario se concentra en agarrar un objeto del juego, lo que crea el efecto de estar moviéndolo en el entorno virtual por telequinesis.

El juego no logró atraer a un público lo suficientemente grande. Tanto los inversores como los posibles clientes querían un producto que pudiera medir y hacer más cosas, como analizar el nivel de atención y de emoción, y ofrecer nuevas formas de usar el cerebro para controlar dispositivos e interactuar con ellos. En este proceso, la empresa señala que captó el interés de compañías que querían usar esta tecnología para formar a sus empleados en entornos virtuales seguros; por ejemplo, para quienes trabajan en entornos peligrosos, como los electricistas (Molnar 2020). Esta tecnología también despertó el interés de quienes querían mejorar la formación y el rendimiento del personal militar. Hablaremos de estos tipos de usos más adelante.

Entorno de trabajo

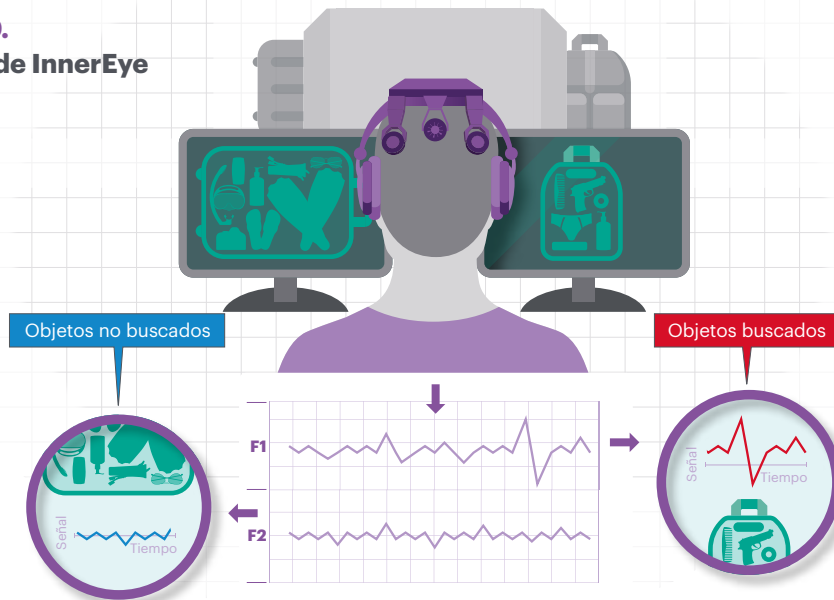
Además de que los dispositivos de EEG se pueden usar para formar a los empleados ayudando a que participen de manera activa y se concentren en escenarios de realidad virtual, como se ha explicado más arriba, las neurotecnologías también interesan a las empresas por su capacidad de registrar la actividad cerebral de manera pasiva, sin que el usuario tenga que hacer nada. Por ejemplo, sin necesidad de que el usuario pulse ningún botón ni interactúe con la tecnología.

En ese sentido, hay dispositivos wearable que registran la actividad del cerebro de manera pasiva mientras el usuario realiza tareas laborales del día a día y, al detectar ciertas actividades (por ejemplo, patrones que indiquen que el empleado podría estar cansado o estresado), avisarle mediante señales visuales o sonoras. Así, esa persona modifica su conducta si es necesario. De este modo, se cree que la tecnología puede ayudar a mejorar el comportamiento de las personas en el trabajo.

Ya se usan habitualmente dispositivos de EEG para mejorar la seguridad laboral: vigilan la actividad cerebral y avisan a los empleados que puedan estar cansados o que presenten señales cerebrales asociadas a la falta de concentración. Los sectores de la construcción, el transporte por carretera y la aviación ya están implementando neurotecnologías de este tipo en todo el mundo, y ahora se están estudiando también los usos de la neurotecnología en trabajadores de oficina, incluidos los que teletrabajan. Asimismo, se están desarrollando algunas neurotecnologías que no se limitan a detectar la excitación o las distracciones; por ejemplo, el sistema de InnerEye emplea señales de EEG registradas en los cerebros de una serie de expertos para entrenar o guiar a modelos de IA, con una especie de prótesis de toma de decisiones (Ackerman y Strickland 2022).

Asistencia a la seguridad de InnerEye

Figura 10.
Sistema de InnerEye



Fuente de la imagen: Digital Future Society basada en Ackerman y Strickland 2022

La start-up israelí InnerEye está colaborando con varios aeropuertos internacionales para ayudar a los agentes de seguridad a identificar de manera más rápida y precisa los objetos de los equipajes que pasan por los escáneres de rayos X. InnerEye afirma que las personas que han utilizado su dispositivo de formación basada en EEG son capaces de detectar mejor los objetos anómalos o sospechosos que hay en las maletas.

Normalmente, el trabajo de los agentes de seguridad consiste en observar imágenes de rayos X representadas brevemente en las pantallas, que reflejan el contenido de innumerables piezas de equipaje. Por lo general, durante esa labor, el cerebro tiene que procesar las imágenes de rayos X: primero detecta la imagen y, luego, determina si el objeto observado es inusual. A continuación, el cerebro procesa la decisión de actuar o no y, en caso afirmativo, qué acción realizar, como pulsar un botón o decidir qué decir. Con el tiempo, este proceso o “carga cognitiva” puede provocar fatiga, e InnerEye intenta reducir la carga cognitiva sorteándola.

Al llevar en la cabeza el dispositivo de InnerEye, los encargados de la seguridad pueden observar las imágenes de manera pasiva sin tener que concentrarse en buscar anomalías. El sistema de IA de InnerEye clasifica la respuesta cerebral del trabajador asociándola a diversas imágenes de rayos X y le avisa si detecta una señal de haber visto algo inusual que requiera más atención. Al reducir la carga cognitiva, esa persona es capaz de mantenerse concentrada más tiempo y observar más imágenes. InnerEye denomina a este proceso “toma de decisiones híbrida”, ya que combina los conocimientos especializados de las personas con la IA.

Automejora y bienestar

En el mercado existen dos tipos de tecnologías para la automejora: las de detección de la actividad del cerebro y las de estimulación del cerebro. Empresas como la suiza IDUN y la estadounidense Emotiv han respondido a la demanda de un mercado en expansión desarrollando dispositivos de EEG capaces de medir la actividad cerebral desde el oído interno. IDUN los denomina “auriculares de detección cerebral”, y en el futuro podrían llegar a integrarse en audífonos y otros aparatos de audio personales. Según el libro blanco de IDUN, la popularización de estos auriculares ha presentado una oportunidad de integrar numerosos tipos de sensores para el seguimiento de la salud, de manera similar a lo que está ocurriendo con los relojes inteligentes (IDUN s.f.).

Se ha explorado la posibilidad de que la estimulación transcraneal con corriente continua (tDCS), un tipo de EET, logre mejorar la eficacia del entrenamiento físico y potencie los efectos del ejercicio; por ejemplo, para aumentar la masa muscular (Wang et al. 2022) o mejorar los reflejos y la precisión de diversas tareas (Davis y Smith 2019; Feltman et al. 2020). Sin embargo, hay que tener en cuenta algunas advertencias, como las relativas al efecto placebo (Schambra 2014) o los costes negativos que se observan en otras funciones cognitivas al mejorar ciertas capacidades (Sarkar et al. 2014).

El mercado de consumo de la automejora no deja de crecer, pese al escepticismo sobre si esas mejoras están demostradas científicamente, y no hay duda de que existe un gran interés por las intervenciones novedosas y asequibles. Las neurotecnologías que pueden adquirir los consumidores, como los dispositivos de tDCS, resultan atractivas por su aparente sencillez, como se ha mencionado previamente. Entre las empresas que venden estos productos de forma directa a los consumidores, está la estadounidense BrainDriver, que ofrece un dispositivo de tDCS acompañado de un manual de instrucciones para colocar los electrodos con determinados fines, como “tomar decisiones menos arriesgadas”, “ser más organizado” o “estar de mejor humor” (BrainDriver s.f.).

Neurofeedback y memoria de trabajo

Bitbrain, una empresa española, ha creado una serie de tecnologías de uso médico y no médico. Entre otras, ha creado una tecnología basada en EEG que se puede utilizar en un sistema de neurofeedback para mejorar la memoria de trabajo (es decir, el tipo de memoria que se usa para recordar la lista de la compra en el supermercado), la atención y la capacidad de hacer varias cosas a la vez. Según afirma esta compañía, ha desarrollado programas de software que acompañan a dichas tecnologías y que pueden contribuir a conservar las capacidades cognitivas al envejecer, así como “mejorar el rendimiento de deportistas, militares o fuerzas especiales” (Bitbrain s.f.).

Educación

Los EEG también se han empleado para monitorizar la actividad cerebral de niños en centros educativos, y se sigue estudiando su uso con nuevos fines en el marco del “aprendizaje personalizado” (Kosmyna y Maes 2019). No obstante, cuando estas tecnologías se utilizaron en el ámbito educativo, la reacción de los progenitores obligó a interrumpir el programa (Standaert 2019).

Usos dentro del aula

En el 2019, BrainCo, una empresa de participación china y estadounidense, implementó sus dispositivos, en forma de banda para la cabeza, con el objetivo de registrar la atención de alumnos de primaria en China. Los niños llevaron los dispositivos donados por la empresa durante varios periodos de 30 minutos seguidos, a lo largo del día, para mejorar su concentración y capacidad de aprendizaje. Los medios de comunicación locales se hicieron eco de la preocupación de los padres por que los dispositivos se usaran para controlar a sus hijos y vulnerar su privacidad. Además, aunque los representantes de la compañía afirmaron que los datos se almacenaron en la base de datos del colegio, los profesores señalaron que esa información se transfirió al servidor de BrainCo. El experimento se suspendió al cabo de un año.

Defensa

Como se ha descrito en los casos anteriores, neurotecnologías como la de InnerEye, que prometen disminuir el tiempo de reacción y la carga cognitiva, han suscitado el interés por este campo en el sector militar, impaciente por colaborar con empresas emergentes de neurotecnología. Del mismo modo, tecnologías que tienen el potencial de usarse en estrategias de neurofeedback para mejorar la memoria o la capacidad de realizar varias tareas a la vez, como las que desarrolla Bitbrain, también pueden servir a los ciudadanos en su día a día, pero son especialmente útiles en entornos de alto riesgo en los que se actúa bajo mucha presión, como los militares.

Otro ámbito en el que tiene mucho sentido usar la neurotecnología, dentro del sector militar, es el control remoto de drones en zonas de guerra. El interés por el uso de dispositivos de EEG para pilotar drones ha llevado a que, desde el 2017, se celebre una carrera anual de drones controlados por el cerebro, la Brain-Drone Race (Brain-Drone Race s.f.). Las neurotecnologías también se podrían aplicar a los militares que hayan sufrido lesiones significativas que hasta ahora les impedían participar en el campo de batalla, de modo que puedan mantener sus habilidades de combate, aunque este uso aún no se está implementando.

Interfaces cerebro-máquina en acción

Hace poco, OpenBCI colaboró con el tecnólogo alemán Christian Bayerlein, activista de los derechos de las personas con discapacidad, y trabajó con entidades de todo el mundo, como la compañía china de ordenadores personales Lenovo, una empresa de RV de Finlandia y compañías de impresión 3D estadounidenses, para que Bayerlein pudiera pilotar un dron con una tecnología de interfaz cerebro-máquina (ICM). OpenBCI, una organización que crea herramientas de código libre para interfaces cerebro-máquina con el fin de que estas tecnologías sean más accesibles, ofrece un producto llamado Neurofly. Desde hace tiempo existe una comunidad internacional de personas muy interesadas en esta tecnología, que adaptan y utilizan los productos de OpenBCI.

Entre sus miembros se encuentra Bayerlein, que sufre una enfermedad degenerativa que impide a su cerebro transmitir señales a los músculos voluntarios. En el vídeo de demostración, se conectan a los músculos de Bayerlein varios sensores que transmiten señales a un programa de software. Dicho programa detecta su concentración para mover esos músculos y la utiliza para accionar diversos botones digitales que, a su vez, controlan un dron (OpenBCI 2023). OpenBCI también ha lanzado hace poco un producto llamado Galea, un dispositivo que combina la RV con funciones de detección cerebral y que se usa de un modo similar.

Marketing

Se han utilizado diferentes neurotecnologías, como los dispositivos para obtener imágenes del cerebro (por ejemplo, IRMf o EEG), en un área de investigación denominada *neuromarketing* o *neurociencia del consumidor* (Balconi y Sansone 2021). Este campo existe desde hace más de veinte años y sigue estudiándose como herramienta de marketing, con el objetivo de entender mejor las preferencias de los consumidores que estos no expresan de forma verbal. Las técnicas de neuromarketing incluyen la medición de la actividad cerebral de las personas mientras ven vídeos publicitarios o leen etiquetas de productos. La idea es que, al medir directamente las señales del cerebro, la información obtenida esté menos sesgada o filtrada que las opiniones que manifiestan los participantes en voz alta o por escrito.

La validez de la información obtenida de esta manera sigue cuestionándose y siendo objeto de controversia, y estas técnicas han llegado a prohibirse en países como Francia (Oullier 2012), pero dicha incertidumbre no ha disminuido el interés por el neuromarketing de las empresas que desarrollan productos de consumo. En España, por ejemplo, hay al menos seis consultorías de neuromarketing que llevan una década en funcionamiento (Núñez-Cansado et al. 2020) y que, principalmente, obtienen información mediante EEG. En otros países, compañías como Coca-Cola emplean abiertamente técnicas de neuromarketing, como mínimo, desde el año 2013.

Neuromarketing: el reto de Coca-Cola y Pepsi

Un experimento de neuromarketing muy conocido es el reto de Coca-Cola y Pepsi, realizado en el 2004 (McClure et al. 2004). Este estudio reveló la importancia del etiquetado a la hora de influir en las preferencias de los consumidores. Los participantes, mientras se escaneaba su cerebro con IRMf, bebieron Coca-Cola o Pepsi, pero no se les comunicó lo que estaban bebiendo. Cuando tomaron la bebida que más les gustó, aumentó la actividad en ciertas partes de los sistemas de recompensa de su cerebro. Los resultados mostraron que alrededor de la mitad prefería Coca-Cola, mientras que la otra mitad se inclinaba más por Pepsi.

Sin embargo, cuando a los participantes se les dijo lo que estaban bebiendo, la proporción de participantes que preferían la Coca-Cola pasó a ser del 75 %. Además, los investigadores observaron que se activaban las partes del cerebro asociadas a la atención, la memoria y la adquisición de hábitos. Los investigadores concluyeron que el cambio en las preferencias expresadas por los participantes y en su actividad cerebral se debía, probablemente, a los recuerdos que tenían de la publicidad y la marca de Coca-Cola.

El interés de los profesionales del marketing por conocer las preferencias inconscientes de los consumidores no es nada nuevo. Sin embargo, estudios como este han inspirado al sector del neuromarketing, y los desarrolladores de productos ven la neurociencia como una ventaja competitiva. Ahora bien, aunque no se ha demostrado científicamente, los expertos en ética temen que esta información obtenida sobre el cerebro se utilice para crear productos a los que los consumidores no puedan resistirse o que generen adicción.

Muchos de los usos más controvertidos de la neurotecnología tienen que ver con este tipo de aplicaciones no médicas. Aunque las aplicaciones médicas sean prioritarias, es probable que estas tecnologías acaben siendo más baratas y seguras, y que adopten interfaces humanas más sencillas que las hagan más accesibles y fáciles de implementar en el mercado de consumo. Por estos motivos, cada vez preocupan más las implicaciones éticas, jurídicas y sociales que conlleva el creciente uso de neurotecnologías en las sociedades de todo el mundo.

2. Principales implicaciones éticas, jurídicas y sociales



La neurotecnología por sí misma cautiva la imaginación, suscitando entusiasmo y miedo a partes iguales al considerarse los diferentes usos de los que se ha hablado en la sección anterior. No obstante, al profundizar en estas respuestas emocionales, surgen multitud de cuestiones relacionadas con las ideas de seguridad, equidad y justicia, y acerca de una regulación adecuada. En los siguientes apartados exploraremos estas cuestiones en mayor detalle, abordando la creciente preocupación por la neurotecnología, algunos de los dilemas éticos que presenta y cómo se están elaborando pautas de orientación y reglamentos para tratar de dirigir el desarrollo de esta tecnología en consonancia con los retos que plantea.

Creciente preocupación social y política por la neurotecnología

Es importante reiterar que las neurotecnologías más sofisticadas tienen que ver con usos clínicos. Sin embargo, en el futuro, otros usos de esas tecnologías pueden llegar a ámbitos no médicos. Uno de los principales temores es que el desarrollo y el uso no regulados de dispositivos comerciales tengan efectos profundos, y tal vez imprevistos, en la sociedad y en la vida de las personas. La neurotecnología, como muchas tecnologías emergentes, también puede amplificar las desigualdades sociales y ofrecer a las corporaciones, los hackers, los Gobiernos y otros actores nuevas formas de manipular a las personas intencionadamente y aprovecharse de ellas, así como generar nuevos riesgos de manipulación involuntaria.

Académicos, científicos sociales, expertos en salud, organizaciones de pacientes y responsables políticos reclaman cada vez más que se tengan en cuenta las cuestiones éticas que plantean las aplicaciones actuales y futuras de la neurotecnología, sobre todo en relación con los dispositivos utilizados con fines no médicos. En las encuestas realizadas a través de Internet a más de 2.000 personas de Alemania, los participantes se mostraron

“moderadamente dispuestos” a usar neurotecnologías y expresaron reservas morales relativas al uso de la neurotecnología para mejorar las capacidades, es decir, a las aplicaciones no médicas (Sattler y Pietralla 2022).

Los encuestados más jóvenes, en general, presentaban una mayor disposición a utilizar neurotecnologías, incluso las que tienen fines de mejora. Ahora bien, en una consulta ciudadana financiada por el Proyecto Cerebro Humano, 2.048 ciudadanos de 20 países europeos revelaron la preocupación pública por que la neurociencia se use con otros fines; por ejemplo, en aplicaciones políticas, de seguridad, de inteligencia o militares (Bådum y Jørgensen 2018). Se observaron tendencias similares en una encuesta a 10.000 estadounidenses: el 56 % afirmó que el uso generalizado de “chips cerebrales” para mejorar las capacidades cognitivas sería negativo para la sociedad, y el 60 % expresó preocupación por la posibilidad de que, a pesar de ello, se les acabe presionando para llevar un chip cerebral (Pew Research Center 2022).

En una encuesta realizada a 100 investigadores sobre ICM de Europa, Asia, Oceanía y Sudamérica, el 61 % de los investigadores afirmaron que las ICM de asistencia no cambian la identidad de los usuarios. Sin embargo, hay numerosas directrices éticas en el campo de la neurotecnología que mencionan problemas morales relacionados con las alteraciones de la personalidad y la identidad al usar neurotecnologías (Yuste et al. 2017; Pham et al. 2018; OECD 2019; Royal Society 2019; Comité Internacional de Bioética de la UNESCO 2021; O’Shaughnessy et al. 2022).

Actualmente, como se ha puesto de relieve en diversos grupos de trabajo internacionales, se necesitan más instrumentos internacionales, pautas de orientación eficaces y mecanismos para implementar las directrices éticas ya existentes (OECD s.f. b; Global Neuroethics Summit Delegates 2018; Pham et al. 2018; Johnson 2020; O’Shaughnessy et al. 2022; Tournas y Johnson 2023). Varios países están estudiando nuevas normativas, que incluyen propuestas de nuevos derechos humanos: los llamados *neuroderechos* (O’Sullivan et al. 2022).

Algunos países se están planteando establecer nuevos requisitos para la obtención de licencias y normas de control de las exportaciones para la neurotecnología (Borman 2021), y otros think tanks del ámbito de las políticas públicas han señalado que puede haber lagunas normativas en la regulación de las neurotecnologías y de los datos adquiridos con ellas o neurodatos (Future of Privacy Forum 2021; Comité Internacional de Bioética de la UNESCO 2021; Regulatory Horizons Council UK 2022).

Chile ha sido el primer país en aplicar reformas y crear nuevas medidas de protección constitucionales para los datos adquiridos mediante tecnologías del cerebro, así como para proteger a la ciudadanía frente a las posibles violaciones de derechos humanos que plantea la neurotecnología. Asimismo, España, en su Carta de Derechos Digitales, ha incluido disposiciones específicas sobre la neurotecnología, de las que se hablará en mayor detalle en el siguiente apartado.

Cuestiones éticas que plantea la neurotecnología

El desarrollo tecnológico no es ajeno a los contextos sociales de los que se deriva. La investigación y el desarrollo de la neurotecnología sirven de espejo social, y revelan así nuestra curiosidad y nuestras aspiraciones individuales y colectivas de aprovechar mejor el cerebro humano. Por ejemplo, el Proyecto Cerebro Humano de la UE menciona en su estrategia y visión el objetivo de comprender mejor la conciencia (Human Brain Project s.f.), y en la ficha informativa de la iniciativa estadounidense BRAIN se explica que la misión de este proyecto es entender “la mente humana”. Las nociones de *conciencia* y *mente* tienen profundas raíces culturales y filosóficas (Rommelfanger et al. 2023). Sin duda, tratar de extraer conclusiones de las ciencias del cerebro y, luego, trasladar los resultados a la sociedad resultará complicado desde el punto de vista ético, jurídico y social.

Resumen de las cuestiones éticas

A lo largo de los últimos quince años, se han redactado más de veinte documentos de orientación consensuados que tienen que ver con las neurotecnologías, y han proliferado especialmente en los últimos cinco años. Hace poco, un análisis identificó una serie de temas y cuestiones éticas que aparecían una y otra vez (O’Shaughnessy et al. 2022).

Seguridad: evitar los perjuicios a las personas y garantizar su seguridad debería ser una prioridad al desarrollar e implementar cualquier tecnología, pero es especialmente necesario con las tecnologías emergentes, cuyos riesgos están evolucionando. Dar prioridad a mitigar los riesgos para la seguridad física concuerda con las normas que regulan actualmente el desarrollo y el uso de dispositivos médicos. No obstante, en las directrices dirigidas a la neurotecnología se reclama una consideración más profunda de la seguridad física, y una sensibilidad especial al aplicar la neurotecnología en niños, dado que en esos casos las intervenciones en el cerebro podrían cambiar de forma irreversible el desarrollo cerebral desde la infancia hasta la edad adulta.

Además, hay que tener en cuenta el trasfondo de las controvertidas malas prácticas realizadas en el pasado en el campo de la cirugía cerebral para tratar trastornos mentales, que en los años setenta suscitaron una gran polémica en todo el mundo. En esos casos, hubo adultos que se sometieron a tratamientos en los que la cirugía destruyó partes de su cerebro a causa de la imprecisión de la ciencia y las técnicas empleadas, a menudo con consecuencias graves o incluso letales. Aunque, desde entonces, las intervenciones médicas en el cerebro han mejorado enormemente, aún se están descubriendo los riesgos que conllevan los tratamientos con neurotecnologías emergentes.

Las neurotecnologías dirigidas al público general también pueden plantear problemas de seguridad si no se han sometido a controles. Con frecuencia, las tecnologías orientadas a los consumidores no requieren el mismo grado de garantías en cuanto a seguridad, rigor científico o supervisión posventa que las tecnologías médicas, que pueden requerir nuevas normativas o un control más exhaustivo.

Por otra parte, a medida que conocemos mejor el cerebro, sabemos que desempeña un rol esencial a la hora de generar ciertos rasgos fundamentales de las emociones, la toma de decisiones y la personalidad, y cada vez somos más conscientes de los importantes daños que pueden ocasionar las intervenciones cerebrales. Incluso las neurotecnologías desarrolladas para preservar la seguridad física pueden perjudicar a las personas de maneras no físicas, como se describe en las consideraciones éticas relacionadas con la equidad, la justicia, la privacidad y otras cuestiones “atípicas”, entre ellas la capacidad de decisión y actuación, la autonomía y la identidad, que se describen a continuación.

Equidad y justicia: otro grupo de cuestiones se centra en la equidad y la justicia. Al igual que con la seguridad, las consideraciones relativas a la equidad y la justicia se dan en todos los tipos de tecnologías. Sin embargo, los riesgos y lo que está en juego pueden llegar a ser más graves en el caso de la neurotecnología. Como las neurotecnologías tienen el potencial de modificar la parte más fundamental de la capacidad cerebral de las personas para realizar tareas, algunos grupos internacionales han planteado la cuestión de si crearían desigualdades más específicas o extremas, al haber quienes no tengan acceso a ellas (Global Neuroethics Summit Delegates 2018). Por ejemplo, si llegan a desarrollarse tecnologías de mejora cognitiva, ¿cómo nos protegeremos frente a la falta de acceso —frecuente en las nuevas tecnologías—, que podría privar aún más de sus derechos a determinados países y colectivos, y agravar las desigualdades?

Además, estos usos de las neurotecnologías pueden definir nuevos estándares de lo que se considera normal o más deseable. Los ciudadanos quizás se sentirán obligados a recurrir a estas mejoras como parte de una “nueva normalidad” para mantenerse al día o seguir siendo competitivos. Y, cuando se apliquen esos nuevos estándares, se podría discriminar y penalizar a quienes decidan no aprovechar las tecnologías de mejora. La discriminación es uno de los temas que se analizan al tratar la siguiente cuestión, la privacidad.

Privacidad: en la era actual, caracterizada por el *big data*, la necesidad de prestar atención a la gestión y la protección de los datos es una prioridad para muchos gobiernos. En el caso de los datos cerebrales, también existe una gran preocupación por las posibles infracciones del derecho a la privacidad: algunos grupos han señalado que, dado que los datos cerebrales son especialmente personales y detallados, puede ser cada vez más difícil protegerse frente a la reidentificación. La necesidad de una mayor regulación en esta área se abordará más adelante en este informe.

Las cuestiones relativas a la protección de la privacidad se complican por las múltiples facetas que presentan, así como por las innumerables repercusiones que pueden tener para la libertad individual de las personas las posibles violaciones de la privacidad. Los temores relacionados con la privacidad tienen que ver con diversas cuestiones, entre ellas, factores físicos, informativos, de toma de decisiones y de propiedad (Laurie et al. 2010). En el caso de los datos recogidos mediante neurotecnologías, son especialmente relevantes los riesgos para:

- La privacidad de la información: los datos cerebrales se podrían utilizar o interpretar de forma inadecuada, lo que podría generar discriminación
- La privacidad de las decisiones: las personas podrían perder influencia o control sobre cómo se almacenan, procesan o comparten sus datos cerebrales

- La privacidad de los propietarios: los datos cerebrales podrían considerarse tan personales y sensibles que se entendieran como un tipo de propiedad personal, y hay quienes proponen que se les dé el mismo trato que a la donación de órganos, es decir, que no se puedan comprar ni vender (Wajnerman Paz 2022)

Privacidad y datos cerebrales

Los datos cerebrales también se pueden procesar e interpretar para entender:

- Estados degenerativos del cerebro, como la actividad cerebral atípica que se observa en los casos de enfermedad de Alzheimer
- Estados relacionados con trastornos como la depresión
- Estados asociados a problemas futuros, como episodios convulsivos incipientes

Aparte de esto, el inmenso volumen de datos que se adquieren mediante las neurotecnologías suele requerir una infraestructura considerable para almacenar, procesar, interpretar e incluso compartir toda esa información, lo cual puede abrir la puerta a más riesgos para la privacidad y a un uso inadecuado de los datos.

Como se ha explicado más arriba, en el contexto de los datos cerebrales, algunos especialistas han defendido el concepto de “datos mentales”, junto con medidas de protección de la privacidad para la información interpretada y derivada directamente de dichos datos cerebrales o, también, para la que no deriva directamente de ellos, como los pensamientos archivados en mensajes de texto. Este tema se examinará más detalladamente en el apartado sobre la regulación específica de los datos cerebrales.

Consideraciones atípicas (capacidad de decisión y actuación, autonomía e identidad):

las cuestiones éticas que se han descrito hasta ahora son muy habituales, pero hay otros posibles daños menos comunes asociados a las neurotecnologías, como los riesgos para la capacidad de decisión y actuación, la autonomía y hasta la identidad. Al intervenir en el cerebro, al ser capaces de leer (detectar) y escribir en él (estimularlo), se puede modificar la identidad de las personas o interferir con su libertad, o aunque esto no ocurra realmente, se puede percibir que ocurre.

Por ejemplo, cuando se le implanta a una persona un dispositivo que mitiga su depresión, la perspectiva desde la cual lleva tanto tiempo entendiendo el mundo, ¿cambia su identidad? Y, si cambia, ¿esa intervención ha vulnerado su identidad? Algunos sostienen que esto sería igual de cierto al hablar de los efectos a largo plazo de los antidepresivos por vía oral, mientras que otros consideran que la rapidez o, a veces, inmediatez de los cambios que genera la estimulación cerebral hace de las neurotecnologías una amenaza aparte. Por otro lado, si una ICM conectada a una prótesis de brazo lesiona a un investigador, ¿se debe culpar de ello al paciente o al mal funcionamiento de la prótesis? ¿Cómo se puede saber quién o qué ha provocado ese daño?

Libre albedrío y ámbito del derecho

Ya en la década de los ochenta, al neurocientífico Benjamin Libet se le ocurrió usar registros de EEG para detectar un cambio en la actividad eléctrica del cerebro, un “potencial de disposición”, antes de que la persona fuera consciente de que quería mover un dedo y expresara su intención de hacerlo (Libet et al. 1982). Las tecnologías de neuroimagen, como la IRMf, estiman la actividad del cerebro midiendo el flujo sanguíneo mientras una persona lleva a cabo una tarea. Los resultados de Libet fueron confirmados por otros investigadores que, utilizando IRMf, identificaron la decisión que había tomado una persona sobre una tarea en particular hasta diez segundos antes de que esa persona fuera consciente de su decisión (Soon et al. 2008). Y, hace más de una década, se empleó la IRMf para recrear clips de vídeo digitales de una colección de vídeos que habían visto antes los participantes en el estudio (Nishimoto et al. 2011).

Este tipo de estudios siguen suscitando interés, por el debate que abren sobre si existe el libre albedrío y sobre si se deberían usar, y cómo, las técnicas de imagen del cerebro en los procesos judiciales (Parens y Johnston 2014). Algunos juristas advierten del peligro de llegar a conclusiones demasiado reduccionistas (“mi cerebro me obligó a hacerlo”) o del de esperar resultados poco realistas al integrar dichas técnicas de imagen en las decisiones de los juzgados (Morse 2006). Sea como sea, estas líneas de investigación han contribuido a desarrollar el campo del *neuroderecho*, que se ocupa de estudiar cómo usar la neurociencia y las neurotecnología en el ámbito legal (Chandler 2018).

Contextos importantes en los que implementar directrices éticas

Las directrices existentes también hacen referencia a tres áreas principales que requieren la aplicación de una regulación: la medicina, la investigación en neurotecnología y las políticas públicas.

Medicina: en el ámbito médico, ha surgido bastante preocupación en torno al tecnosolucionismo: a veces, se proponen soluciones técnicas simplistas como parche para abordar problemas que tienen dimensiones sociales más complejas, como una infraestructura sanitaria deficiente o unas condiciones de trabajo inadecuadas.

También preocupan los casos en que, para realizar estudios de investigación clínica, se ofrece un tratamiento a los pacientes. Al finalizar algunos de esos estudios, aunque se haya observado que un dispositivo reduce en gran medida el sufrimiento de los pacientes o es capaz de restablecer sus capacidades, es posible que dicho dispositivo se retire de los pacientes o deje de financiarse (Hendriks et al. 2019). Esto puede ocurrir, por ejemplo, en pacientes con esclerosis lateral amiotrófica (ELA) que han perdido su capacidad de movimiento voluntario y que, con las prótesis que reciben en un ensayo clínico, son capaces de volver a hablar. Lo cual plantea cuestiones en torno a las responsabilidades hacia los participantes (los pacientes) cuando finalizan los ensayos.

Por otro lado, la incertidumbre sobre la posibilidad de continuar usando los dispositivos sigue existiendo incluso cuando ya están a la venta. Como se ha mencionado previamente, en el 2022, la empresa estadounidense de implantes de retina Second Sight fue adquirida por otra compañía y se dejó de ofrecer a los pacientes el mantenimiento de sus implantes. Si esta tecnología se estropea, la empresa ya no puede reparar ni reemplazar los dispositivos, por lo que sus usuarios vuelven a quedarse completamente ciegos (Strickland y Harris 2022). Con ello, quizás sientan que han perdido una parte de sí mismos y de su identidad.

Otra área problemática es la utilización de neurotecnologías con fines distintos a los previstos. El neurocientífico Anjan Chatterjee acuñó el término “neurología cosmética”, planteando la cuestión de hasta dónde llega el deber clínico de los neurólogos (Chatterjee 2004). La neurología cosmética es una cirugía opcional en la que las intervenciones no están orientadas necesariamente a la curación de enfermedades o lesiones, sino a la automejora. Por ejemplo, se está pidiendo a los neurólogos que receten fármacos como el metilfenidato a personas no diagnosticadas de ninguna enfermedad, solo para aumentar o mejorar su rendimiento cognitivo. Si mejorar la calidad de vida es una de las funciones de los médicos, ¿deberían prescribir intervenciones de mejora? ¿Podrían darse ese tipo de peticiones con otras neurotecnologías emergentes?

Investigación: en el caso de los investigadores, numerosas directrices reclaman una formación adicional en ética para que los científicos comprendan mejor las implicaciones morales de su trabajo e incluyan consideraciones éticas en sus exploraciones científicas. Hace poco, un grupo de investigación desarrolló un método para analizar imágenes del cerebro (IRMf) con el objetivo de descodificar lo que pensaban en decir o relatar los participantes, y también estudió desde una perspectiva científica las implicaciones para la privacidad de esa descodificación. Por ejemplo, aunque se trataba de investigación muy preliminar, se realizaron experimentos adicionales para evaluar si una persona podría resistirse a que se descodificara su información: descodificar lo que pensaba decir no fue posible sin su colaboración, y lo más probable es que siga siendo inviable técnicamente sin que esa persona participe de manera activa y voluntaria (Tang et al. 2022).

Mientras se promueve el intercambio de datos abiertos para acelerar los avances científicos y facilitar un mejor reparto de los bienes sociales, los investigadores estudian las mejores maneras no solo de compartir, sino también de proteger los datos y a los donantes de datos frente a la reidentificación y otras posibles vulneraciones de la privacidad (Eke et al. 2022). En el intercambio de datos abiertos, por lo general, se intenta eliminar la información de identificación, como nombres y fechas de nacimiento, de los datos que se incluyen en repositorios compartidos. No obstante, dada la singularidad de los datos cerebrales, puede haber formas de averiguar —intencionadamente o no— a quién pertenecen esos datos, o reidentificarlos.

Por ejemplo, algunos investigadores han demostrado que es posible identificar de quién provenían los datos con solo utilizar datos anatómicos del cerebro (Valizadeh et al. 2018). Otros han observado que se pueden emplear técnicas de aprendizaje automático para reidentificar a personas a partir de sus datos de EEG (Jayarathne et al. 2020). Aunque no haya información de identificación, como nombres y fechas de nacimiento, se pueden combinar otros datos disponibles, como los que hacen referencia al momento y el lugar en que se obtuvieron los datos, o incluso información pública de redes sociales, para reidentificar a esas personas. No obstante, aún se está investigando si es posible o no reidentificar ciertos tipos de datos cerebrales.

Políticas públicas: las directrices actuales también reclaman soluciones desde las políticas públicas para promover el diálogo intersectorial y la cooperación internacional sobre cuestiones relacionadas con una innovación que siga unos principios éticos alineados, a fin de ofrecer una supervisión y previsión éticas, y proporcionar más oportunidades de interacción y educación del público en torno a las neurotecnologías emergentes.

Preocupan especialmente las diferencias en cuanto al grado de regulación entre los productos médicos y los no médicos, y diversos debates recientes en Estados Unidos se han centrado en el control de exportaciones de tecnologías de ICM (Bureau of Industry and Security s.f.), por lo que podrían requerirse licencias adicionales para evitar posibles usos indebidos, especialmente si suponen un riesgo para la seguridad nacional (Borman 2021).

Documentos destacados sobre la regulación de la neurotecnología

Las innumerables capacidades y la gran variedad de aplicaciones de las neurotecnologías presentan retos a la hora de diseñar unas directrices de orientación viables y realmente útiles. En este sentido, los llamamientos a establecer unas pautas generales (a menudo, normativas) no han generado, por ahora, los resultados esperados. Aun así, estos documentos pueden servir de base para proponer acciones importantes. A continuación se destacan una serie de documentos e hitos clave del debate sobre la regulación global de la neurotecnología.

El primer estándar internacional de neurotecnología

Tras un proceso que ha llevado varios años y en el que han colaborado diversas partes implicadas, dirigidas por el Grupo de Trabajo de Biotecnologías, Nanotecnologías y Tecnologías Convergentes (BNCT) de la OCDE, el primer estándar internacional de innovación responsable en neurotecnología fue adoptado como instrumento jurídico por la OCDE (OECD 2019) y los 38 países que la conforman (OECD s.f. a). España pertenece a esta organización desde el 3 de agosto de 1961.

La Recomendación sobre Innovación Responsable en Neurotecnología incluye nueve principios:

1. Promover una innovación responsable
2. Priorizar las evaluaciones de seguridad
3. Promover la inclusividad
4. Fomentar la colaboración científica
5. Permitir el debate en la sociedad
6. Capacitar a los organismos de supervisión y asesoramiento
7. Salvaguardar los datos cerebrales personales y otras informaciones
8. Promover culturas de gestión y confianza en los sectores público y privado
9. Anticipar y supervisar los posibles usos indebidos o no previstos

Asimismo, dicha Recomendación subraya la importancia de los siguientes elementos a lo largo de todo el proceso de innovación:

- Respetar los valores de confianza, seguridad y privacidad en la gestión
- Crear capacidad de previsión, supervisión y asesoramiento
- Fomentar los procesos inclusivos de colaboración, innovación y deliberación en la sociedad

Aunque estas directrices no son legalmente vinculantes, en el 2024 cada uno de los países miembros deberá informar de cómo las ha implementado. El Grupo de Trabajo de BNCT de la OCDE está elaborando un kit de herramientas de implementación, que señalará acciones más detalladas que pueden realizar los diversos agentes si así lo deciden.

Nuevos derechos humanos

Otro de los temas de debate actuales es el llamamiento a revisar los derechos humanos vigentes, e incluso se han propuesto unos nuevos derechos humanos llamados *neuroderechos* (Ienca 2021; Lighthart et al. 2021; O’Sullivan et al. 2022; Rommelfanger et al. 2022).

Cabe destacar que los valores éticos se describen a menudo en términos de “derechos”. Este uso del término “derecho” no necesariamente se entiende como un derecho en el sentido legal (Lighthart et al. 2021). Por ejemplo, los derechos no tienen por qué verse como una intención de crear nuevas leyes, sino más bien como una invitación a afianzar con un mayor respaldo los valores públicos relativos a ciertas cuestiones. Los derechos legales son instrumentos técnicos que se sitúan en diversas estructuras jurídicas, como las regulaciones, el derecho constitucional o el derecho internacional. Aun así, para que se cumplan los derechos legales en el contexto del sistema jurídico o judicial, hacen falta definiciones claras que faciliten las aplicaciones prácticas. Hasta ahora, los llamamientos a establecer unos nuevos neuroderechos han dado lugar a tres tipos de objetivos:

1. Generar instrumentos jurídicos nuevos y diferentes de los anteriores, como se ha observado en la Constitución de Chile
2. Ofrecer un marco que pueda promover la concienciación y fomentar el debate ético sobre la neurotecnología en la sociedad, como se ha visto en la Carta de Derechos Digitales española
3. Reclamar que se afiancen y pongan de relieve valores para proteger los derechos legales existentes en lo que respecta a la neurotecnología, como ocurre en la Carta de Derechos Digitales de España y en las recomendaciones de la UNESCO sobre neurotecnología

Últimamente, el debate global se ha centrado en los puntos 2 y 3.

Reforma constitucional y proyecto de ley chilenos: quienes proponen los neuroderechos sugieren que las leyes y los tratados de derechos humanos existentes no bastan, considerando los riesgos específicos que plantean las neurotecnologías. A este respecto, un grupo prominente de Estados Unidos, denominado Neurorights Foundation, ha presionado para que se adopten los cinco neuroderechos que propone:

1. Privacidad mental
2. Identidad personal
3. Libre albedrío
4. Acceso justo a las mejoras mentales
5. Protección frente a sesgos

En el año 2021, Chile, inspirado por la Neurorights Foundation, se convirtió en el primer país en aprobar una legislación de neuroderechos, al reformar su constitución e incluir una propuesta de ley sobre neuroprotección que protege los datos cerebrales, así como la privacidad mental, la integridad personal, la autodeterminación y el acceso igualitario a las neurotecnologías que mejoran las capacidades humanas. Como pionero, Chile ha sido el primero en recibir elogios y, también, en enfrentarse a los retos de su implementación.

Los activistas de los derechos digitales y los médicos chilenos han expresado su preocupación por que la nueva propuesta de ley de neuroprotección, y su falta de claridad conceptual, puedan poner en riesgo su capacidad de tratar a los pacientes y obstaculizar el acceso a más neurotecnologías (Rommelfanger et al. 2022). Además, diversos expertos en leyes de Latinoamérica cuestionan la practicidad de establecer nuevos derechos y reclaman una mayor integración de las perspectivas de otros países latinoamericanos (Borbón y Borbón 2021). La propuesta de ley de Chile ha evolucionado y se han eliminado conceptos impugnados inicialmente, como el de “continuidad psíquica”. Aun así, nociones como la de “integridad mental” siguen representando un reto para los juristas a la hora de interpretarlas, ya que no hay un consenso sobre su significado.

Un grupo de especialistas ha señalado, recientemente, que la variabilidad de las definiciones éticas y filosóficas de los términos que se detallan en la propuesta de estos nuevos neuroderechos requiere una mayor labor de transparencia y aclaración para que estos conceptos se interpreten de manera coherente (Lighthart et al. 2021). Afirman que “es debatible hasta qué punto es deseable y necesario traducirlos y condensarlos [los conceptos de los neuroderechos] para integrarlos en el sistema de derechos humanos existente”. Sin tal precisión, es posible que estas propuestas no ofrezcan mejoras adicionales respecto a la Declaración Universal de Derechos Humanos de la ONU, el Tribunal Europeo de Derechos Humanos (TEDH) o instrumentos como la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad, todos los cuales exigen medidas de protección de la “integridad mental”.

Carta de Derechos Digitales española: ya se han creado varias propuestas para integrar conceptos relacionados con los neuroderechos, como la Carta de Derechos Digitales en España. Es importante señalar que, aunque las cartas como esta no pretenden ser textos legalmente vinculantes, sí ofrecen marcos y herramientas para interpretar la legislación en vigor. El proceso de elaboración de nuevas leyes suele ser inherentemente lento, ya que hace falta más tiempo para llegar a consensos. Algunos argumentan que esto es un obstáculo para que las leyes sigan el ritmo del rápido desarrollo tecnológico. Por eso, las cartas que no son legalmente vinculantes tienen el potencial de ser de utilidad el caso de un ecosistema como el de la neurotecnología que evoluciona a gran velocidad. En este sentido, la Carta de Derechos Digitales española ha permitido observar de qué manera un marco como este podría promover un desarrollo humanista de la neurotecnología.

En julio del 2020, el presidente del gobierno español, Pedro Sánchez, anunció España Digital 2025, un ambicioso plan de reformas, inversiones y actividades específicas para guiar el crecimiento tecnológico del país (Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital s.f.). El eje de ese plan son las medidas para asegurar la alineación con los valores constitucionales y la protección de los derechos individuales y colectivos. España Digital 2025¹⁰ traza diez áreas de actuación y, en la número 10, se establece el objetivo de elaborar una Carta de Derechos Digitales nacional antes del 2025.

En España, el reciente impulso del ecosistema de la neurotecnología se ha visto facilitado no solo por la economía, sino también por los factores humanistas reflejados en dicha Carta. Nadia Calviño, ministra de Economía y Transformación Digital y vicepresidenta primera del gobierno de España, afirmó que esta carta aspira a “garantizar una digitalización humanista que ponga en el centro a las personas”. En su presentación, el presidente Sánchez señaló que la Carta pretendía ser de carácter “pionero” y ayudar a España a liderar la lucha por los derechos digitales en todo el mundo. La Carta perfila derechos para salvaguardar la identidad individual y para la protección de datos, y aborda la necesidad de regular las neurotecnologías diseñadas para ofrecer mejoras cognitivas (íbid.).

El Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital también ha sido una pieza fundamental para el lanzamiento de Spain Neurotech, junto con la Comunidad de Madrid y la Universidad Autónoma de Madrid. Este Centro Nacional de Neurotecnología se ha creado expresamente para disponer de un espacio donde implementar los principios de la Carta de Derechos Digitales. Dentro de las áreas en las que se centrará Spain Neurotech, un pilar clave será el de “Desarrollar reglas éticas y jurídicas necesarias para la aplicación de las nuevas tecnologías centradas en las personas, incorporando a la sociedad en las actividades científicas” (La Moncloa 2022). De este modo, Spain Neurotech promete un modelo proactivo de innovación y regulación en el ámbito de la neurotecnología humanista.

¹⁰ Existe un plan actualizado, España Digital 2026, con dos áreas de actuación adicionales: PERTE (Proyectos Estratégicos para la Recuperación y Transformación Económica) y RETECH (Redes Territoriales de Especialización Tecnológica). El nuevo documento se puede consultar aquí: <https://espanadigital.gob.es/>

Informe de la UNESCO sobre cuestiones éticas de la neurotecnología: el Comité Internacional de Bioética de la UNESCO también exploró la propuesta de unos neuroderechos y, de manera más amplia, las cuestiones éticas que plantea la neurotecnología. Concluyó que “los neuroderechos comprenden ciertos derechos humanos ya reconocidos en las legislaciones nacionales, las leyes internacionales, los instrumentos internacionales de derechos humanos y otros instrumentos consensuados” (Comité Internacional de Bioética de la UNESCO 2021). Dicho informe especifica diversos aspectos que preocupan en relación con la neurotecnología, y que podrían explorarse dentro de la legislación actual en materia de derechos humanos:

1. Integridad cerebral/mental y dignidad humana
2. Identidad personal
3. Libertad de pensamiento, libertad cognitiva y libre albedrío
4. Privacidad mental y confidencialidad de los datos cerebrales
5. Justicia distributiva
6. Discriminación/sesgos
7. Uso indebido
8. Aumento/mejora
9. Intereses de los niños
10. Consentimiento informado

El informe sugiere también mejorar el diálogo global y que los Estados miembros “adopten leyes para regular el uso de las neurotecnologías, como la grabación de actividades cerebrales, especialmente cuando su finalidad no sea la investigación científica, las necesidades médicas o la administración de justicia”. También recomienda que se tenga especial consideración con los niños: “Los Estados miembros deben plantearse usar la legislación u otros mecanismos para regular el uso de herramientas de neuromejora pediátrica en niños”. Asimismo, recomienda acciones y actores específicos, como los Estados miembros, la comunidad investigadora, la industria, los medios de comunicación y la población.

El debate sigue abierto: más recientemente, durante una colaboración entre el Consejo de Europa —una organización internacional que vela por la defensa de los derechos humanos— y la OCDE, se ha explorado la cuestión de si se necesita establecer nuevos derechos humanos. Los resultados son similares a los de la UNESCO: el informe final de dicha colaboración concluyó que quizás sea prematuro crear nuevas leyes para los neuroderechos, y sugiere como próximo paso la elaboración de una guía de interpretación de los derechos humanos actuales en la que se aborden los contextos de uso de la neurotecnología (O’Sullivan et al. 2022).

No obstante, esta cuestión sigue abierta al debate. El Consejo de Derechos Humanos de las Naciones Unidas cuenta con un comité asesor que está tratando de completar, para el 2024, una evaluación y un informe similares sobre el impacto de las neurotecnologías en los derechos humanos (UN Human Rights Council s.f.). Hasta hace poco, el Congreso de los Diputados tenía planeado investigar las aplicaciones y las implicaciones éticas de la neurotecnología, abordando también los interrogantes sobre la necesidad de definir unos neuroderechos (Oficina C s.f.). Sin embargo, esta iniciativa se ha pospuesto por el adelanto a julio de las elecciones generales, previstas inicialmente para septiembre del 2023.

Aspectos a tener en cuenta a la hora de establecer la regulación

Diferentes consideraciones acerca de la neurotecnología según su contexto de uso

Como se ha explicado más arriba, en el apartado que resume las cuestiones éticas, las neurotecnologías se han incorporado a diversos sectores y contextos. Algunos dispositivos permiten comunicarse o controlar un dron sin moverse, mientras que otros prometen mejorar la concentración y la atención. Las evaluaciones éticas del uso de una misma tecnología pueden variar en función de las diferentes circunstancias, culturas y contextos (Global Neuroethics Summit Delegates 2018). Por ejemplo, alguien puede querer utilizar un estimulador cerebral de tipo wearable diseñado para el bienestar personal o para jugar a videojuegos con el fin de mejorar sus capacidades mentales, y sin embargo mostrarse reticente a usar ese mismo estimulador si se siente presionado a hacerlo para aumentar su productividad laboral.

Por este motivo, se ha argumentado que las regulaciones que sugieren prohibir las neurotecnologías de manera generalizada son menos útiles que las que mitigan daños concretos y abordan contextos específicos en los que podrían usarse de forma indebida (Jwa y Poldrack 2022). Las mismas consideraciones sobre la especificidad de los distintos contextos se están estudiando en el caso del hardware de neurotecnología y, también, de los datos que adquiere y procesa dicho hardware.

Posible necesidad de una regulación especial para los neurodatos

Varios grupos han puesto de relieve las lagunas existentes en la protección de los datos derivados del cerebro y, en particular, las inferencias relacionadas con los datos cerebrales procesados, y se ha recomendado en numerosas ocasiones la creación de marcos para regular los neurodatos (Wachter y Mittelstadt 2019; Rainey et al. 2020; Future of Privacy Forum 2021; Hallinan 2021; Eke et al. 2022; Ienca et al. 2022; Jwa y Poldrack 2022). Como se ha mencionado más arriba, la regulación de los neurodatos también puede ser complicada, dada la falta de consenso en torno a qué abarca exactamente.

Además, con la mejora de los algoritmos para interpretar la información y el gran crecimiento de los conjuntos de datos, cada vez es más fácil extraer más información sobre las personas o grupos de personas. Los datos de este tipo pueden permitir que se reidentifique a las personas, como se ha descrito anteriormente, y percibirse como más privados o personales que otros tipos de datos biométricos.

La singularidad cultural de los neurodatos: algunos investigadores y expertos del ámbito académico han argumentado que los neurodatos no son técnicamente diferentes de otros tipos de datos biométricos. Otros, en cambio, consideran que los neurodatos son información personal y sensible porque revelan procesos que constituyen la base de la “mente humana” (Ienca y Malgieri 2022).

Por otra parte, hay investigadores y académicos que defienden que, aunque esta información no tenga por qué ser única desde una perspectiva técnica, los datos cerebrales sí son únicos desde el punto de vista cultural. Así, pese a esa similitud técnica, hay expertos en leyes que han sugerido que su singularidad cultural es suficiente como para justificar una regulación especial de los neurodatos (Jwa y Poldrack 2022). Desde este enfoque, los datos cerebrales, como indicadores de la actividad mental, pueden ser únicos y sensibles, e identificar individualmente a las personas, por su propia conexión con el cerebro.

Neurodatos y elementos clave del Reglamento General de Protección de Datos¹¹

Datos personales: de acuerdo con el artículo 4 del RGPD, los neurodatos pueden considerarse “datos personales”. Dicho artículo define los datos biométricos como “datos personales obtenidos a partir de un tratamiento técnico específico, relativos a las características físicas, fisiológicas o conductuales de una persona física que permitan o confirmen la identificación única de dicha persona”. Se ha demostrado que la reidentificación de las personas a partir de sus datos cerebrales, pese a ser científicamente difícil, es posible. En entornos de laboratorio, con solo 30 segundos de grabación cerebral utilizando dispositivos no implantables, se puede identificar a quién pertenece dicha grabación (da Silva Castanheira et al. 2021).

Una categoría de datos especial: además, según lo establecido por el RGPD, no está claro si los neurodatos podrían considerarse una categoría especial de datos personales, o datos que también se consideran sensibles. El tratamiento de neurodatos se ha usado de forma experimental para identificar y predecir rasgos de comportamiento y preferencias. En el mercado de consumo de la neurotecnología, es habitual que los dispositivos wearable se promocionen afirmando que son capaces de informar sobre el estado de ánimo, excitación y estrés. La neurociencia del consumidor o “neuromarketing”, como se ha descrito más arriba, ha combinado las imágenes y las grabaciones externas del cerebro no solo para determinar las mejores estrategias de marketing para los productos, sino también para evaluar orientaciones políticas (Halpern 2020). El artículo 9 del RGPD prohíbe el tratamiento de datos personales para revelar opiniones políticas con el fin de identificar a una persona.

Los neurodatos dentro del ecosistema de los datos digitales: un factor que complica aún más las consideraciones de privacidad al abordar la protección de los neurodatos es la medida en que esos datos se combinan con otros tipos de datos en un ecosistema digital cada vez más determinado por el Internet de las cosas (IoT). Por ejemplo, los datos derivados del cerebro se pueden vincular con grabaciones de voz, datos adquiridos de aplicaciones y del uso de

¹¹ La Oficina del Comisario de Información del Reino Unido —la autoridad de protección de datos de dicho país— ha publicado recientemente un análisis preliminar de la regulación en materia de datos cerebrales, que explora el contexto del RGPD del Reino Unido (Information Commissioner’s Office 2023).

smartphones o, incluso, información compartida públicamente en redes sociales. Todos esos datos se podrían combinar para obtener una imagen detallada bastante íntima de los procesos y el estado mentales de una persona, así como de su vida. Además, se podrían realizar predicciones de su estado mental y su salud en el futuro, no solo a partir de datos derivados del cerebro, sino también de otros datos digitales (Faurholt-Jepsen et al. 2016; Insel 2018; Knott et al. 2021).

La integración de los avances en IA, especialmente del aprendizaje automático, será fundamental para las funciones y la información extraída de las neurotecnologías en el futuro. Un ejemplo reciente es la combinación de imágenes del cerebro (IRMf) con herramientas de aprendizaje de modelos de lenguaje de gran tamaño (GPT) para descodificar la actividad cerebral correlacionada con narraciones oídas o imaginadas (Tang et al. 2022).

Hace poco, investigadores del mundo académico y de la industria han hecho un llamamiento para que se estudien más a fondo los aspectos éticos del desarrollo de la IA en el contexto de la neurotecnología (Farisco et al. 2022; Berger y Rossi 2023). Por todo esto, para proteger los neurodatos, probablemente harán falta soluciones innovadoras tanto técnicas (Kapitonova et al. 2022) como políticas (Eke et al. 2022).

Oportunidades para nuevos modelos de gobernanza

Como se ha explicado en los apartados anteriores, en torno a la neurotecnología se han propuesto recomendaciones y directrices, además de la creación o la revisión de leyes. Las estrategias de gobernanza se agrupan en dos grandes categorías: leyes imperativas, es decir, obligaciones que pueden exigirse legalmente ante un tribunal, e instrumentos no vinculantes, que suelen ser recomendaciones y directrices de cumplimiento voluntario, y cuya infracción no suele conllevar ninguna sanción, aunque con el tiempo también pueden convertirse en leyes imperativas.

Estrategias no vinculantes en el campo de la neurotecnología

El problema del ritmo: la regulación tradicional puede ser muy eficaz, sobre todo porque es de obligado cumplimiento. Sin embargo, como señala el especialista en gobernanza Gary Marchant, “puede ser desaconsejable establecer una regulación tradicional de gran alcance, dada la gran rapidez con la que avanzan las tecnologías: probablemente, cualquier normativa quedaría obsoleta antes de terminar de redactarla”. El “problema del ritmo” es un término que describe el reto que representan las tecnologías que evolucionan muy rápidamente e influyen en la sociedad antes de que pueda crearse una regulación (Marchant et al. 2020). Por este motivo, se ha defendido el uso de mecanismos de autogobernanza e instrumentos no vinculantes para tecnologías emergentes como la IA y la neurotecnología en particular. Y es que la rapidez de su desarrollo y la multitud de nuevas formas en que se aplicarán tecnologías emergentes como la neurotecnología hacen que sea extremadamente difícil coordinar una respuesta gubernamental capaz de ofrecer, en la práctica, una protección integral para todos los contextos (Johnson 2020; Marchant et al. 2020).

Por ello, la Recomendación sobre Innovación Responsable en Neurotecnología de la OCDE, como enfoque internacional, y la Carta de Derechos Digitales española, como enfoque nacional, ofrecen marcos prometedores que podrían aplicarse a corto plazo para abordar los problemas éticos, jurídicos y sociales que plantean las neurotecnologías.

La subsanación de las lagunas jurisdiccionales: algunas neurotecnologías pueden complicar los marcos regulatorios tradicionales. Por ejemplo, las neurotecnologías de tipo médico destinadas a los consumidores que se usan con fines de bienestar a veces quedan fuera de las jurisdicciones normativas habituales. Y los reguladores de productos de consumo tradicionales pueden no tener los conocimientos especializados necesarios para evaluar las neurotecnologías cuando estas lleguen al mercado (Kuersten y Hamilton 2016). Por otra parte, los reguladores médicos en ocasiones creen que las neurotecnologías dirigidas a los consumidores no están dentro de su ámbito de regulación.

Además, el contexto de la neurotecnología y los neurodatos, en constante evolución, se complica aún más por el hecho de que se usen en combinación con otras tecnologías como la IA. Este tipo de “convergencia tecnológica” también puede suponer complicaciones para las jurisdicciones normativas (Johnson 2020). La ventaja de mecanismos como la Carta de Derechos Digitales de España, aparte de que tienen en cuenta dicha convergencia tecnológica, es que se pueden adaptar al uso por parte de diferentes organizaciones y entidades, lo que evita que tengan que limitarse a ciertas jurisdicciones normativas o incluso geográficas.

Implicación del sector privado

El desarrollo neurotecnológico sigue estando impulsado por pequeñas y medianas empresas, más que por grandes conglomerados corporativos. En reconocimiento de la influencia que ejerce el sector privado sobre el rumbo social de la neurotecnología, los expertos en políticas públicas y entidades como la OCDE ponen de relieve cada vez más la importancia de implicar al sector privado para crear y aplicar una regulación de la neurotecnología (Brunner et al. 2015; Garden et al. 2016; Moss y Rommelfanger 2021; Pfothenauer et al. 2021).

Además de elaborar conjuntamente guías y códigos deontológicos, otras estrategias de colaboración intersectorial incluyen la creación de espacios controlados para realizar pruebas de regulación. Estos espacios permiten la colaboración entre entidades reguladoras y empresas del sector privado para poner a prueba protocolos de regulación y cumplimiento responsables relacionados con la tecnología que, además, eviten a las empresas cargas innecesarias a la hora de implementarlos.

En este sentido, en el 2022, en consonancia con la agenda España Digital 2025, el Gobierno de España y la Comisión Europea organizaron un acto para poner en marcha, como proyecto piloto, un espacio controlado de pruebas de regulación para la IA (European Commission 2022). Dicho proyecto piloto, liderado por España, tiene como objetivo crear un sistema de espacios similares para la IA en toda la UE. Del mismo modo, un proyecto piloto para la regulación de la neurotecnología podría brindar procesos y modelos de valores para los países que deseen integrar las consideraciones de la sociedad en el ecosistema de la innovación neurotecnológica.

Para avanzar en la gobernanza de la neurotecnología, probablemente hay que combinar mecanismos imperativos con otros no vinculantes. Se pueden desarrollar a corto plazo instrumentos no vinculantes para definir normas y prácticas recomendadas, al tiempo que se elaboran también leyes imperativas tradicionales mediante procesos más transparentes y a más largo plazo, que sean de obligado cumplimiento en determinadas jurisdicciones. Las lagunas y las redundancias podrían abordarse mediante la coordinación entre organismos y la elaboración conjunta de políticas públicas, y estableciendo equipos comunes de evaluación tecnológica que posean conocimientos especializados sobre neurotecnología (Johnson 2020).

Marcos centrados en las personas

El intenso debate que está teniendo lugar en todo el mundo sobre cómo desarrollar la neurotecnología de manera responsable hacia la sociedad ha representado una oportunidad de integrar proactivamente un enfoque más centrado en las personas. En el caso de la IA, una serie de informes han abordado el tema de la “ética en el diseño” (European Commission 2021) o evocan los llamamientos de los años sesenta para integrar los valores humanistas (Mesthene 1969) en el desarrollo tecnológico.

Además, como se ha señalado anteriormente en este informe, en España, en los medios de comunicación y en el ámbito político, se menciona cada vez más un importante movimiento caracterizado por el término *humanismo tecnológico*, asociado a las implicaciones sociales de los avances tecnológicos (Digital Future Society 2021). Este concepto del humanismo tecnológico es el marco de la Carta de Derechos Digitales española. Dicho marco ofrece una oportunidad de reflexionar sobre diversas consideraciones relativas al desarrollo de la neurotecnología, y sobre nuevos planteamientos para las propuestas anteriores que les añadan un enfoque centrado en las personas. Estos aspectos se describen a continuación.

Conclusión y recomendaciones

Los avances en neurotecnología y su convergencia con otras tecnologías emergentes como la IA prometen transformar enormemente la vida de las personas en todo el mundo. Gobiernos, centros de investigadores de las esferas académica e industrial, y actores del sector privado han invertido e invierten cantidades sin precedentes en la investigación en neurociencia y en la innovación neurotecnológica. Para asegurarse de que dichas inversiones produzcan transformaciones positivas, los responsables políticos deben estar siempre al tanto del panorama actual y de las previsiones de cara al futuro, y cerciorarse de que existan o se elaboren directrices de orientación que faciliten una implicación proactiva en los avances neurotecnológicos.

La neurotecnología es un campo complejo y en constante evolución. El propio término, neurotecnología, no tiene una definición universal. Los datos derivados de la neurotecnología y procesados por ella tampoco se han delimitado de manera homogénea. La falta de una terminología coherente en torno a estas tecnologías será un obstáculo fundamental a la hora de establecer cualquier tipo de guía en el futuro.

Si bien las neurotecnologías se presentan en diversos formatos, parecen compartir una serie de funciones simples o combinadas, como la lectura (detección), la escritura (estimulación) y los sistemas de feedback que combinan lectura y escritura. Mediante esos sistemas, las neurotecnologías han sido capaces de sustituir partes dañadas del sistema nervioso, restablecer la capacidad de hablar y de moverse en personas que la han perdido y mejorar las facultades de las personas conectándolas a dispositivos externos, como brazos robóticos.

Las inversiones han contribuido a alcanzar importantes logros en el ámbito clínico, como el de permitir que personas con parálisis vuelvan a moverse o incluso a comunicarse con sus seres queridos. Sin embargo, la neurotecnología también plantea cuestiones espinosas relacionadas con retos éticos como la equidad, la justicia y la privacidad, así como otros problemas, debido a los riesgos que representa para la capacidad de decisión y actuación, la autonomía y la identidad. En el futuro, estas tecnologías podrían llegar cada vez más a ámbitos no clínicos.

A nivel local y global, una amalgama de entidades de regulación se esfuerza por seguir el ritmo de las tecnologías emergentes, que evolucionan rápidamente. Quienes investigan la regulación de las tecnologías emergentes han sugerido un enfoque múltiple, que incluya tanto explorar los mecanismos actuales de legislación como tratar de crear soluciones a más corto plazo con instrumentos no vinculantes.

Las propuestas de nuevos *neuroderechos* suscitan una exploración más profunda de cómo puede adaptarse la legislación vigente en materia de derechos humanos para abordar la preocupación en aumento que plantea la neurotecnología. Asimismo, los expertos en leyes siguen analizando cómo podrían adaptarse las normas actuales para cubrir las lagunas en la regulación, en particular las medidas para proteger la privacidad de los neurodatos en el ámbito de los consumidores.

A través de su Carta de Derechos Digitales, España ya ha incluido disposiciones sobre los derechos digitales asociados al uso de neurotecnologías. Dicha Carta perfila derechos para salvaguardar la identidad individual y para la protección de datos, y aborda la necesidad de regular las neurotecnologías diseñadas para ofrecer mejoras cognitivas (Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital s.f.). Ahora, España tiene una oportunidad para impulsar y liderar, mediante la creación del centro Spain Neurotech, el desarrollo de la neurotecnología en el marco del humanismo tecnológico y los derechos digitales.

Recomendaciones

Actualmente, existen más de veinte conjuntos de directrices sobre ética y neurotecnología (O'Shaughnessy et al. 2022), incluyendo un estándar jurídico transnacional, la Recomendación sobre Innovación Responsable en Neurotecnología y la orientación específica de la UNESCO para la actuación de diversas partes implicadas, como se ha explicado más arriba. Además, hay varios informes elaborados por think tanks como Regulatory Horizons Council (Reino Unido), la Oficina del Comisario de Información (la autoridad de protección de datos) del Reino Unido, Future of Privacy Forum (Estados Unidos) y empresas de consultoría internacionales como Accenture y Deloitte en colaboración con el Foro Económico Mundial.

España tiene diversas oportunidades de trabajar a escala local y de forma multilateral para unirse a nuevas iniciativas para la gobernanza de la neurotecnología, tomarlas como base, adaptarlas o desarrollarlas. En los informes mencionados, se subraya una y otra vez la necesidad de implicar mejor a los agentes del ecosistema del sector privado.

Es importante destacar que la neurotecnología va a afectar a muchos grupos de partes implicadas, todos los cuales deberían participar en el desarrollo de soluciones técnicas y políticas (IEEE brain s.f.; OECD 2019). Entre esas partes implicadas están las personas que forman parte del ecosistema de la atención sanitaria, neurocientíficos e ingenieros, expertos en ética, representantes de la industria del software y los dispositivos, entidades gubernamentales, compañías de dispositivos médicos, pacientes y usuarios que defienden estas tecnologías, y consumidores y usuarios finales potenciales de las neurotecnologías disponibles en el mercado.

El informe sobre neurotecnología del Comité Internacional de Bioética de la UNESCO (2021) reclama una mayor implicación de la sociedad, la industria y los defensores de estas tecnologías para facilitar colaboraciones público-privadas a fin de desarrollar estrategias más sólidas para la gobernanza de la neurotecnología). Por otra parte, a medida que crece el ecosistema de la neurotecnología en España, este enfoque proactivo —no reactivo— podría ser útil como modelo para otras iniciativas globales de innovación neurotecnológica.

Estas podrían ser algunas de las actividades específicas a corto plazo:

1. Examinar los marcos jurídicos actuales para promover el empoderamiento en el uso de las neurotecnologías
2. Tratar de desarrollar mejores medidas de protección para los neurodatos, en particular para los datos que se utilicen fuera de contextos médicos
3. Considerar la regulación de las neurotecnologías teniendo en cuenta cada contexto (por ejemplo, ofrecer protección contra la obligatoriedad de su uso en centros educativos o lugares de trabajo, y otros usos indebidos específicos)
4. Promover la educación y la participación inclusiva en relación con las neurotecnologías en la sociedad, empleando el marco del humanismo tecnológico
5. Reforzar el diálogo local intersectorial y público-privado para promover soluciones sólidas, que conlleven tanto leyes imperativas como instrumentos no vinculantes
6. Unirse a iniciativas nacionales, transnacionales y globales para promover un desarrollo de la neurotecnología centrado en las personas (por ejemplo, implementar la recomendación de la OCDE o la Carta de Derechos Digitales española)

Referencias

- Ackerman, E. y Strickland, E. (2022). Are you ready for workplace brain scanning? IEEE Spectrum. [online] Disponible en: <https://spectrum.ieee.org/neurotech-workplace-innereye-emotiv> (Consultado: 3-9-2023)
- Ayuntamiento de Barcelona. (2021). Medida de Gobierno de la estrategia municipal de algoritmos y datos para el impulso ético de la inteligencia artificial. [PDF] Disponible en: https://ajuntament.barcelona.cat/digital/sites/default/files/mesura_de_govern_intel_ligencia_artificial_castella_0.pdf (Consultado: 3-9-2023)
- Bådum, N. y Jørgensen, M. (2018). Citizens' View on Neuroscience and Dual Use: Online Consultation. Human BrainProject. [PDF] Disponible en: <http://hbp.tekno.dk/wp-content/uploads/2018/03/Citizens-View-on-Neuroscience-and-Dual-Use-Online-Consultation.pdf> (Consultado: 3-9-2023)
- Balconi, M. y Sansone, M. (2021). Neuroscience and Consumer Behavior: Where to Now? Frontiers in Psychology, 12. [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34290656/> (Consultado: 3-9-2023)
- Balougador. (2007). Brain computer interface schema. Wikipedia. [imagen] Disponible en: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:InterfaceNeuronaleDirecte-tag.svg> (Consultado: 3-9-2023)
- Bavishi, S., Rosenthal, J. y Bockbrader, M. (2018). Chapter 17: Neuroprosthetics. Rehabilitation After Traumatic Brain Injury. [PDF] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/326800412_Chapter_17_Neuroprosthetics_In_Rehabilitation_After_Traumatic_Brain_Injury (Consultado: 3-9-2023)
- Berger, S. y Rossi, F. (2023). AI and Neurotechnology: Learning from AI Ethics to Address an Expanded Ethics Landscape. Communications of the ACM, 66(3), pp. 58–68. [PDF] Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3529088> (Consultado: 3-9-2023)
- Bitbrain. (s.f.). Página principal. [online] Disponible en: <https://www.bitbrain.com> (Consultado: 3-9-2023)
- Borbón, D. y Borbón, L. (2021). A Critical Perspective on NeuroRights: Comments Regarding Ethics and Law. Frontiers in Human Neuroscience, 15. [PDF] Disponible en: <https://europepmc.org/article/MED/34759805> (Consultado: 3-9-2023)
- Borman, M. (2021). Request for Comments Concerning the Imposition of Export Controls on Certain Brain-Computer Interface (BCI) Emerging Technology. Federal Register. Bureau of Industry and Security. [PDF] Disponible en: <https://www.federalregister.gov/documents/2021/10/26/2021-23256/request-for-comments-concerning-the-imposition-of-export-controls-on-certain-brain-computer> (Consultado: 3-9-2023)

BrainDriver. (s.f.). tDCS Placement Montage Maps, Studies. [online] Disponible en: <https://thebraindriver.com/pages/tcds-placement-montage-maps-studies> (Consultado: 3-9-2023)

Brain-Drone Race. (s.f.). Página principal. [online] Disponible en: <http://braindrone.com> (Consultado: 3-9-2023)

Brunner, C., Birbaumer, N., Blankertz, B., Guger, C., Kübler, A., Mattia, D., Millán, J., Miralles, F., Nijholt, A., Opisso, E., Ramsey, N., Salomon, P. y Müller-Putz, G. (2015). BNCI Horizon 2020: towards a roadmap for the BCI community. *Brain-Computer Interfaces*, 2(1). [PDF] Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/2326263X.2015.1008956> (Consultado: 3-9-2023)

Bureau of Industry and Security. (s.f.). Export Controls for BCI Conference at the U.S. Department of Commerce. [online] Disponible en: <https://www.bis.doc.gov/index.php/bciconference2023> (Consultado: 3-9-2023)

Cassinelli Petersen, G., Roytman, M., Chiang, G., Li, Y., Gordon, M. y Franceschi, A. (2022). Overview of tau PET molecular imaging. *Current Opinion in Neurology*. [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35191407/> (Consultado: 3-9-2023)

Cavagnoli, J. (2023). Adaptive Deep Brain Stimulation. Wikipedia. [imagen] Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Adaptive_Deep_Brain_Stimulation.png (Consultado: 3-9-2023)

Chandler, J. (2018). Neurolaw and Neuroethics. *Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics: CQ: The International Journal of Healthcare Ethics Committees*, 27(4). [online] Disponible en: <https://www.cambridge.org/core/journals/cambridge-quarterly-of-healthcare-ethics/article/abs/neurolaw-and-neuroethics/16E694B672AA41558F2A8DB616222D9F> (Consultado: 3-9-2023)

Chatterjee, A. (2004). Cosmetic neurology: The controversy over enhancing movement, mentation, and mood. *Neurology*. [online] Disponible en: <https://n.neurology.org/content/63/6/968> (Consultado: 3-9-2023)

Coates McCall, I., Lau, C., Minielly, N. e Illes, J. (2019). Owing Ethical Innovation: Claims about Commercial Wearable Brain Technologies. *Neuron*. [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31121124/> (Consultado: 3-9-2023)

Cohen, S., Bikson, M., Bashar, B. y George, M. (2022). A visual and narrative timeline of US FDA milestones for Transcranial Magnetic Stimulation (TMS) devices. *Brain Stimulation*. [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34775141/> (Consultado: 3-9-2023)

Comité Internacional de Bioética de la UNESCO. (2021). Report of the International Bioethics Committee of UNESCO (IBC) on the Ethical Issues of Neurotechnology. [online] Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000378724> (Consultado: 4-9-2023)

Davis, S. y Smith, G. (2019). Transcranial Direct Current Stimulation Use in Warfighting: Benefits, Risks, and Future Prospects. *Frontiers in Human Neuroscience*. [PDF] Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6499187/> (Consultado: 3-9-2023)

Digital Future Society. (2021). Reflexiones sobre lo que supondría para Barcelona convertirse en la capital del humanismo tecnológico. [PDF] Disponible en: <https://digitalfuturesociety.com/es/report/reflexiones-sobre-lo-que-supondria-para-barcelona-convertirse-en-la-capital-del-humanismo-tecnologico/> (Consultado: 3-9-2023)

- Eke, D., Bernanrd, A., Bjaalie, J., Chavarriaga, R., Hanakawa, T., Hannan, A., Hill, S., Martone, M., McMahon, A., Ruebel, O., Crook, S., Thiels, E. y Pestilli, F. (2022). International data governance for neuroscience. *Neuron*, 110(4), pp. 600–612. [PDF] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0896627321009557> (Consultado: 3-9-2023)
- European Commission. (2021). Ethics By Design and Ethics of Use Approaches for Artificial Intelligence. [PDF] Disponible en: https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/horizon/guidance/ethics-by-design-and-ethics-of-use-approaches-for-artificial-intelligence_he_en.pdf (Consultado: 3-9-2023)
- European Commission. (2022). Launch event for the Spanish Regulatory Sandbox on Artificial Intelligence. [online] Disponible en: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/events/launch-event-spanish-regulatory-sandbox-artificial-intelligence> (Consultado: 3-9-2023)
- Farisco, M., Evers, K. y Salles, A. (2022). On the Contribution of Neuroethics to the Ethics and Regulation of Artificial Intelligence. *Neuroethics*, 15(1), p. 4. [PDF] Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12152-022-09484-0> (Consultado: 3-9-2023)
- Faurholt-Jepsen, M., Busk, J., Vinberg, M., Christensen, E., Winther, O., Bardram, J. y Kessing, L. (2016). Voice analysis as an objective state marker in bipolar disorder. *Translational Psychiatry*, 6(7). [PDF] Disponible en: <https://www.nature.com/articles/tp2016123> (Consultado: 3-9-2023)
- Feltman, K., Hayes, A., Bernhardt, K., Nwala, E. y Kelley, A. (2020). Viability of tDCS in Military Environments for Performance Enhancement: A Systematic Review. *Military Medicine*, 185(1–2). [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31735955/> (Consultado: 3-9-2023)
- Finn, A., Grewal, D. y Vajzovic, L. (2018). Argus II retinal prosthesis system: A review of patient selection criteria, surgical considerations, and post-operative outcomes. *Clinical Ophthalmology*. [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29942114/> (Consultado: 3-9-2023)
- Future of Privacy Forum. (2021). Privacy and the Connected Mind: Understanding the Data Flows and Privacy Risks of Brain-Computer Interfaces. *Future of Privacy Forum e IBM*. [PDF] Disponible en: <https://fpf.org/wp-content/uploads/2021/11/FPF-BCI-Report-Final.pdf> (Consultado: 3-9-2023)
- Garden, H., Bowman, D., Haesler, S. y Winickoff, D. (2016). Neurotechnology and Society: Strengthening Responsible Innovation in Brain Science. *Neuron*. [PDF] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0896627316308030> (Consultado: 3-9-2023)
- Gaudry, K., Ayaz, A., Bedows, A., Celnik, P., Eagleman, D., Grover, P., Illes, J., Rao, R., Robinson, J., Thyagarajan, K. y Working Group on Brain-Interfacing Devices in 2040. (2021). Projections and the Potential Societal Impact of the Future of Neurotechnologies. *Frontiers in Neuroscience*. [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34867139/> (Consultado: 3-9-2023)
- Global Neuroethics Summit Delegates. (2018). Neuroethics Questions to Guide Ethical Research in the International Brain Initiatives. *Neuron*. [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30308169/> (Consultado: 3-9-2023)
- Hallinan, D. (2021). A Normative Framework for the Reconciliation of EU Data Protection Law and Medical Research Ethics. *Medical Law Review*, 29(3), pp. 446–467. [online] Disponible en: <https://academic.oup.com/medlaw/article-abstract/29/3/446/6352247> (Consultado: 3-9-2023)

Halpern, S. (2020). The Neuroscience of Picking a Presidential Candidate. The New Yorker. [online] Disponible en: <https://www.newyorker.com/tech/annals-of-technology/the-neuroscience-of-picking-a-presidential-candidate> (Consultado: 3-9-2023)

Hampson, M., Ruiz, S. y Ushiba, J. (2020). Neurofeedback. *NeuroImage*, 218, p. 116473. [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31863913/> (Consultado: 3-9-2023)

Hamzelou, J. (2023). A brain implant changed her life. Then it was removed against her will. MIT Technology Review. [online] Disponible en: <https://www.technologyreview.com/2023/05/25/1073634/brain-implant-removed-against-her-will/> (Consultado: 3-9-2023)

Harmsen, I., Elias, J., Beyn, M., Boutet, A., Pancholi, A., Germann, J., Mansouri, A., Lozano, C. y Lozano, A. (2020). Clinical trials for deep brain stimulation: Current state of affairs. *Brain Stimulation*, 13(2). [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31786180/> (Consultado: 3-9-2023)

Hendriks, S., Grady, C., Ramos, K., Chiong, W., Fins, J., Ford, P., Goering, S., Greely, H., Hutchison, K., Kelly, M., Kim, Y., Klien, E., Lisanby, S., Mayberg, H., Maslen, H., Miller, F., Rommelfanger, K., Sheth, S. y Wexler, A. (2019). Ethical Challenges of Risk, Informed Consent, and Posttrial Responsibilities in Human Research with Neural Devices: A Review. *JAMA Neurology*. [online] Disponible en: <https://jamanetwork.com/journals/jamaneurology/article-abstract/2752422> (Consultado: 3-9-2023)

Hope, C. (2012). A cap holds electrodes in place while recording an EEG. Wikipedia. [imagen] Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EEG_Recording_Cap.jpg (Consultado: 3-9-2023)

Human Brain Project. (s.f.). Strategy and Vision. [online] Disponible en: <https://www.humanbrainproject.eu/en/science-development/scientific-strategy-vision/> (Consultado: 3-9-2023)

Human Brain Project y EBRAINS. (s.f.). Página principal. [online] Disponible en: <https://www.humanbrainproject.eu/en/about-hbp/human-brain-project-ebrains> (Consultado: 3-9-2023)

Hutton, T. (2014). The Clinical-Application of Transcranial Magnetic Stimulation. *Psychiatric Annals*, 44(6). [online] Disponible en: <https://journals.healio.com/doi/10.3928/00485713-20140609-09> (Consultado: 3-9-2023)

IDUN. (s.f.). White Paper: Everything we do is backed by data. IDUN Technologies. [online] Disponible en: <https://iduntechnologies.com/2023/05/04/white-paper/> (Consultado: 3-9-2023)

IEEE brain. (s.f.). Neurotechnologies: The Next Technology Frontier. [online] Disponible en: <https://brain.ieee.org/topics/neurotechnologies-the-next-technology-frontier/> (Consultado: 3-9-2023)

IEEE Standards Association. (2020). Standards Roadmap: Neurotechnologies for brain-machine interfacing. [PDF] Disponible en: <https://standards.ieee.org/wp-content/uploads/import/documents/presentations/ieee-neurotech-for-bmi-standards-roadmap.pdf> (Consultado: 3-9-2023)

Ienca, M. (2021). Common Human Rights Challenges Raised by Different Applications of Neurotechnologies in the Biomedical Fields. Committee on Bioethics (DH-BIO) of the Council of Europe. [PDF] Disponible en: <https://rm.coe.int/report-final-en/1680a429f3> (Consultado: 3-9-2023)

- lenca, M., Fins, J., Jox, R., Jotterand, F., Voeneke, S., Andorno, R., Ball, T., Castelluccia, C., Chavarriaga, R., Chneiweiss, H., Ferretti, A., Friedrich, O., Hurst, S., Merkel, G., Molnár-Gábor, F., Rickli, J., Schneibner, J., Vayena, E., Yuste, R. y Kellmeyer, P. (2022). Towards a Governance Framework for Brain Data. *Neuroethics*, 15(2). [PDF] Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s12152-022-09498-8.pdf> (Consultado: 3-9-2023)
- lenca, M. y Malgieri, G. (2022). Mental data protection and the GDPR. *Journal of Law and the Biosciences*, 9(1). [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35496983/> (Consultado: 3-9-2023)
- Information Commissioner's Office. (2023). ICO tech futures: neurotechnology. [PDF] Disponible en: <https://ico.org.uk/media/about-the-ico/research-and-reports/ico-tech-futures-neurotechnology-0-1.pdf> (Consultado: 3-9-2023)
- Insel, T. (2018). Digital phenotyping: a global tool for psychiatry. *World Psychiatry*. [PDF] Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6127813/> (Consultado: 3-9-2023)
- Institute for Health Metrics and Evaluation. (s.f.). Global Burden of Disease (GBD). [online] Disponible en: <https://www.healthdata.org/gbd/about> (Consultado: 3-9-2023)
- Iota Biosciences. (s.f.). Página principal. [online] Disponible en: <https://iota.bio/> (Consultado: 3-9-2023)
- Jayarathne, I., Cohen, M. y Amarakeerthi, S. (2020). Person identification from EEG using various machine learning techniques with inter-hemispheric amplitude ratio. *PLOS ONE*, 15(9), e0238872. [online] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32915850/> (Consultado: 3-9-2023)
- Jiang, L., Stocco, A., Losey, D., Abernethy, J.A., Prat, C. y Rao, R. (2019). BrainNet: A Multi-Person Brain-to-Brain Interface for Direct Collaboration Between Brains. *Scientific Reports*, 9(1). [PDF] Disponible en: <https://arxiv.org/abs/1809.08632> (Consultado: 3-9-2023)
- Johnson, W. (2020). Catching Up with Convergence: Strategies for Bringing Together the Fragmented Regulatory Governance of Brain-Machine Interfaces in the United States. *SSRN Electronic Journal*. [PDF] Disponible en: <https://lawcommons.luc.edu/annals/vol30/iss1/5/> (Consultado: 3-9-2023)
- Jwa, A. y Poldrack, R. (2022). Addressing privacy risk in neuroscience data: from data protection to harm prevention. *Journal of Law and the Biosciences*, 9(2). [PDF] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/363415171_Addresssing_privacy_risk_in_neuroscience_data_from_data_protection_to_harm_prevention (Consultado: 3-9-2023)
- Kapitonova, M., Kellmeyer, P., Vogt, S. y Ball, T. (2022). A Framework for Preserving Privacy and Cybersecurity in Brain-Computer Interfacing Applications. *arXivLabs*. [PDF] Disponible en: <https://arxiv.org/abs/2209.09653> (Consultado: 3-9-2023)
- Kasten, M., levins, A. y Moritz, C. (2015). *Neural Prosthesis*. eLS. Wiley, pp. 1-9. [online] Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9780470015902.a0024011> (Consultado: 3-9-2023)
- Kim, T., Nguyen, P., Pham, N., Bui, N., Truong, H., Ha, S. y Vu, T. (2020). Epileptic Seizure Detection and Experimental Treatment: A Review. *Frontiers in Neurology*. [PDF] Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fneur.2020.00701/full> (Consultado: 3-9-2023)

- Knott, C., Gomori, S., Nguyen, M., Pedrazzani, S., Sattaluri, S., Mierzwa, F. y Chantala, K. (2021). Connecting and linking neurocognitive, digital phenotyping, physiologic, psychophysical, neuroimaging, genomic, and sensor data with survey data. *EPJ Data Science*, 10(1). [PDF] Disponible en: <https://epjdatascience.springeropen.com/articles/10.1140/epjds/s13688-021-00264-z> (Consultado: 3-9-2023)
- Kosmyna, N. y Maes, P. (2019). AttentivU: An EEG-Based Closed-Loop-Biofeedback System for Real-Time Monitoring and Improvement of Engagement for Personalized Learning. *Sensors*, 19(23). [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31783646/> (Consultado: 3-9-2023)
- Kuersten, A. y Hamilton, R. (2016). Minding the 'gaps' in the federal regulation of transcranial direct current stimulation devices. *Journal of Law and the Biosciences*, 3(2), 309–317. [PDF] Disponible en: <https://repository.upenn.edu/entities/publication/db91223d-c9c4-4bc2-ac1c-a53052dc0cb9> (Consultado: 3-9-2023)
- Laurie, G., Mallia, P., Frenkel, D. y Krajewska, A. (2010). Managing Access to Biobanks: How Can We Reconcile Individual Privacy and Public Interests in Genetic Research? *Medical Law International*. [online] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/269602036_Managing_Access_to_Biobanks_How_Can_We_Reconcile_Individual_Privacy_and_Public_Interests_in_Genetic_Research (Consultado: 3-9-2023)
- Leentjens, A., Visser-Vandewalle, V., Temel, Y. y Verhey, F. (2004). Manipulation of mental competence: an ethical problem in a case of electric stimulation of the subthalamic nucleus for severe Parkinson's disease. *Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde*, 148, pp. 1394–1398. [online] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15291423/> (Consultado: 4-9-2023)
- Libet, B., Wright, E. y Gleason, C. (1982). Readiness-potentials preceding unrestricted 'spontaneous' vs. pre-planned voluntary acts. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 54(3). [online] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6179759/> (Consultado: 4-9-2023)
- Lighthart, S., Douglas, T., Bublitz, C., Koojimans, T. y Meynen, G. (2021). Forensic Brain-Reading and Mental Privacy in European Human Rights Law: Foundations and Challenges. *Neuroethics*, 14(2). [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35186162/> (Consultado: 4-9-2023)
- Marchant, G., Tournas, L. y Gutierrez, C. (2020). Governing Emerging Technologies Through Soft Law: Lessons for Artificial Intelligence. *Jurimetrics*, 61(1). [PDF] Disponible en: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3761871 (Consultado: 4-9-2023)
- McClure, S., Li, J., Tomlin, D., Cypert, K., Montague, L. y Read Montague, P. (2004). Neural correlates of behavioral preference for culturally familiar drinks. *Neuron*, 44(2). [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15473974/> (Consultado: 4-9-2023)
- Medical gallery of Blausen Medical. (2014). Cochlear Implant. Wikimedia. [imagen] Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blausen_0244_CochlearImplant_01.png (Consultado: 4-9-2023)
- Mesthene, E. (1969). Technology and humanistic values. *Computers and the Humanities*, 4(1), pp. 1–10. [online] Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02393443> (Consultado: 4-9-2023)

Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital. (s.f.). España Digital 2025. [PDF] Disponible en: https://avancedigital.mineco.gob.es/programas-avance-digital/Documents/EspanaDigital_2025_TransicionDigital.pdf (Consultado: 4-9-2023)

Molnar, A. (2020). We're Neurable... Nice to Meet You. Neurable Inc. [online] Disponible en: <https://medium.com/@neurable/were-neurable-nice-to-meet-you-8eb0bb7b58e9> (Consultado: 4-9-2023)

La Moncloa. (2021). Sánchez presenta la Carta de Derechos Digitales, con la que "España se sitúa a la vanguardia internacional en la protección de derechos de la ciudadanía". [online] Disponible en: <https://www.lamoncloa.gob.es/presidente/actividades/Paginas/2021/140721-derechos-digitales.aspx> (Consultado: 4-9-2023)

La Moncloa. (2022). El Gobierno lanza el Centro Nacional de Neurotecnología, Spain Neurotech, pionero en Europa. [online] Disponible en: <https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/asuntos-economicos/Paginas/2022/221222-centro-nacional-neurotecnologia.aspx> (Consultado: 4-9-2023)

Morse, S. (2006). Brain Overclaim Syndrome and Criminal Responsibility: A Diagnostic Note. Ohio State Journal of Criminal Law, 3. [PDF] Disponible en: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=896753 (Consultado: 4-9-2023)

Moses, D., Metzger, S., Liu, J., Anumanchipalli, G., Makin, J., Sun, P., Chartier, J., Dougherty, M., Liu, P., Abrams, G., Tu-Chan, A., Ganguly, K. y Chang, E. (2021). Neuroprosthesis for Decoding Speech in a Paralyzed Person with Anarthria. New England Journal of Medicine, 385(3). [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34260835/> (Consultado: 4-9-2023)

Moss, A. y Rommelfanger, K. (2021). How neuroethics can advance innovations for positive social impact. World Economic Forum. [online] Disponible en: <https://www.weforum.org/agenda/2021/03/neuroethics-can-advance-neuro-innovations-for-social-impact/> (Consultado: 4-9-2023)

Müller, O. y Rotter, S. (2017). Neurotechnology: Current Developments and Ethical Issues. Frontiers in Systems Neuroscience, 11. [PDF] Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnsys.2017.00093/full> (Consultado: 4-9-2023)

Muñoz, K., Kostick, K., Torgerson, L., Zuk, P., Kalwani, L., Sanchez, C., Blumenthal-Barby, J., Storch, E. y Lázaro-Muñoz, G. (2021). Pressing ethical issues in considering pediatric deep brain stimulation for obsessive-compulsive disorder. Brain Stimulation, 14(6). [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34700055/> (Consultado: 4-9-2023)

Neurotech Network. (s.f.). Página principal. [online] Disponible en: <https://neurotechnetwork.org/> (Consultado: 4-9-2023)

NIH. (s.f.). The BRAIN Initiative. Página principal. [online] Disponible en: <https://braininitiative.nih.gov> (Consultado: 4-9-2023)

Nishimoto, S., Vu, A., Naselaris, T., Benjamini, Y., Yu, B. y Gallant, J. (2011). Reconstructing Visual Experiences from Brain Activity Evoked by Natural Movies. Current Biology, 21(19), pp. 1641-1646. [PDF] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982211009377> (Consultado: 4-9-2023)

Núñez-Cansado, M., López López, A. y Caldevilla Domínguez, D. (2020). Situation of Neuromarketing Consulting in Spain. Frontiers in Psychology, 11. [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32982824/> (Consultado: 4-9-2023)

OECD. (s.f. a). List of OECD Member countries - Ratification of the Convention on the OECD. [online] Disponible en: <https://www.oecd.org/about/document/ratification-oecd-convention.htm> (Consultado: 4-9-2023)

OECD. (s.f. b). Neurotechnology in and for society: Deliberation, stewardship and trust. [online] Disponible en: <https://www.oecd.org/health/emerging-tech/neurotechnology-in-and-for-society.htm> (Consultado: 4-9-2023)

OECD. (2019). OECD Recommendation on Responsible Innovation in Neurotechnology. [online] Disponible en: <https://www.oecd.org/science/recommendation-on-responsible-innovation-in-neurotechnology.htm> (Consultado: 4-9-2023)

Oficina C. (s.f.). La Mesa del Congreso selecciona seis nuevos temas para la elaboración de los informes de la Oficina C. [online] Disponible en: <https://www.oficinac.es/novedades/la-mesa-del-congreso-selecciona-seis-nuevos-temas-para-la-elaboracion-de-los-informes-de> (Consultado: 4-9-2023)

OpenBCI. (2023). Assistive Neurotechnology Takes Flight at TED2023. [online] Disponible en: <https://openbci.com/community/assistive-neurotechnology-takes-flight-at-ted2023/> (Consultado: 4-9-2023)

O'Shaughnessy, M., Johnson, W., Tournas, L., Rozell, C. y Rommelfanger, K. (2022). Neuroethics guidance documents: Principles, analysis, and implementation strategies. Revista electrónica SSRN. [PDF] Disponible en: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4035992 (Consultado: 4-9-2023)

O'Sullivan, S., Chneiweiss, H., Pierucci, A. y Rommelfanger, K. (2022). Rapporteur Report, Neurotechnologies and Human Rights Framework: Do we need new rights? Steering Committee for Human Rights in the fields of Biomedicine and Health (CDBIO). [PDF] Disponible en: <https://www.coe.int/en/web/bioethics/assessing-the-relevance-and-sufficiency-of-the-existing-human-rights-framework-to-address-the-issues-raised-by-the-applications-of-neurotechnologies> (Consultado: 4-9-2023)

Oullier, O. (2012). Clear up this fuzzy thinking on brain scans. Nature, 483(7387). [PDF] Disponible en: <https://www.nature.com/articles/483007a> (Consultado: 4-9-2023)

Paek, A., Brantley, J., Evans, B. y Contreras-Vidal, J. (2021). Concerns in the Blurred Divisions between Medical and Consumer Neurotechnology. IEEE Systems Journal, 15(2). [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35126800/> (Consultado: 4-9-2023)

Parens, E. y Johnston, J. (2014). Neuroimaging: Beginning to Appreciate Its Complexities. Hastings Center Report, 44(SUPPL2). [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24634082/> (Consultado: 4-9-2023)

Patch, K. (2021). Neural dust swept up in latest leap for bioelectronic medicine. Nature Biotechnology. [online] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33692519/> (Consultado: 4-9-2023)

Pew Research Center. (2022). AI and Human Enhancement: Americans' Openness Is Tempered by a Range of Concerns. [PDF] Disponible en: https://www.pewresearch.org/internet/wp-content/uploads/sites/9/2022/03/PS_2022.03.17_AI-HE_REPORT.pdf (Consultado: 4-9-2023)

- Pfotenhauer, S., Frahm, N., Winickoff, D., Benrimoh, D., Illes, J. y Marchant, G. (2021). Mobilizing the private sector for responsible innovation in neurotechnology. *Nature Biotechnology*, 39(6), pp. 661–664. [PDF] Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41587-021-00947-y> (Consultado: 4-9-2023)
- Pham, M., Goering, S., Sample, M. y Huggins, J. (2018). Asilomar survey: researcher perspectives on ethical principles and guidelines for BCI research. *Brain-Computer Interfaces*, 5(4). [online] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/328722109_Asilomar_survey_researcher_perspectives_on_ethical_principles_and_guidelines_for_BCI_research (Consultado: 4-9-2023)
- Quaglio, G., Toia, P., Moser, E.I., Karapiperis, T., Amunts, K., Okabe, S., Poo, M., Rah, J., Koninck, Y., Ngai, J., Richards, L. y Bjaalie, J. (2021). The International Brain Initiative: enabling collaborative science. *The Lancet Neurology*, 20(12). [online] Disponible en: [https://www.thelancet.com/journals/lanneur/article/PIIS1474-4422\(21\)00389-6/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanneur/article/PIIS1474-4422(21)00389-6/fulltext) (Consultado: 4-9-2023)
- Rainey, S., McGillivray, K., Akintoye, S., Fothergill, T., Bublitz, C. y Stahl, B. (2020). Is the European Data Protection Regulation sufficient to deal with emerging data concerns relating to neurotechnology? *Journal of Law and the Biosciences*, 7(1). [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34386243/> (Consultado: 4-9-2023)
- Regalado, A. (2020). Elon Musk’s Neuralink is neuroscience theater. *MIT Technology Review*. [online] Disponible en: <https://www.technologyreview.com/2020/08/30/1007786/elon-musks-neuralink-demo-update-neuroscience-theater/> (Consultado: 4-9-2023)
- Regulatory Horizons Council UK. (2022). Neurotechnology Regulation. The Regulatory Horizons Council. [PDF] Disponible en: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1135956/rhc-neurotechnology-regulation.pdf (Consultado: 4-9-2023)
- Research and Markets. (2022). The Market for Neurotechnology: 2022-2026. [online] Disponible en: <https://www.researchandmarkets.com/reports/4636680/the-market-for-neurotechnology-2022-2026> (Consultado: 4-9-2023)
- Robinson, J., Rommelfanger, K., Anikeeva, P., Etienne, A., French, J., Gelinas, J., Grover, P. y Picard, R. (2022). Building a culture of responsible neurotech: Neuroethics as socio-technical challenges. *Neuron*. [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35671759/> (Consultado: 4-9-2023)
- Rommelfanger, K., Pustilnik, A. y Salles, A. (2022). Mind the Gap: Lessons Learned from Neurorights. *Science & Diplomacy*. [online] Disponible en: <https://www.sciencediplomacy.org/article/2022/mind-gap-lessons-learned-neurorights> (Consultado: 4-9-2023)
- Rommelfanger, K., Ramos, K. y Salles, A. (2023). Conceptual conundrums for neuroscience. *Neuron*. [online] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36863321/> (Consultado: 4-9-2023)
- Royal Society. (2019). iHuman: Blurring lines between mind and machine. [PDF] Disponible en: <https://royalsociety.org/topics-policy/projects/i-human-perspective/> (Consultado: 4-9-2023)

Sáez, R. (2023). Elon Musk logra el permiso para que Neuralink pruebe sus implantes cerebrales en humanos. La Vanguardia. [online] Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/tecnologia/innovacion/20230526/8996254/elon-musk-logra-permiso-neuralink-pruebe-implantes-cerebrales-humanos-pmv.html> (Consultado: 4-9-2023)

Sarkar, A., Dowker, A. y Kadosh, R. (2014). Cognitive enhancement or cognitive cost: Trait-specific outcomes of brain stimulation in the case of mathematics anxiety. *Journal of Neuroscience*, 34(50). [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25505313/> (Consultado: 4-9-2023)

Sattler, S. y Pietralla, D. (2022). Public attitudes towards neurotechnology: Findings from two experiments concerning Brain Stimulation Devices (BSDs) and Brain-Computer Interfaces (BCIs). *PLOS ONE*, 17. [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36350815/> (Consultado: 4-9-2023)

Schambra, H., Bikson, M., Wager, T., DosSantos, M. y DaSilva, A. (2014). It's all in your head: reinforcing the placebo response with tDCS. *Brain Stimulation*, pp. 623–624. [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24810955/> (Consultado: 4-9-2023)

Sczesny-Kaiser, M., Höffken, O., Aach, M., Cruciger, O., Grasmücke, D., Meindl, R., Schildhauer, T., Schwenkreis, P. y Tegenthoff, M. (2015). HAL® exoskeleton training improves walking parameters and normalizes cortical excitability in primary somatosensory cortex in spinal cord injury patients. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 12(1). [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26289818/> (Consultado: 4-9-2023)

SharpBrains. (2020). Market Report on Pervasive Neurotechnology: A Groundbreaking Analysis of 10,000+ Patent Filings Transforming Medicine, Health, Entertainment and Business. [online] Disponible en: <https://sharpbrains.com/pervasive-neurotechnology/> (Consultado: 4-9-2023)

da Silva Castanheira, J., Orozco Perez, H., Mistic, B. y Baillet, S. (2021). Brief segments of neurophysiological activity enable individual differentiation. *Nature Communications*, 12(1). [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34588439/> (Consultado: 4-9-2023)

Soon, C., Brass, M., Heinz, H. y Haynes, J. (2008). Unconscious determinants of free decisions in the human brain. *Nature Neuroscience*, 11(5). [online] Disponible en: <https://www.nature.com/articles/nn.2112> (Consultado: 4-9-2023)

Standaert, M. (2019). Chinese primary school halts trial of device that monitors pupils' brainwaves. *The Guardian*. [online] Disponible en: <https://www.theguardian.com/world/2019/nov/01/chinese-primary-school-halts-trial-of-device-that-monitors-pupils-brainwaves> (Consultado: 4-9-2023)

Strickland, E. (2017). Startup Neurable Unveils the World's First Brain-Controlled VR Game. *IEEE Spectrum*. [online] Disponible en: <https://spectrum.ieee.org/brainy-startup-neurable-unveils-the-worlds-first-braincontrolled-vr-game> (Consultado: 4-9-2023)

Strickland, E. y Harris, M. (2022). What Happens When a Bionic Body Part Becomes Obsolete?: Blind People with Second Sight's Retinal Implants Found Out. *IEEE Spectrum*, 59(3), pp. 24–31. [online] Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9729945> (Consultado: 4-9-2023)

Tang, J., LeBel, A., Jain, S. y Huth, G. (2022). Semantic reconstruction of continuous language from non-invasive brain recordings. bioRxiv. [PDF] Disponible en: <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2022.09.29.509744v1> (Consultado: 4-9-2023)

Taylor, L. y Rommelfanger, K. (2022). Mitigating white Western individualistic bias and creating more inclusive neuroscience. Nature Reviews Neuroscience. [online] Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41583-022-00602-8> (Consultado: 4-9-2023)

Tournas, L. y Johnson, W. (2023). Ambiguities in Neurotech Regulation. Issues in Science and Technology, 39(2), pp. 48–49. [PDF] Disponible en: <https://issues.org/wp-content/uploads/2022/12/48-49-Tournas-Johnson-Ambiguities-in-Neurotech-Regulation-Winter-2023.pdf> (Consultado: 4-9-2023)

Trimper, J., Wolpe, P. y Rommelfanger, K. (2014). When ‘I’ becomes ‘We’: ethical implications of emerging brain-to-brain interfacing technologies. Frontiers in Neuroengineering, 7. [PDF] Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fneng.2014.00004/full> (Consultado: 4-9-2023)

Tursic, A., Eck, J., Lührs, M., Linden, D. y Goebel, R. (2020). A systematic review of fMRI neurofeedback reporting and effects in clinical populations. NeuroImage: Clinical, 28. [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33395987/> (Consultado: 4-9-2023)

UN Human Rights Council. (s.f.). A/HRC/51/L.3 Vote Item 3 - 40th Meeting, 51st Regular Session Human Rights Council. [vídeo] Disponible en: <https://media.un.org/en/asset/k1d/k1dcro5var> (Consultado: 4-9-2023)

Valizadeh, S., Liem, F., Mérillat, S., Hänggi, J. y Jäncke, L. (2018). Identification of individual subjects on the basis of their brain anatomical features. Scientific Reports, 8(1). [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29618790/> (Consultado: 4-9-2023)

Vedam-Mai, V., Deisseroth, K., Giordano, J., Lazaro-Munoz, G., Chiong, W., Suthana, N., Langevin, J., Gill, J., Goodman, W., Provenza, N., Halpern, C., Shivacharan, R., Cunningham, T., Sheth S., Pouratian, N., Scangos, K., Mayberg, H., Horn, A., Johnson, K., Butson, C., Gilron, R., Hemptinne, C., Wilt, R., Yaroshinsky, M., Little, S., Starr, P., Worrell, G., Shirvalkar, P., Chang, E., Volkmann, J., Muthuraman, M., Groppa, S., Kühn, A., Li, L., Johnson, M., Otto, K., Raike, R., Goetz, S., Wu, C., Silburn, P., Cheeran, B., Pathak, Y., Malekmohammadi, M., Gunduz, A., Wong, J., Cerner, S., Hu, W., Shukla, A., Ramirez-Zamora, A., Deeb, W., Patterson, A., Foote, K. y Okun, M. (2021). Proceedings of the Eighth Annual Deep Brain Stimulation Think Tank: Advances in Optogenetics, Ethical Issues Affecting DBS Research, Neuromodulatory Approaches for Depression, Adaptive Neurostimulation, and Emerging DBS Technologies. Frontiers in Human Neuroscience, 15. [PDF] Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2021.644593/full> (Consultado: 4-9-2023)

Velasquez-Manoff, M. (2020). The Brain Implants That Could Change Humanity. The New York Times. [online] Disponible en: <https://www.nytimes.com/2020/08/28/opinion/sunday/brain-machine-artificial-intelligence.html> (Consultado: 4-9-2023)

Vilela, M. y Hochberg, L. (2020). Applications of brain-computer interfaces to the control of robotic and prosthetic arms. Handbook of Clinical Neurology. [online] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32164870/> (Consultado: 4-9-2023)

Wachter, S. y Mittelstadt, B. (2019). A Right to Reasonable Inferences: Re-Thinking Data Protection Law in the Age of Big Data and AI. *Columbia Business Law Review* (2). [PDF] Disponible en: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3248829 (Consultado: 4-9-2023)

Wagner, F., Mignardot, J.B., Le Goff-Mignardot, C., Demesmaeker, R., Komi, S., Capogrosso, M., Rowald, A., Seáñez, I., Caban, M., Pirondini, E., Vat, M., McCracken, L., Heimgartner, R., Fodor, I., Watrin, A., Seguin, S., Paoles, E., van den Keybus, K., Eberle, G., Schurch, B., Pralong, E., Becce, F., Prior, J., Buse, N., Buschman, R., Neufeld, E., Kuster, N., Carda, S., von Zitzewitz, J., Delattre, V., Denison, T., Lambert, H., Minassian, K., Bloch, J. y Courtine, G. (2018). Targeted neurotechnology restores walking in humans with spinal cord injury. *Nature*, 563(7729). [online] Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41586-018-0649-2/> (Consultado: 4-9-2023)

Wajnerman Paz, A. (2022). Is Your Neural Data Part of Your Mind? Exploring the Conceptual Basis of Mental Privacy. *Minds and Machines*, 32(2). [PDF] Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/10.1007/s11023-021-09574-7> (Consultado: 4-9-2023)

Wang, L., Wang, C., Yang, H., Shao, Q., Niu, W., Yang, Y. y Zheng, F. (2022). Halo Sport Transcranial Direct Current Stimulation Improved Muscular Endurance Performance and Neuromuscular Efficiency During an Isometric Submaximal Fatiguing Elbow Flexion Task. *Frontiers in Human Neuroscience*, 16. [PDF] Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2022.758891/full> (Consultado: 4-9-2023)

Wexler, A., Nagappan, A., Kopyto, D. y Choi, R. (2020). Neuroenhancement for Sale: Assessing the Website Claims of Neurofeedback Providers in the USA. *Journal of Cognitive Enhancement*, 4(4). [online] Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41465-020-00170-8> (Consultado: 4-9-2023)

Wilt, J., Merner, A., Zeigler, J., Montpetite, M. y Kubu, C. (2021). Does Personality Change Follow Deep Brain Stimulation in Parkinson's Disease Patients? *Frontiers in Psychology*. [PDF] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34393883/> (Consultado: 4-9-2023)

Yuste, R., Goering, S., Agüera y Arcas, B., Bi, G., Carmena, J., Carter, A., Fins, J., Friesen, P., Gallant, J., Huggins, J., Illes, J., Kellmeyer, P., Klein, E., Marblestone, A., Mitchell, C., Parens, E., Pham, M., Rubel, A., Sadato, N., Sullivan, L., Teicher, M., Wasserman, D., Wexler, A., Whittaker, M. y Wolpaw, W. (2017). Four ethical priorities for neurotechnologies and AI. *Nature*, 551(7679), pp. 159-163. [PDF] Disponible en: <https://www.nature.com/articles/551159a> (Consultado: 4-9-2023)

Agradecimientos

Autora

Dra. Karen S. Rommelfanger, fundadora y directora del Institute of Neuroethics Think and Do Tank y directora general de Neuroethics Co-Lab. Doctora en Neurociencia con formación posdoctoral en neurociencia, ingeniería neural y neuroética, y profesora en los departamentos de Neurología y Psiquiatría y Ciencias del Comportamiento de la Universidad Emory de Atlanta, EE. UU.

Sobre el Institute of Neuroethics

El Institute of Neuroethics es el primer think tank dedicado íntegramente a la neuroética. El laboratorio Neuroethics and Neurotech Innovation Collaboratory estudia cómo una neurociencia en constante evolución pone en cuestión las definiciones sociales de enfermedad y bienestar, la neuroética intercultural y las políticas intersectoriales en materia de neuroética. La consultoría Ningen Neuroethics Co-Lab implementa estrategias y neuroética aplicada.

Coordinadora de investigación y del informe

Olivia Blanchard, investigadora sénior de Digital Future Society Think Tank

Traducción, edición y diseño

Natalia Montoro, traductora

Marta Campo, editora y correctora

Manuela Moulian, diseñadora y autora de las infografías

Equipo de Digital Future Society Think Tank

Gracias a la siguiente compañera por sus aportaciones y su apoyo en la elaboración de este informe:

Tanya Álvarez, investigadora de Digital Future Society Think Tank

Personas entrevistadas

Queremos dar las gracias a las siguientes personas expertas por el tiempo que han dedicado a las entrevistas:

Carolina Aguilar, codirectora y directora general de INBRAIN Neuroelectronics

María López Valdés, cofundadora y directora general de Bitbrain

Rafael Yuste, profesor de la Universidad de Columbia de Nueva York y presidente de la NeuroRights Foundation

Este informe se debe citar de la siguiente manera:

Digital Future Society (2023). El desarrollo humanista de la neurotecnología, una nueva oportunidad para España.

Datos de contacto:

thinktank@digitalfuturesociety.com

