

TECHDISPATCH

NEURODATOS



Project Number: 2024.2368
Title: EDPS TechDispatch 2024-1

PRINTED	ISBN 978-92-9242-889-1	doi: 10.2804/018628	QT-AD-24-001-ES-C
HTML	ISBN 978-92-9242-887-7	doi: 10.2804/829278	QT-AD-24-001-ES-Q
PDF	ISBN 978-92-9242-888-4	doi: 10.2804/15092	QT-AD-24-001-ES-N

1. ¿Qué son los neurodatos?

El cerebro, junto con la médula espinal, constituye **el sistema nervioso central**, que desempeña un papel crucial en la regulación y coordinación de diversas funciones corporales, incluidas las capacidades cognitivas humanas. La intrincada y singular actividad del cerebro siempre se ha considerado un campo de estudio particularmente interesante.

A lo largo de los años, se han propuesto diferentes técnicas para interpretar o interactuar con las funciones del cerebro humano. Las técnicas de imagen cerebral se desarrollaron originalmente, y todavía se aplican en su mayoría, en el contexto de la **medicina clínica y la investigación neurocientífica**. La estimulación magnética transcraneal (EMT) ha demostrado ser eficaz para el tratamiento de la migraña¹, la estimulación cerebral profunda (ECP) se utiliza cada vez más como tratamiento para el temblor esencial, la enfermedad de Parkinson, la distonía y el trastorno obsesivo-compulsivo y las interfaces cerebro-ordenador (Brain-Computer Interface o BCI) más recientes son capaces de restaurar sentidos como la vista² o el oído³.

Sin embargo, en los últimos años, existe **una tendencia preocupante** hacia un uso técnicamente posible, aunque ética y legalmente cuestionable, de algunas neurotecnologías **dentro de un mercado de servicios en constante evolución**. Por ejemplo, diferentes empresas multinacionales utilizan servicios **de investigación de neuromarketing** para medir la reacción del cerebro humano a anuncios o productos. Además, las empresas de neuromarketing aplican técnicas de neuroimagen para estudiar, analizar y predecir el comportamiento de los consumidores^{4,5}. Las neurotecnologías¹ también se han utilizado en dispositivos portátiles para una serie de **actividades cotidianas**, como la educación, los juegos y el entretenimiento (por ejemplo, cascos inalámbricos conectados a teléfonos inteligentes y ordenadores personales)⁶. El uso de sistemas de inteligencia artificial («IA») también puede hacer técnicamente posible la explotación de los neurodatos para fines tales como la aplicación de la ley, el control de migrantes y solicitantes de asilo, así como por parte de entidades privadas, por ejemplo, para la vigilancia laboral o comercial. En este contexto, es importante subrayar que determinados usos de los neurodatos plantean **riesgos inaceptables para los derechos fundamentales y probablemente sean ilegales con arreglo al Derecho de la Unión**. En la sección 3 de este documento se destacarán algunos de los riesgos que pueden aparecer.

Muchas **iniciativas de investigación** en todo el mundo demuestran el creciente interés en el potencial de la neurotecnología. En Estados Unidos, la llamada **Iniciativa BRAIN**^{II}, una

I. Tecnologías que monitorizan la actividad eléctrica en el cerebro con diversos fines, incluidas la neuromonitorización (evaluación en tiempo real del funcionamiento cerebral), el entrenamiento neurocognitivo (uso de ciertas bandas de frecuencia para mejorar las funciones neurocognitivas) y el control de dispositivos.

II. Abreviatura de Brain Research Through Advancing Innovative Neurotechnologies® Initiative

asociación con el objetivo común de acelerar el desarrollo de neurotecnologías innovadoras, está impulsando el Proyecto Mapa de Actividad Cerebral (Proyecto MAP)⁷. El proyecto MAP investiga las interrelaciones dinámicas de tipos celulares específicos o regiones cerebrales con especial interés en los circuitos y su disfunción, que son la base de los síntomas y la discapacidad en muchos trastornos neurológicos, mentales y de abuso de sustancias. En Asia, el **Proyecto China Brain**⁸ tiene como objetivo investigar las propiedades de las células nerviosas individuales y cómo se comunican en las sinapsis para producir funciones cognitivas como la conciencia, la gestión de la información, la memoria y el razonamiento, mejorar el diagnóstico y prevenir enfermedades cerebrales e impulsar proyectos de tecnología de la información e inteligencia artificial inspirados en el cerebro que prioricen la IA inspirada en el cerebro sobre otros enfoques. En Europa, el **Human Brain Project (HBP)**⁹ es un proyecto financiado por la Unión Europea para reproducir sintéticamente las capacidades cerebrales humanas y avanzar en la investigación en el campo de la medicina y la neurociencia. Con este fin, el proyecto está construyendo EBRAINS, una infraestructura de investigación que proporcionará acceso abierto a herramientas digitales avanzadas, conjuntos de datos y servicios para facilitar la investigación del cerebro.

Definiciones y conceptos básicos

La neurotecnología se definió en 2007 en la revista *Nature Biotechnology* como “cualquier desarrollo que permita monitorizar o modificar la función cerebral”¹⁰. Más tarde, en 2019, la OCDE retomó esta definición identificando como neurotecnologías a todos los “dispositivos y procedimientos que se utilizan para acceder, investigar, evaluar, manipular y emular la estructura y función de los sistemas neuronales”¹¹. El campo de la neurotecnología se puede dividir en diferentes subcampos dependiendo de su funcionamiento y de su interacción con el sistema nervioso.

Desde el punto de vista de su despliegue, las neurotecnologías pueden ser de tipo:

- **Invasivo.** Este subcampo abarca tecnologías que requieren que los interfaces cerebro-ordenador se implanten quirúrgicamente en el cerebro o cerca de él^{III}. Hasta hace poco, la cirugía invasiva requerida para este subcampo presentaba muchos riesgos para las personas. Hoy en día, el uso de nanotecnologías permite llegar al cerebro utilizando el sistema cardiovascular como medio y reduciendo así sustancialmente los riesgos¹².
- **No invasivo.** Este subcampo engloba tecnologías en las que los interfaces cerebro-ordenador se colocan fuera del cuerpo (por ejemplo, gafas, viseras o diademas) y no requieren ningún tipo de implantación quirúrgica.

III. Por ejemplo, en la duramadre, una capa entre el cráneo y el cerebro.

Desde el punto de vista de la interacción, las neurotecnologías pueden:

- **Registrar la actividad cerebral.** Se trata de neurotecnologías que registran la actividad del cerebro, como los electroencefalogramas (EEG)¹³ o que proporcionan una imagen del cerebro a través de una resonancia magnética funcional (fMRI).
- **Manipular la actividad cerebral.** Estas neurotecnologías son capaces de modular la actividad cerebral con efectos a corto plazo (neuroestimulación) o a largo plazo (neuromodulación).

Además, pueden ser de tipo:

- **Local.** La interacción se lleva a cabo a través de sensores en contacto directo con el cuerpo del usuario, por lo que los individuos son conscientes de la existencia de los sensores.
- **Remoto.** La interacción se produce a través de sensores que no están en contacto directo con el cuerpo del usuario, sino que se encuentran en la distancia, por lo que el usuario puede no ser consciente de su existencia^{14,15}.

En cuanto a la forma de recogida de datos, podemos distinguir entre:

- **Recolección pasiva.** El usuario no tiene que llevar a cabo explícitamente ninguna actividad para que se produzca la recogida de datos.
- **Recolección activa.** Las neurotecnologías recogen datos mientras los usuarios realizan actividades específicas como pensar explícitamente sobre algo, evocar imágenes, responder preguntas, realizar tareas físicas específicas o enfrentarse a estímulos diseñados específicamente.

Los neuroderechos son **todavía un concepto emergente y en evolución**. En 2017, los profesores Marcello Lenca y Roberto Andorno publicaron un artículo en el que, tras evaluar las implicaciones de las aplicaciones emergentes de la neurotecnología en el marco de los derechos humanos, sugerían que los derechos humanos existentes podrían no ser suficientes para responder a estas cuestiones emergentes y proponían cuatro nuevos derechos, los llamados **neuroderechos**¹⁶. Otros estudiosos, como el neurobiólogo Rafael Yuste, han trabajado en la misma dirección formulando nuevos neuroderechos.

Hasta ahora se han propuesto los siguientes neuroderechos:

1. **Libertad cognitiva.** La libertad de una persona para decidir si su actividad cerebral

y sus procesos mentales pueden ser registrados y/o modulados o no.

2. **Privacidad mental.** La libertad y la capacidad de una persona para ocultar su información mental y evitar la intrusión no consentida en su dominio cognitivo.
3. **Integridad mental.** La prohibición de la modulación no consentida o dañina de la actividad cerebral de una persona (por ejemplo, "brain hacking").
4. **Continuidad psicológica.** El derecho a preservar la propia identidad personal y la continuidad de la vida mental frente a alteraciones externas no consentidas por parte de terceros. Por ejemplo, una persona se curó de la enfermedad de Parkinson, pero la estimulación cerebral lo hizo adicto a la música de Johnny Cash¹⁷.
5. **Acceso justo.** El derecho de toda la población al acceso equitativo a los beneficios de las mejoras en la capacidad sensorial y mental a través de la neurotecnología¹⁸.

Hay que señalar que algunos académicos consideran que el desarrollo de los derechos humanos actuales y la promoción de reformas legislativas y convenciones internacionales específicas podrían ser soluciones mejores y más eficaces a las preocupaciones planteadas por las neurotecnologías^{19,20,21}.

Los neurodatos pueden definirse como la información **que se recoge del cerebro y/o del sistema nervioso**. En este documento también consideramos como neurodatos las inferencias basadas directamente en estos datos, como por ejemplo las señales emocionales o los gustos.

Hay que tener en cuenta que los neurodatos suelen recogerse de personas identificadas. A veces, las personas en cuestión se identifican a sí mismas (por ejemplo, en casos de uso relacionados con el entretenimiento), mientras que otras veces son las que gestionan los sensores empleados para recogida de datos las que las identifican (por ejemplo, en casos de uso relacionados con la salud). Incluso si la persona en cuestión no se identifica durante la recogida de neurodatos, seguiría siendo identificable, ya que existe evidencia que indica que los neurodatos permiten identificar de forma única a las personas. En consecuencia, los neurodatos de los seres humanos **son datos personales**.

Un aspecto muy relevante de las ondas cerebrales, y tal vez de otras formas de neurodatos, es que son únicas para cada individuo. Esta singularidad se ha utilizado en diferentes trabajos de investigación para construir sistemas de autenticación basados en ondas cerebrales^{22,23}. Sin embargo, la singularidad de las ondas cerebrales también permite distinguir a los individuos^{24,25} para otros fines, como por ejemplo la elaboración de perfiles.

El reciente *Informe del Comité Internacional de Bioética de la UNESCO sobre Neurotecnología*, que retoma la definición propuesta por la OCDE, destaca, efectivamente, que los neurodatos permiten **la identificación de un individuo**²⁶.

Por ello muchas organizaciones internacionales destacan la importancia del **derecho a la privacidad en relación con el tratamiento de neurodatos**. El Consejo de la Unión Europea, en la Declaración de León sobre la neurotecnología europea, se comprometió a reforzar el desarrollo de neurotecnologías centradas en el ser humano y orientadas a los derechos en la UE²⁷. El Comité Jurídico Interamericano de la OEA (CJI)²⁸ reconoce en su *Declaración del Comité Jurídico Interamericano sobre Neurociencia, Neurotecnologías y Derechos Humanos* que el derecho a la privacidad implica la protección contra la injerencia en la esfera más íntima de las personas, y abarca una serie de factores relacionados con la dignidad de la persona.

Según la *Recomendación de la OCDE sobre Innovación Responsable en Neurotecnología*, los datos cerebrales son “datos relacionados con el funcionamiento o la estructura del cerebro humano de un individuo identificado o identificable que incluye información única sobre su fisiología, salud o estados mentales”²⁹.

Y el gobierno chileno está trabajando actualmente en dos proyectos de ley relacionados con los neurodatos y los neuroderechos: un proyecto de ley para modificar la Constitución chilena y un proyecto de ley sobre neuroprotección y regulación de la investigación, desarrollo y avance en neurotecnologías. Si bien el segundo proyecto aún está en discusión, el primero fue aprobado en 2021³⁰. El objetivo no es desalentar la investigación, sino “proteger la actividad cerebral, así como la información que contiene”³¹.

2. Tratamiento de neurodatos

Teniendo en cuenta el tratamiento de los “neurodatos” tal y como se definen en este documento, se deben tener en cuenta “by” “Dada la definición de “neurodatos” considerada en este documento, se deben tener en cuenta, para cada tratamiento: (i) el tipo de datos tratados; (ii) la finalidad del tratamiento.

Si se considera, en primer lugar, **el tipo de datos tratados**, se pueden distinguir tratamientos de:

- **Datos relativos a la estructura del cerebro.** El tejido cerebral está formado por células y los espacios entre estas células. Existen diferentes técnicas que permiten medir aspectos anatómicos y fisiológicos a partir de estos elementos para comprender la estructura de las células, sus relaciones físicas o su funcionamiento a bajo nivel.

- **Datos relativos a la función y actividad del cerebro.** Diferentes técnicas permiten la recogida de las señales neuronales producidas por las principales partes del cerebro (tallo cerebral, cerebelo, tronco encefálico, etc.) a través de la neurograbación o la neuroimagen. Esta recogida de datos se puede realizar analizando el flujo sanguíneo del cerebro, ya que las regiones activas requieren más sangre oxigenada, o la actividad eléctrica del cerebro.
- **Datos relacionados con el sistema nervioso periférico.** Este tipo de datos se recogen mediante electrodos dentro de dispositivos de interfaz nerviosa periférica (PNI) diseñados para recopilar información bioeléctrica sobre la anatomía, función y actividad de los nervios. Estos dispositivos pueden ubicarse en el tronco nervioso, colocarse sobre o cerca de la superficie del tronco nervioso o dentro del propio nervio.

Un enfoque diferente es categorizar los tratamientos atendiendo a su **finalidad**. En este caso se pueden distinguir tres categorías diferentes:

CATEGORÍA 1

Tratamiento de neurodatos que proporcionan conocimiento directo o predicciones sobre la salud o el estado físico de la persona, la resolución de problemas, el razonamiento, la toma de decisiones, la comprensión, la recuperación de la memoria, la percepción, el lenguaje, las emociones, etc. Las predicciones se incluyen en esta categoría de tratamiento de datos porque los neurodatos pueden ser decodificables, hasta cierto punto, y permitir la interpretación o inferencia. Por ejemplo, los interesados pueden imaginar su propia escritura y las señales cerebrales pueden ser decodificadas y traducidas a mensajes de texto precisos. Algunas iniciativas utilizan neurodatos para inferir las emociones de los usuarios. En general, la Inteligencia Artificial se está utilizando como una herramienta para descubrir patrones que permitan decodificar la actividad cerebral.

En esta categoría se incluyen escenarios extremos como los propuestos por el campo emergente del neuroanálisis, tales como la “huella cerebral” y la **detección de mentiras**. Este campo se centra en la detección de la existencia de información específica en el cerebro mediante la medición de las ondas cerebrales o la identificación única de individuos³². El cerebro reacciona a los estímulos externos; por lo tanto, es posible entender si la persona reconoce algo concreto a través de una onda específica que se genera por el reconocimiento, que revela un “momento ajá”³³. Este concepto se puede emplear también para la detección de mentiras³⁴. Como se señala en el Dictamen conjunto del EDPB y el EDPS sobre la Ley de IA, la **validez científica** del detector de **mentiras** no está demostrada³⁵. De hecho, muchos académicos argumentan en este mismo sentido³⁶. Tampoco se ha demostrado la **validez**

científica de la IA para el reconocimiento de emociones³⁷. Y como se describe con más detalle en la sección 4, estos usos de los neurodatos pueden plantear riesgos inaceptables para los derechos fundamentales.

Los dominios de aplicación de esta categoría de tratamientos de datos son:

- **Salud.** El tratamiento de neurodatos se puede utilizar para investigar el funcionamiento del cerebro y el sistema nervioso. Por ejemplo, para entender diferentes procesos cognitivos³⁸ o las patologías que lo afectan³⁹. Pero también para la detección⁴⁰, el diagnóstico⁴¹, la predicción⁴² o la decisión sobre el tratamiento o la intervención⁴³ de diferentes afecciones, trastornos y enfermedades neurológicas o mentales.
- **Educación.** El tratamiento de neurodatos puede ayudar a mejorar el rendimiento y los resultados de aprendizaje de los estudiantes, considerando aspectos internos (habilidades, barreras, preferencias) y externos (condiciones del aula, metodología de enseñanza, planificación de la enseñanza). Por ejemplo, para tomar decisiones basadas en evidencias que optimicen los resultados obtenidos en los procesos educativos^{44,45}.
- **Entretenimiento.** Este dominio es similar al anterior, pero en lugar de optimizar los resultados de aprendizaje, busca maximizar el disfrute de los usuarios de los productos de ocio y entretenimiento entendiendo cómo los usan, cómo los perciben, cómo les impactan o cómo afectan a sus percepciones los diferentes aspectos del diseño^{46,47,48}.
- **Economía y marketing.** Este dominio es similar a los dos anteriores. Pero en este caso, los neurodatos se tratan para reducir la incertidumbre^{49,50,51}, tratando de comprender y predecir el comportamiento del consumidor (motivaciones, preferencias) y su toma de decisiones^{52,53}.
- **Mercado laboral.** El tratamiento de neurodatos se puede utilizar para realizar un seguimiento de los empleados, para ayudar a comprender y mejorar su rendimiento o durante los procesos de contratación y promoción⁵⁴.
- **Seguridad y vigilancia.** Este dominio implica un seguimiento cuidadoso del interesado para prevenir accidentes o delitos. Por ejemplo, el tratamiento de neurodatos se puede utilizar para monitorizar a conductores o pilotos^{55,56}, con el objetivo de prevenir accidentes causados por somnolencia, falta de atención, etc.

CATEGORÍA 2

Tratamiento de neurodatos que permiten el control de una aplicación o dispositivo. En este caso podemos encontrar operaciones de lectura como en la primera categoría, pero además, y gracias a los datos recogidos, una operación adicional que implica el control de un artefacto externo.

Los dominios de aplicación que se benefician de esta categoría de tratamiento de datos son:

- **Ayudas ortopédicas o protésicas, implantes médicos o vida asistida por el entorno.** El tratamiento de neurodatos se puede utilizar para ayudar a las personas con diferentes afecciones y enfermedades en su vida cotidiana^{57,58,59,60}.
- **Videojuegos, realidad virtual y metaverso.** El tratamiento de neurodatos se puede utilizar para controlar videojuegos y otros tipos de software⁶¹.
- **Robótica.** El tratamiento de neurodatos se puede utilizar para controlar alguna maquinaria, dispositivo de precisión o aplicación con las manos libres⁶².
- **Defensa.** Este dominio implica el control de sistemas de armas, robots de desactivación de explosivos, vehículos o drones⁶³.

CATEGORÍA 3

Tratamiento de neurodatos que permiten la estimulación o modulación del sujeto, logrando un neurofeedback (lazo cerrado). Esto significa que las señales del cerebro (salidas) se utilizan para generar nuevas señales que se retroalimentan nuevamente al cerebro (como entradas). Según la investigación en este campo, el neurofeedback puede ayudar a los sujetos de datos a controlar sus ondas cerebrales, sean conscientes de ello o no.

Los dominios de aplicación en esta categoría son:

- **Psicología.** El tratamiento de neurodatos se utiliza para cambiar la forma en que el cerebro responde a ciertos estímulos como método de terapia mediante la monitorización de la actividad cerebral y la retroalimentación, generalmente a través de señales visuales o auditivas⁶⁴. Por ejemplo, para tratar el TDAH (Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad), la ansiedad, la depresión, la epilepsia, el trastorno del espectro autista, el insomnio o la drogadicción.

- **Neuromejora.** El tratamiento de neurodatos se puede utilizar para mejorar las capacidades cognitivas y afectivas en personas sanas. Por ejemplo, para obtener beneficios más allá del funcionamiento normal de un cerebro promedio⁶⁵.

3. Casos de uso del tratamiento de neurodatos

En esta sección se presentan y analizan tres casos de uso, cada uno de ellos como ejemplo de cada una de las categorías de tratamiento de neurodatos presentadas en la sección anterior. El análisis se realizará con una estructura común para todos ellos (figura 1).

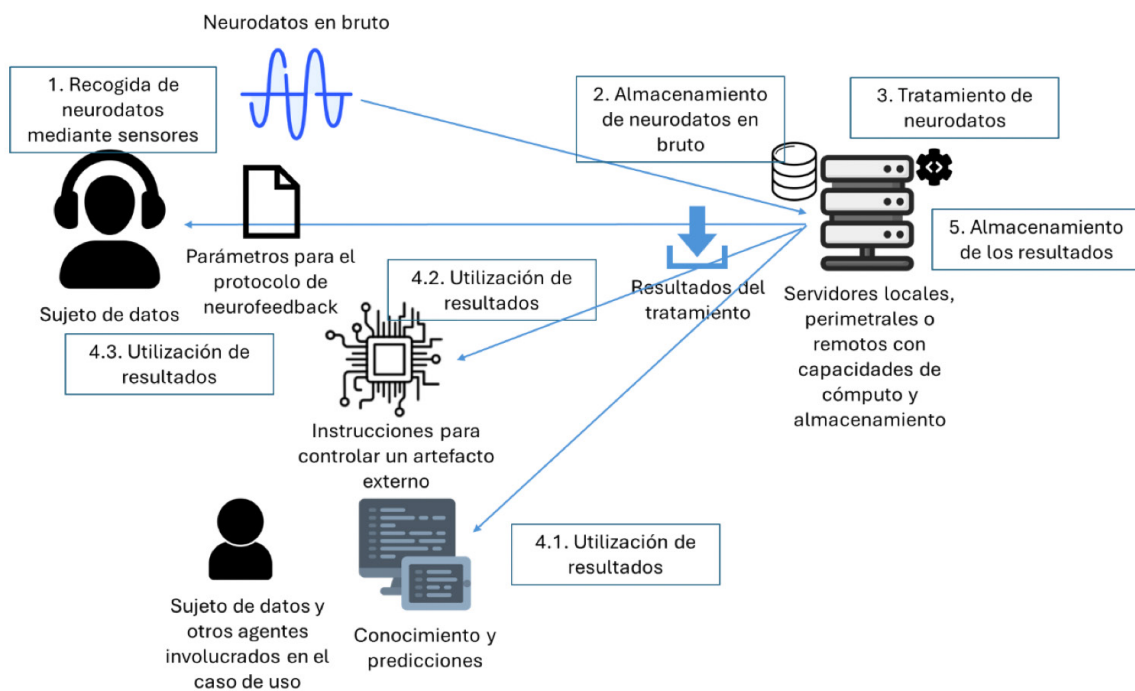


Figura 1. Estructura común para entender el tratamiento de neurodatos en diferentes casos de uso.

- 1. Recogida** de neurodatos en bruto mediante sensores.
- 1. Almacenamiento de neurodatos en bruto** en infraestructuras de almacenamiento/cómputo, una sola o una jerarquía de ellas. Por lo general, cuanto más cerca de los sensores (infraestructura local o perimetral^{IV}), mayor es el ancho de banda disponible, las latencias más bajas y mayor el control sobre los datos. Pero también, menor

IV. La infraestructura perimetral (edge) no pertenece a los usuarios/interesados, pero está cerca de ellos, físicamente cercana a la ubicación en la que se recogen los datos.

capacidad de almacenamiento y cómputo, por lo que se suele utilizar infraestructura remota o en la nube en algún momento del tratamiento de datos.

(Opcional) Se puede aplicar **filtrado o preprocesamiento** a los datos sin procesar entre los pasos 1 y 2 o después del paso 2.

3. Tratamiento en sí mismo, que difiere según la finalidad:

Categoría 1:

- a. Si el caso de uso se basa en el conocimiento obtenido directamente de los neurodatos, este conocimiento se construye y se formatea, normalmente para realizar alguna detección, tomar una decisión u obtener alguna recomendación o consejo.
- b. Si el caso de uso se basa en predicciones o inferencias, se tratan los neurodatos para obtener estos resultados. En la actualidad, los neurodatos son, muy a menudo, la entrada de modelos de IA previamente entrenados para poder realizar las inferencias deseadas.

Categoría 2: Los neurodatos se tratan para ser interpretados o decodificados. Los datos provenientes, por ejemplo, de la corteza motora, la región del cerebro involucrada en la planificación, el control y la ejecución de movimientos voluntarios, se traducen en instrucciones para el artefacto externo que se está controlando. De nuevo, los neurodatos son muy a menudo la entrada de modelos de aprendizaje automático o IA previamente entrenados para poder realizar esta traducción.

Categoría 3: Los neurodatos se tratan para decidir el protocolo de neurofeedback necesario para el entrenamiento de cada paciente o persona.

Las actividades de tratamiento se pueden ejecutar en los mismos servidores donde se almacenaron los datos en el paso anterior o en una infraestructura diferente.

4. Los resultados obtenidos en el paso anterior se utilizan con **diferentes finalidades**:

Categoría 1: Los conocimientos o predicciones se muestran o visualizan como métricas individuales o colectivas, informes, etc. a través de cuadros de mando, interfaces o aplicaciones de mensajería.

Categoría 2: Las instrucciones se comunican o envían a los artefactos externos que se desea controlar.

Categoría 3: Los parámetros de entrenamiento se comparten con los sujetos de datos como señales visuales o auditivas, o estimulación o modulación cerebral directa.

5. Almacenamiento de los resultados obtenidos para mantener gráficos y registros históricos, estadísticas, informes, etc. Los resultados se pueden almacenar en los mismos servidores donde se almacenaron inicialmente los neurodatos en bruto o en una infraestructura diferente.

Una vez comprendida esta estructura general para los casos de uso, podemos pasar a analizar tres casos concretos. Los casos de uso presentados en esta sección son ficticios pero representativos del tipo de aplicaciones que se encuentran hoy en día. Se proporcionan referencias bibliográficas para casos reales similares.

Seguimiento de la concentración y la atención en entornos educativos.

Descripción breve	Se puede monitorizar la concentración o atención de los estudiantes en entornos educativos tanto presenciales como online mediante sensores electromagnéticos portátiles y ligeros ^{66,67,68} .
Dominio de aplicación	Educación.
Sujetos de datos	Estudiantes.
Tipo de datos	Función y actividad (electromagnético).
Tipo de sensores y de recogida	No invasiva, pasiva o activa, local.
Tipo de tratamiento	Categoría 1. Tratamiento de neurodatos que proporcionan conocimiento directo o predicciones sobre la salud o el estado físico de la persona, la resolución de problemas, el razonamiento, la toma de decisiones, la comprensión, la recuperación de la memoria, la percepción, el lenguaje, las emociones, etc.
Finalidad	Seguimiento de la concentración y la atención.

En el **paso 1** las diademas distribuidas entre los estudiantes se utilizan durante el aprendizaje presencial para recoger neurodatos en bruto. La recogida de datos es tanto pasiva, que no implica la realización de ninguna tarea específica, como activa, que se refiere a la realización de tareas cognitivas específicas (por ejemplo, leer, resolver problemas, etc.). Esta recogida se realiza en momentos puntuales. Por ejemplo, a la llegada, antes del recreo, antes de comer, etc. También se miden variables de contexto, como la hora, la temperatura, la humedad, la concentración de CO2 o la iluminación.

En el **paso 2**, estos neurodatos sin procesar se almacenan en un servidor local de la escuela, donde se realizan las operaciones de filtrado y preprocesamiento. Por ejemplo, se eliminan los datos inútiles de algunos electrodos, se refieren los datos a una base común, se borran las medidas incorrectas, etc. Una vez realizadas estas operaciones, algunos de los datos resultantes, agregados y anonimizados, se envían a un servicio en la nube.

En los pasos 3 y 4:

1. Cada profesor tiene acceso a un panel de control en el ordenador de la clase con métricas y tendencias de concentración y atención individuales fáciles de entender y en tiempo real para cada alumno. De esta forma, los profesores pueden adaptar sus metodologías (materiales, enfoques, uso de la tecnología), hacer un seguimiento del impacto de las interacciones personales (profesor-alumno, alumno-alumno), proponer periodos de descanso o incluso siestas, o detectar dificultades y trastornos del aprendizaje.
2. El servicio ofrecido desde la nube asesora a los administradores de los centros educativos sobre horarios y condiciones de las aulas en cuanto a temperatura, humedad, iluminación, ventilación, etc. Estas indicaciones se obtienen introduciendo en un modelo de IA las variables de contexto medidas y las métricas de rendimiento global recibidas periódicamente (métricas de atención grupal, percepción, ejecución y memoria de trabajo).

Finalmente, en el **paso 5**, los resultados obtenidos se almacenan, localmente y en la nube, para mantener gráficos y registros históricos.

Videojuegos que se juegan con el pensamiento en lugar de con las manos.

Descripción breve	Se puede convertir la actividad eléctrica del cerebro en señales que controlen aspectos específicos del videojuego mediante sensores electromagnéticos portátiles y ligeros como diademas o cascos pueden utilizarse como mandos de juego ^{69,70} .
Dominio de aplicación	Videojuegos, realidad virtual y metaverso.
Sujetos de datos	Jugadores.
Tipo de datos	Función y actividad (electromagnético).
Tipo de sensores y de recogida	No invasiva, activa, local.
Tipo de tratamiento	Categoría 2. Tratamiento de neurodatos que permiten el control de una aplicación o dispositivo.
Finalidad	Jugar con las manos libres.

En el **paso 1**, los sensores recogen los neurodatos de los jugadores. Esta recogida es activa ya que el jugador debe imaginar un movimiento físico necesario para jugar: presionar un botón en el teclado, mover el ratón, usar el mando con una combinación concreta, etc.

En el **paso 2**, estos neurodatos sin procesar se almacenan en un servidor local, se filtran y se preprocesan.

En el **paso 3** se utiliza un modelo de IA entrenado para reconocer la actividad cerebral repetible asociada a los diferentes movimientos físicos. Este modelo permite traducir las señales cerebrales preprocesadas en actividades específicas dentro del juego. Este método a menudo se denomina “imágenes motoras” y permite al jugador controlar a un personaje con el pensamiento, por ejemplo, evocando los movimientos físicos necesarios para mover al personaje, usar un arma, etc. decodificando los neurodatos en acciones concretas. Es importante entender que los neurodatos se decodifican en un movimiento del jugador: el jugador debe pensar en las acciones realizadas con un teclado, un ratón o un mando, no en la acción que debe realizar el personaje. Por ejemplo, piensa en presionar el botón derecho en el mando de la consola, no en que el personaje se mueva hacia la derecha.

En el **paso 4**, las instrucciones generadas se envían al videojuego para producir los efectos deseados en el personaje y poder controlarlo sin usar las manos.

Finalmente, en el **paso 5**, se almacenan en el sistema algunos registros relacionados con estas instrucciones enviadas al juego (las comunicaciones realizadas entre el sistema y el juego).

Gestión del dolor crónico.

Descripción breve	Se puede gestionar el dolor crónico modificando actividad cerebral específica mediante dispositivos de neurofeedback que se utilizan en casa ⁷¹ .
Dominio de aplicación	Psicología.
Sujetos de datos	Pacientes con dolor crónico.
Tipo de datos	Función y actividad (electromagnético).
Tipo de sensores y de recogida	No invasiva, activa, local.
Tipo de tratamiento	Categoría 3. Tratamiento de neurodatos que permiten la estimulación o modulación del sujeto, logrando un neurofeedback (lazo cerrado).
Finalidad	Gestión del dolor crónico.

En el **paso 1**, los sensores recogen los neurodatos de los pacientes, todos ellos con dolor crónico. Esta recolección es activa ya que las sesiones de neurofeedback están diseñadas de forma muy específica. Por ejemplo, estas sesiones a menudo comienzan con grabaciones de referencia recopilando datos del estado de reposo de un cerebro (ojos cerrados, ojos abiertos mirando a un punto fijo, patrones de respiración previamente entrenados, etc.). Además de los neurodatos, también se miden a través de cuestionarios otras variables como el nivel de dolor actual, el estado de ánimo o la calidad del sueño de la última noche.

En el **paso 2**, estos neurodatos en bruto se almacenan en un servidor remoto donde se filtran para eliminar los artefactos producidos por los movimientos de los electrodos o los parpadeos, por ejemplo.

En el **paso 3**, un modelo de IA que se ejecuta en este servidor produce señales visuales o de audio personalizadas basadas en todos los datos recogidos en el paso 1.

En el **paso 4**, las señales generadas se envían a juegos simples que se ejecutan en las tabletas o dispositivos móviles del paciente, según sus preferencias. De esta manera, los pacientes ven una representación gamificada de sus señales cerebrales. Al controlar el juego, controlan estas señales, cambiándolas para reducir el nivel de dolor y los síntomas asociados. Este tipo de juego de neurofeedback es sencillo y monótono, ofreciendo un bajo estímulo a los pacientes ya que una sobreestimulación podría dificultar la neuromodulación. El juego está diseñado solo para interactuar con procesos cerebrales específicos, el objetivo no es el entretenimiento sino hacer posible que los pacientes provoquen su propia neuromodulación.

Por último, en el **paso 5**, los datos relativos a las sesiones de entrenamiento se almacenan en el servidor para monitorizar la evolución de los pacientes con diferentes gráficos históricos y estadísticas. Se pueden encontrar desarrollos muy similares en el caso de pacientes con depresión, ansiedad y estrés postraumático que utilizan estimulación eléctrica transcraneal de baja intensidad de corriente continua basada en pulsos⁷².



4. Retos de la protección de datos en el tratamiento de neurodatos

4.1. Amenazas a los derechos y libertades de las personas

Como ya se ha mencionado, las neurotecnologías prometen proporcionar información detallada sobre la actividad cerebral de las personas y revelar los pensamientos y sentimientos

personales más íntimos, incluidos aquellos que no se traducen en acciones y, en consecuencia, no pueden medirse ni inferirse mediante datos recopilados a través de otras tecnologías. El uso de la inteligencia artificial podría aumentar enormemente el conocimiento obtenido a través de los neurodatos junto con otros datos contextuales. Además, el neurofeedback y los implantes cerebrales ofrecen la posibilidad de influir en y reescribir la actividad cerebral y las identidades de las personas.

Las neurotecnologías representan una intrusión sin precedentes en la esfera privada de los individuos. Las neurotecnologías también pueden vulnerar otros derechos y libertades fundamentales más allá de los derechos a la privacidad y a la protección de datos.

Y es que además de la privacidad y la protección de datos (artículos 7 y 8 de la Carta de los Derechos Fundamentales de la UE), determinados usos de los neurodatos ponen en peligro derechos fundamentales como la dignidad humana (artículo 1 de la Carta) o la integridad física y mental (artículo 3 de la Carta). Por ejemplo, en contextos como el de la aplicación de la ley, el uso de neurodatos con fines de detección de mentiras o para la prevención de delitos penales (“policía predictiva”) pondría en tela de juicio el derecho a la presunción de inocencia y a un juicio justo.

El uso de determinados sistemas de IA altamente intrusivos iría en contra de los valores fundamentales de la UE, no cumpliría los principios de necesidad y proporcionalidad, o entraría en conflicto directo con los valores esenciales de la UE y afectaría a la dignidad humana^{73,74}. Por ejemplo, el EDPB y el EDPS consideran que el uso de la IA para inferir las emociones de una persona física es muy indeseable y debe prohibirse, excepto en determinados casos de uso muy específicos, con fines sanitarios o de investigación (por ejemplo, pacientes en los que el reconocimiento de emociones es importante) y con las salvaguardas⁷⁵ adecuadas. El EDPB y el EDPS también recomiendan la prohibición explícita del uso de sistemas de IA destinados a ser utilizados por las autoridades policiales como polígrafos y herramientas similares cuya validez científica no está probada.

La Ley de IA recientemente aprobada⁷⁶ prohíbe expresamente, entre otras cosas: la IA manipuladora y la IA que explota las vulnerabilidades de una persona o de un grupo de personas^V; la introducción en el mercado y la puesta en producción de sistemas de reconocimiento de emociones en el entorno educativo y en el lugar de trabajo^{VI}, así como los sistemas de IA que perfilan a individuos y grupos de personas a partir de la biometría según categorías especiales de datos (por ejemplo, orientación sexual o política)^{VII}.

V. Artículo 5, apartado 1, letras a) y b), de la Ley de Inteligencia Artificial.

VI. Artículo 5, apartado 1, letra f), de la Ley de Inteligencia Artificial.

VII. Artículo 5, apartado 1, letra g), de la Ley de Inteligencia Artificial.

4.2. Requisitos y principios de protección de datos

a. Categorías especiales de datos

Como cuestión preliminar, cabe señalar que los **neurodatos a menudo constituyen categorías especiales de datos personales** tal y como las define la legislación de protección de datos de la UE (por ejemplo, como datos biométricos o como datos relativos a la salud). En principio, el tratamiento de categorías especiales de datos está prohibido, salvo excepciones en las que concurren unas circunstancias determinadas. Cuando esté permitido, el tratamiento de neurodatos debe seguir cumpliendo todos los demás requisitos y principios de protección de datos, como los de proporcionalidad, exactitud, transparencia y lealtad.

b. Proporcionalidad y minimización de datos

La proporcionalidad exige que los responsables del tratamiento logren un equilibrio entre los medios utilizados y el objetivo perseguido⁷⁷. De acuerdo con el principio de minimización de datos⁷⁸, **solo se deben recoger y tratar datos personales adecuados, pertinentes y limitados a lo necesario en relación con los fines para los que son tratados.**

El advenimiento de las neurotecnologías desafía el principio de proporcionalidad. En concreto, las neurotecnologías se basan en la recolección sin esfuerzo de **cantidades masivas de datos**⁷⁹. Debido a las muchas funciones del cerebro y a su intensa actividad las 24 horas del día, los 7 días de la semana, los dispositivos o servicios relacionados con la neurotecnología tienen el potencial de recopilar muchos neurodatos y, con ellos, las neurotecnologías pueden **inferir la salud o el estado físico y mental de las personas** (por ejemplo, resolución de problemas, razonamiento, toma de decisiones, comprensión, recuperación de memoria, percepción, lenguaje, emociones)⁸⁰. Por lo tanto, se trata de un tratamiento muy intrusivo, si no el más intrusivo, que invade la intimidad mental y, en ocasiones, la integridad mental de la persona afectada. La recolección de huellas cerebrales introduce otros elementos de intrusión. Esto se debe a la posibilidad de inferir información relacionada con las experiencias de los interesados sin que estos las compartan explícitamente o a la posibilidad de perfilar a los interesados en función de patrones de ondas cerebrales.

Por ejemplo, el tratamiento de neurodatos en el contexto de la educación y el entretenimiento podría dar lugar al tratamiento de neurodatos que infiera otra información sobre el individuo, en particular sobre su estado de salud, incluida la salud mental. Este riesgo es menos evidente en el tratamiento de neurodatos relacionados con la atención médica y la psicología, donde un mapeo cerebral completo podría ser imprescindible para un diagnóstico preciso.

Quienes se planteen tratar neurodatos deben tener siempre en cuenta el carácter intrusivo⁸¹ del tratamiento de dichos datos y valorar cuidadosamente si la finalidad que se persigue justifica

plenamente este tratamiento de datos extremadamente invasivo y sensible, que afecta al aspecto más íntimo de la vida de un individuo. Por regla general, el EDPS considera que el tratamiento de datos, como la toma de «huellas cerebrales», solo debe realizarse con fines sanitarios, acompañado de todas las condiciones y garantías de protección de datos. Sería alarmante para cualquier responsable de tratamiento que no sea un proveedor de asistencia sanitaria, utilizar neurodatos para detectar o inferir información de salud de una persona (en particular, información muy sensible que posiblemente aún no sea conocida por esa persona, por ejemplo, sobre trastornos psicológicos o una enfermedad neurodegenerativa).

c. Exactitud de los datos

De acuerdo con el RGPD, los datos personales deben ser “exactos y, si fuera necesario, actualizados; se adoptarán todas las medidas razonables para que se supriman o rectifiquen sin dilación los datos personales que sean inexactos con respecto a los fines para los que se tratan”.

Una de las preocupaciones con respecto a la exactitud de los datos en el tratamiento de neurodatos es la **plasticidad cerebral**. El cerebro se caracteriza por una plasticidad impresionante⁸², lo que significa que su estructura cambia con el tiempo. Hay estudios que afirman que cada década después de los 40 años el volumen del cerebro cambia en alrededor de un 5%⁸³.

Se considera que los sujetos de datos dentro del rango de edad de 5 a 30 años se encuentran dentro del período de mayor cambio y plasticidad del cerebro⁸⁴. Estos rangos de edad se superponen en gran medida con los objetivos de los sistemas que tratan neurodatos para el aprendizaje y los juegos⁸⁵. La plasticidad cerebral también puede afectar a la estructura del cerebro en el caso de niños abandonados en la primera etapa de su vida⁸⁶. Estos **cambios en el cerebro** pueden llegar a ser relevantes en el tratamiento de neurodatos relacionados con la salud o la psicología.

La fiabilidad de las inferencias basadas en neurodatos también es objeto de debate y escrutinio dentro de la comunidad científica. Algunos investigadores han expresado su preocupación por la forma en que se recogen, evalúan e interpretan los neurodatos. Dos de estas preocupaciones están relacionadas con el uso de métodos estadísticos inadecuados o incorrectos⁸⁷, que conducen a falsos positivos en diferentes contextos, y una creciente preocupación por la replicabilidad de los hallazgos neurocientíficos⁸⁸. También hay que tener en cuenta las incertidumbres asociadas a determinados métodos de recogida de datos, por ejemplo, los basados en sensores que incorporan **tecnologías muy innovadoras**⁸⁹ como las que permiten la recogida remota de neurodatos.

Incluso cuando los resultados de las pruebas de laboratorio apuntan a niveles de exactitud que satisfarían los requisitos de un caso de uso en el mundo real, es necesario considerar que “los estudios en condiciones de laboratorio siempre tienen limitaciones en su aplicabilidad y precisión generales; son probabilísticos, decodificando la actividad cerebral mediante el uso de sofisticados algoritmos estadísticos que no siempre son precisos”⁹⁰.

Si bien las neurotecnologías aún se están desarrollando en todos los campos, los responsables de los tratamientos de neurodatos deben considerar las limitaciones intrínsecas de exactitud de dichos tratamientos. Garantizar la exactitud de los neurodatos es vital, no solo para la validez científica, sino también para mitigar las consideraciones éticas relacionadas con posibles malentendidos o usos indebidos de la información recogida del cerebro.

Esto también tiene una estrecha relación con el **principio de necesidad**, que implica “la necesidad de una evaluación combinada y basada en hechos de la eficacia de la medida para el objetivo perseguido y de si es menos intrusiva en comparación con otras opciones para lograr el mismo objetivo”⁸⁷. A **la hora de evaluar la efectividad**, el tratamiento de los neurodatos debe ser esencial para conseguir el objetivo perseguido, abordando el problema **de forma más adecuada que otras alternativas**. Pero respaldar de manera convincente esta afirmación puede ser un desafío importante en muchos casos de uso, dadas las limitaciones de exactitud ya mencionadas.

d. Transparencia

Según el RGPD, el tratamiento de datos personales debe ser transparente. Esto significa que los responsables del tratamiento de datos deben **explicar el tratamiento de datos**, incluidos los datos recogidos, y las posibles consecuencias para los interesados de la forma más clara y concisa posible.

Cuando las neurotecnologías están involucradas en el tratamiento de datos personales, las personas no tienen control directo sobre la información divulgada debido a la naturaleza intrínseca e involuntaria de los neurodatos y es posible que no **comprendan completamente las potenciales implicaciones** de dicho tratamiento de datos⁹¹.

En las actividades de tratamiento en las que intervienen **menores de edad**, la transparencia puede ser aún más difícil de lograr. Si explicar el tratamiento de neurodatos a adultos que no son expertos en neurociencia puede resultar complejo, explicarlo a niños o personas más jóvenes podría ser aún más difícil dada la necesidad de simplificar sin dejar de proporcionar una descripción precisa del tratamiento. Esto podría observarse fácilmente en los dominios de aplicación de educación o entretenimiento.

e. Lealtad

De acuerdo con el RGPD, los datos personales deben tratarse de la manera que los interesados esperarían razonablemente y no utilizarse de manera que tengan efectos adversos injustificados sobre ellos, incluida la **discriminación o la violación de otros derechos y libertades fundamentales**.

Con la adopción de las neurotecnologías y el tratamiento de los neurodatos, pueden surgir nuevos riesgos de discriminación. La discriminación puede ocurrir, por ejemplo, si se utilizan dispositivos que no se **prueban en una amplia variedad de personas**⁹². Esto puede dar lugar a conjuntos de datos sesgados e incompletos. Por ejemplo, el cerebro femenino y masculino presentan diferentes estructuras y actividad neuronal⁹³. La IA se utiliza como herramienta para descubrir patrones y decodificar actividades cerebrales. Si una herramienta se entrena exclusivamente en un grupo definido por una característica, no podría reconocer correctamente los patrones o la actividad correcta de los individuos que no comparten esa característica (por ejemplo, edad, género u origen étnico).

Es importante tener en cuenta los riesgos asociados a los datos o a los modelos de IA sesgados cuando se utilizan los neurodatos en la educación y la sanidad. En estos dominios, el objetivo es tomar decisiones basadas en evidencias que puedan, por ejemplo, optimizar los resultados de aprendizaje o seleccionar la terapia adecuada. Sin embargo, si los datos utilizados para entrenar modelos de IA están sesgados, pueden dar lugar a resultados injustos para las personas, lo que va en contra del principio de lealtad. Por lo tanto, es importante asegurar que aquellos que desarrollan neurotecnologías garanticen que los individuos considerados durante el desarrollo de dichas neurotecnologías son representativos **de los usuarios objetivo**.

5. Desarrollos futuros

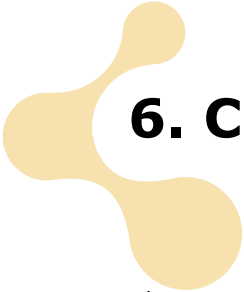
Los avances en neurotecnología parecen ampliar los límites de la innovación más allá de los dominios de aplicación actuales. Al mismo tiempo, plantean **serias preocupaciones sobre el respeto de la dignidad y agencia humanas, la integridad mental, la no discriminación, la privacidad y la protección de datos**. Las neurotecnologías revelan detalles del cerebro y, por lo tanto, de los elementos más íntimos de lo que nos constituye como seres humanos.

El desarrollo neurotecnológico se extenderá más allá de las funciones motoras del cerebro. En la actualidad se tienen como objetivo otras funciones esenciales, con un énfasis particular

en las dedicadas a la **memoria**⁹⁴. Las neurotecnologías podrían decodificar, modular y almacenar información relacionada con las complejas redes neuronales responsables de los procesos de memoria, lo que llevaría a la posibilidad de preservar la memoria humana en un dispositivo de almacenamiento externo⁹⁵. Sin embargo, estos avances también deberían llevarnos a preguntarnos si lograr actuaciones sobrehumanas es un objetivo deseable desde la perspectiva de los derechos fundamentales.

Otro ejemplo preocupante del futuro desarrollo de la neurotecnología son **los dispositivos multisensoriales**, por ejemplo, en la industria del juego. La recopilación simultánea de datos del corazón, la piel, los músculos, los ojos y el cerebro del usuario, y la combinación de esta capacidad con pantallas montadas en la cabeza o dispositivos de realidad aumentada y virtual, proporcionará nuevas formas de interactividad y control en tiempo real al aumentar la mente humana. Estas nuevas tecnologías también podrán hacer inferencias cuantificables sobre factores como el estrés, la fatiga, la carga de trabajo cognitiva y la concentración. Un prototipo de esta tecnología ya es capaz de permitir a un usuario volar un dron solo a través de neurodatos mediante **la reutilización de músculos inactivos para una interactividad extendida y aumentada**⁹⁶. Sin embargo, no podemos dejar de pensar en el uso que podría hacerse de esas técnicas en el ámbito de la defensa y la aplicación de la ley, por ejemplo.

Estos desarrollos plantean amenazas y riesgos obvios para la protección de datos. La ingente recolección de datos llevada a cabo por las neurotecnologías, junto con la creciente difusión de dichas neurotecnologías, anticipa la creación de **bases de datos masivas de neurodatos**. Esta acumulación de datos personales, dada su sensibilidad, representa un grave riesgo para la protección de nuestros datos personales y, más ampliamente, para el respeto de nuestra vida privada y otros derechos fundamentales. También representa un **interés potencial para los ciberdelincuentes**, ya que por el volumen y la sensibilidad de esta información podrían ser un objetivo atractivo. La protección de la confidencialidad e integridad de la información cerebral debe ser **una prioridad**.



6. Conclusión

El tratamiento de neurodatos, **una forma de tratamiento de datos personales**, promete nuevas formas de interacción con el mundo físico y digital, mejorando las **capacidades y experiencias humanas**.

Las neurotecnologías, que antes se limitaban a la atención sanitaria o a la seguridad, ahora

se venden directamente a los consumidores, lo que supone un cambio significativo **en la accesibilidad**, pero también en los daños potenciales. Esta accesibilidad, junto con el poder de la **Inteligencia Artificial** para combinar datos de diversas fuentes, está allanando el camino para descubrir patrones o tendencias en los datos que estas neurotecnologías recogen y tratan.

Este documento ha analizado cómo los diferentes tipos de tratamiento de neurodatos permiten diferentes casos de uso, en el **presente** y en el **futuro**. Además, se han proporcionado algunas consideraciones de alto nivel sobre cómo ciertos usos de los neurodatos pueden interferir sustancialmente con los derechos y libertades fundamentales y poner en peligro el derecho fundamental a la dignidad humana.

Las neurotecnologías se ocupan de la actividad cerebral humana, donde residen nuestros pensamientos y sentimientos más íntimos. Plantean cuestiones cruciales desde una perspectiva filosófica, ética y jurídica, “Comprender, tratar y aumentar el cerebro y la mente humanos es uno de los grandes desafíos científicos de nuestra época. Lograr estos objetivos de manera que se preserve la justicia, se salvaguarden los derechos fundamentales y la dignidad humana es la tarea correspondiente de la ética y el derecho”⁸⁶.

Antes de seguir avanzando, es crucial llevar a cabo un análisis en profundidad de los neurodatos y evaluar el impacto de su tratamiento en los derechos fundamentales, incluida la necesidad de crear nuevos derechos humanos, es decir, los neuroderechos.

“El **Convenio para la Protección de los Derechos Humanos y la Dignidad del Ser Humano con respecto a las Aplicaciones de la Biología y la Medicina** (Convenio de Oviedo) del Consejo de Europa ofrece una plataforma ideal y un sustrato normativo para la protección y promoción de los neuroderechos. Dado su enfoque en **la prohibición del uso indebido de las innovaciones en biomedicina, la protección de la dignidad y la identidad de todos los seres humanos y la garantía del respeto de su integridad y libertades fundamentales**, la Convención está bien posicionada para consagrar los neuroderechos a través de protocolos *ad hoc* o para servir de base para futuros instrumentos”⁹⁷.

En cualquier caso, como ya se ha señalado, la Carta de los Derechos Fundamentales de la Unión Europea ya reconoce expresamente el derecho fundamental a la integridad mental (artículo 3), como una de las expresiones del derecho fundamental a la dignidad humana (artículo 1), que es también el fundamento del derecho a la intimidad y a la protección de los datos personales (respectivamente, artículos 7 y 8 de la Carta).

7. Lecturas recomendadas

- Rashid, M., Sulaiman, N., PP Abdul Majeed, A., Musa, R. M., Ab Nasir, A. F., Bari, B. S., & Khatun, S. (2020). Current status, challenges, and possible solutions of EEG-based brain-computer interface: a comprehensive review. *Frontiers in neurorobotics*, 14, 515104. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2020.00025>
- Unveiling the neurotechnology landscape. Scientific advancements innovations and major trends. (2023). In UNESCO eBooks. <https://doi.org/10.54678/ocbm4164>
- Information Commissioner's Office (2023). ICO tech futures: neurotechnology. <https://ico.org.uk/about-the-ico/research-reports-impact-and-evaluation/research-and-reports/technology-and-innovation/ico-tech-futures-neurotechnology>
- Ienca M, Andorno R. Towards new human rights in the age of neuroscience and neurotechnology. *Life Sci Soc Policy*. 2017 Dec;13(1):5. <https://doi.org/10.1186/s40504-017-0050-1>
- Australian Human Rights Commission (2024). Protecting Cognition: Background Paper on Human Rights and Neurotechnology. <https://humanrights.gov.au/our-work/technology-and-human-rights/publications/protecting-cognition-background-paper>

Endnotes

1. Lefaucheur, J.-P., André-Obadia, N., Antal, A., Ayache, S. S., Baeken, C., Benninger, D. H., & De Ridder, D. (2014). Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS). *Clin Neurophysiol*, 125(11), pp. 2150-2206.
2. Salin-Pascual, (2015). Optogenetics: light as a tool for the study of brain function in sleep-wake mechanisms and eating behavior. *Mexican Journal of Neurociencias*. 16(3), pp. 39-51.
3. [National Institute of Deafness and other Communication Disorder](#)
4. NielsenIQ <https://nielseniq.com> afirma que “le ayuda a comprender el impacto del activo de marketing en el cerebro midiendo directamente la motivación emocional, la memoria y los sistemas cerebrales de atención” y que “nuestro enfoque patentado mide las asociaciones no conscientes con mensajes y marcas clave. Sin hacer preguntas, revelamos qué tan bien su contenido activa distintivamente su marca y qué tan fuertemente está aprovechando los objetivos de comunicación”.
5. Mansor, Aida Azlina Bt. and Salmi Mohd Isa. “Fundamentals of neuromarketing: What is it all about?” *Neuroscience Research Notes* (2020) <https://doi.org/10.31117/neuroscirn.v3i4.58>
6. Ienca, M., & Haselager, P. (2016). Hacking the Brain: brain-computer interfacing technology and the ethics of neurosecurity. *Ethics Inf Technol*, 18(2), pp. 117-129.
7. Ramos, K. M., et Al. (2019). The NIH BRAIN Initiative: Integrating Neuroethics and Neuroscience. *Neuron*, 101(3), pp. 394-398.
8. Wang, L. (2017). Mu-ming Poo: China Brain Project and the future of Chinese neuroscience. *National Science Review*, 258-263. https://www.researchgate.net/publication/314070218_Mu-ming_Poo_China_Brain_Project_and_Future_of_Chinese_Neuroscience [Accessed: 10 January 2024].
9. See Human Brain Project. (2013). <https://www.humanbrainproject.eu/en/> [Accessed: 10 January 2024].
10. Eaton, M. L., & Illes, J. (2007). Commercialising cognitive neurotechnology-the ethical terrain. *Nature Biotechnology*, 25(4), pp. 393-397.
11. [OECD Recommendation on Responsible Innovation in Neurotechnology - OECD](#) [Accessed: 10 January 2024].
12. Kuno, N., (2016). Nanotechnology comes to life with needle-based human interface devices. *News Center Latam*.
13. Lucero, B., & Muñoz-Quezada, M. T. (2014). Neural interface systems and their development in neurosciences: systematic literature review about its application in people with paralysis. *Journal Psychological Sciences*, 8(2).
14. Gialopsou, A. et al. Improved spatio-temporal measurements of visually evoked fields using optically-pumped magnetometers. *Scientific Reports*, 11(1), 22412.
15. Liao, K. et al. (2024). Exploring the Intersection of Brain-Computer Interfaces and Quantum Sensing: A Review of Research Progress and Future Trends. *Advanced Quantum Technologies*, 7(1), 2300185.
16. Ienca M, Andorno R. Towards new human rights in the age of neuroscience and neurotechnology. *Life Sci Soc Policy*. 2017 Dec;13(1):5. <https://doi.org/10.1186/s40504-017-0050-1>
17. fador M. Ienca, Neurotechnology and neurorights - Privacy's last frontier, 16 November 2023.
18. Yuste, Rafael, Sara Goering, Blaise Agüera Y. Arcas, Guoqiang Bi, Jose M. Carmena, Adrian Carter, Joseph J. Fins et al. “Four ethical priorities for neurotechnologies and AI.” *Nature* 551, no. 7679

- (2017): 159-163.
19. Hertz, N. Neurorights – Do we Need New Human Rights? A Reconsideration of the Right to Freedom of Thought. *Neuroethics* 16, 5 (2023). <https://doi.org/10.1007/s12152-022-09511-0>
 20. Borbón, Diego and Jorge Alberto Ramírez-Gómez. "Between politics and scholarship: the (un) settled debate over neurorights." *Frontiers in Political Science* (2024) <https://doi.org/10.3389/fpos.2024.1335561>
 21. Gilbert, F., & Russo, I. (2024). Neurorights: The Land of Speculative Ethics and Alarming Claims? *AJOB Neuroscience*, 15(2), 113–115. <https://doi.org/10.1080/21507740.2024.2328244>
 22. J. Klonovs, C. K. Petersen, H. Olesen and A. Hammershoj, "ID Proof on the Go: Development of a Mobile EEG-Based Biometric Authentication System," in *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 8, no. 1, pp. 81-89, March 2013, doi: 10.1109/MVT.2012.2234056
 23. T. Nakamura, V. Goverdovsky and D. P. Mandic, "In-Ear EEG Biometrics for Feasible and Readily Collectable Real-World Person Authentication," in *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 13, no. 3, pp. 648-661, March 2018, doi: 10.1109/TIFS.2017.2763124
 24. Finn ES, Shen X, Scheinost D, Rosenberg MD, Huang J, Chun MM, Papademetris X, Constable RT. Functional connectome fingerprinting: identifying individuals using patterns of brain connectivity. *Nat Neurosci*. 2015 Nov;18(11):1664-71. doi: 10.1038/nn.4135. Epub 2015 Oct 12. PMID: 26457551; PMCID: PMC5008686.
 25. F.D'Auria, Brain fingerprint. Quel codice a barre che rende unico il nostro cervello, <https://ilbolive.unipd.it/it/news/brain-fingerprint-codice-barre-che-rende-unico>
 26. UNESCO International Bioethics Committee. Report of the International Bioethics Committee of UNESCO (IBC) on the Ethical Issues of Neurotechnology Dec. 2021.
 27. León Declaration on European neurotechnology: A human centric and rightsoriented approach <https://spanish-presidency.consilium.europa.eu/media/o4rh53jr/le%C3%B3n-declaration.pdf>
 28. El Comité Jurídico Interamericano (CJI) es uno de los principales órganos de la Organización de los Estados Americanos (OEA). El Comité sirve a la Organización como órgano asesor en materia jurídica para promover el desarrollo progresivo y la codificación del derecho internacional y estudiar la posibilidad de estandarizar la legislación en todos los países del Hemisferio. Declaración del Comité Jurídico Interamericano en Neurociencias, Neurotecnologías y Derechos Humanos: nuevos desafíos jurídicos para las Américas https://www.oas.org/en/sla/iajc/docs/CJI-DEC_01_XCIX-O-21_ENG.pdf
 29. OECD. Recommendation of the Council on Responsible Innovation in Neurotechnology. Recovered from: <https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0457> [Accessed: 10 January 2024].
 30. Official Journal of The Republic of Chile Ministry of the Interior and Public Security Laws, Regulations, Decrees And Resolutions Of General Order, Law No. 21.383 Modifies The Fundamental Charter, To Establish Scientific and Technological Development at the Service of People <https://static1.square-space.com/static/60e5c0c4c4f37276f4d458cf/t/6182c0a561dfa17d0ca34888/1635958949324/English+translation.pdf> [Accessed: 10 January 2024].
 31. ibídem.
 32. Joshi, A., Manik, R. K., Kumar, P., Roy, S., Jain, D., & Sarkar, P. (2022). Brain Fingerprinting: The New Era of Truth and Lie Detection. *BRAIN*, 54(02).
 33. Farwell LA. Brain fingerprinting: a comprehensive tutorial review of detection of concealed infor-

- mation with event-related brain potentials. *Cogn Neurodyn*. 2012 Apr;6(2):115-54. doi: 10.1007/s11571-012-9192-2. Epub 2012 Feb 17. PMID: 23542949; PMCID: PMC3311838.
34. Baghel, N., Singh, D., Dutta, M. K., Burget, R., & Myska, V. (2020, July). Truth identification from EEG signal by using convolution neural network: lie detection. In 2020 43rd International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP) (pp. 550-553). IEEE.
 35. MIT Technology Review. Lie detectors have always been suspect. AI has made the problem worse. March 12, 2020 <https://www.technologyreview.com/2020/03/13/905323/ai-lie-detectors-polygraph-silent-talker-iborderctrl-converus-neuroid>
 36. Board on Behavioral, Cognitive, and Sensory Sciences and Education (BCSSE) and Committee on National Statistics (CNSTAT) (March 19, 2013). The Polygraph and Lie Detection. National Research Council. doi:10.17226/10420. ISBN 978-0-309-26392-4. Archived from the original on November 11, 2023. Retrieved November 11, 2023.
 37. Cabitza, F., Campagner, A., & Mattioli, M. (2022). The unbearable (technical) unreliability of automated facial emotion recognition. *Big Data & Society*, 9(2). <https://doi.org/10.1177/20539517221129549>
 38. Sauseng, P., & Klimesch, W. (2008). What does phase information of oscillatory brain activity tell us about cognitive processes?. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 32(5), 1001-1013.
 39. Horvath, A., Szucs, A., Csukly, G., Sakovics, A., Stefanics, G., & Kamondi, A. (2018). EEG and ERP biomarkers of Alzheimer's disease: a critical review. *Frontiers in bioscience (Landmark edition)*, 23, 183-220.
 40. Gonzalez-Carabarin, L., Castellanos-Alvarado, E. A., Castro-Garcia, P., & Garcia-Ramirez, M. A. (2021). Machine Learning for personalised stress detection: Inter-individual variability of EEG-ECG markers for acute-stress response. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 209, 106314.
 41. Tawhid, M. N. A., Siuly, S., & Wang, H. (2020). Diagnosis of autism spectrum disorder from EEG using a time–frequency spectrogram image-based approach. *Electronics Letters*, 56(25), 1372-1375.
 42. Ye, S., Wang, M., Yang, Q., Dong, H., & Dong, G. H. (2022). Predicting the severity of internet gaming disorder with resting-state brain features: A multi-voxel pattern analysis. *Journal of Affective Disorders*, 318, 113-122.
 43. Benbadis, S. R., Beniczky, S., Bertram, E., MacIver, S., & Moshé, S. L. (2020). The role of EEG in patients with suspected epilepsy. *Epileptic Disorders*, 22(2), 143-155.
 44. Ko, L. W., Komarov, O., Hairston, W. D., Jung, T. P., & Lin, C. T. (2017). Sustained attention in real classroom settings: An EEG study. *Frontiers in human neuroscience*, 11, 388.
 45. Poulsen, A. T., Kamronn, S., Dmochowski, J., Parra, L. C., & Hansen, L. K. (2017). EEG in the classroom: Synchronised neural recordings during video presentation. *Scientific reports*, 7(1), 43916.
 46. Sheikholeslami, C., Yuan, H., He, E. J., Bai, X., Yang, L., & He, B. (2007, August). A high-resolution EEG study of dynamic brain activity during video game play. In 2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (pp. 2489-2491). IEEE.
 47. Mondéjar, T., Hervás, R., Johnson, E., Gutierrez, C., & Latorre, J. M. (2016). Correlation between videogame mechanics and executive functions through EEG analysis. *Journal of biomedical informatics*, 63, 131-140.
 48. Filipović-Grčić, L., & Derke, F. (2023). Neuroimaging and Art: A Short Introduction to Neuroimaging Techniques Employed in Neuroaesthetics Research. *Mind, Brain and Education*, 13-20.
 49. Bazzani, A., Ravaioli, S., Trieste, L., Faraguna, U., & Turchetti, G. (2020). Is EEG suitable for marketing research? A systematic review. *Frontiers in Neuroscience*, 14, 594566.

50. Lin, M. H. J., Cross, S. N., Jones, W. J., & Childers, T. L. (2018). Applying EEG in consumer neuroscience. *European Journal of Marketing*, 52(1/2), 66-91.
51. Alsharif, A. H., Salleh, N. Z. M., Abdullah, M., Khraiwish, A., & Ashaari, A. (2023). Neuromarketing Tools Used in the Marketing Mix: A Systematic Literature and Future Research Agenda. *SAGE Open*, 13(1), 21582440231156563.
52. Neuromarketing for Consumer Insights | Bitbrain
53. EEG in neuromarketing | Neurensics Neuro Market Research Company
54. ICO. ICO tech futures: neurotechnology - Sector scenarios. Recovered from: <https://ico.org.uk/about-the-ico/research-reports-impact-and-evaluation/research-and-reports/technology-and-innovation/ico-tech-futures-neurotechnology/sector-scenarios/> [Accessed: 9 May 2024].
55. McDonnell, A. S., Simmons, T. G., Erickson, G. G., Lohani, M., Cooper, J. M., & Strayer, D. L. (2023). This is your brain on autopilot: Neural indices of driver workload and engagement during partial vehicle automation. *Human factors*, 65(7), 1435-1450.
56. Zhu, M., Chen, J., Li, H., Liang, F., Han, L., & Zhang, Z. (2021). Vehicle driver drowsiness detection method using wearable EEG based on convolution neural network. *Neural computing and applications*, 33(20), 13965-13980.
57. Wolpaw, J. R., McFarland, D. J., Neat, G. W., & Forneris, C. A. (1991). An EEG-based brain-computer interface for cursor control. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 78(3), 252-259.
58. Zhuang, W., Shen, Y., Li, L., Gao, C., & Dai, D. (2020). A brain-computer interface system for smart home control based on single trial motor imagery EEG. *International Journal of Sensor Networks*, 34(4), 214-225.
59. Verwoert, M. et al. (2022). Dataset of speech production in intracranial electroencephalography. *Scientific data*, 9(1), 434.
60. Al-Qaysi, Z. T., Zaidan, B. B., Zaidan, A. A., & Suzani, M. S. (2018). A review of disability EEG based wheelchair control system: Coherent taxonomy, open challenges and recommendations. *Computer methods and programs in biomedicine*, 164, 221-237.
61. Kerous, B., Skola, F., & Liarokapis, F. (2018). EEG-based BCI and video games: a progress report. *Virtual Reality*, 22, 119-135.
62. Huang, Z., & Wang, M. (2021). A review of electroencephalogram signal processing methods for brain-controlled robots. *Cognitive Robotics*, 1, 111-124.
63. Lee, D. H., Jeong, J. H., Ahn, H. J., & Lee, S. W. (2021). Design of an EEG-based drone swarm control system using endogenous BCI paradigms. In 2021 9th International Winter Conference on Brain-Computer Interface (BCI) (pp. 1-5). IEEE.
64. Enriquez-Geppert, S., Huster, R. J., & Herrmann, C. S. (2017). EEG-neurofeedback as a tool to modulate cognition and behavior: a review tutorial. *Frontiers in human neuroscience*, 11, 51.
65. Viviani, G., & Vallesi, A. (2021). EEG-neurofeedback and executive function enhancement in healthy adults: A systematic review. *Psychophysiology*, 58(9), e13874.
66. Una escuela primaria china suspende el ensayo de un dispositivo que monitoriza las ondas cerebrales de los alumnos <https://www.theguardian.com/world/2019/nov/01/chinese-primary-school-halts-trial-of-device-that-monitors-pupils-brainwaves>
67. Portable EEG for assessing attention in educational settings: A scoping review <https://osf.io/ckbmw/download>

68. Yanxue, Li & Li, Shanshan & Gao, Weijun & Xu, Wenya & Xu, Yang & Wang, Jian. (2022). Exploring the effects of indoor temperature on college students' physiological responses, cognitive performance and a concentration index derived from EEG signals. *Developments in the Built Environment*. 12. 100095. 10.1016/j.dibe.2022.100095. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666165922000291>
69. Quadriplegic Pilots Race for Gold in Cybathlon Brain Race <https://spectrum.ieee.org/quadriplegic-pilots-race-for-gold-in-cybathlon-brain-race>
70. This Gamer Turned EEG Tech Into a Game Controller <https://spectrum.ieee.org/elden-ring-hands-free-controller>
71. Home-Based EEG Neurofeedback Intervention for the Management of Chronic Pain <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpain.2022.855493/full>
72. Duke, Gloria & Yotter, Courtney & Sharifian, Beverly & Duke, Gary & Petersen, Sandra. (2023). The effectiveness of microcurrent neurofeedback on depression, anxiety, post-traumatic stress disorder, and quality of life. *Journal of the American Association of Nurse Practitioners*. 36. 10.1097/JXX.0000000000000945. https://journals.lww.com/jaanp/fulltext/9900/the_effectiveness_of_microcurrent_neurofeedback_on.164.aspx
73. [EDPS Opinion 44/2023 on the Proposal for Artificial Intelligence Act in the light of legislative developments](#), issued on 23 October 2023, paragraphs 7 and 8.
74. [EDPB-EDPS Joint Opinion 5/2021 on the proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council laying down harmonised rules on artificial intelligence \(Artificial Intelligence Act\)](#), issued on 18 June 2021.
75. [EDPB-EDPS Joint Opinion 5/2021 on the proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council laying down harmonised rules on artificial intelligence \(Artificial Intelligence Act\)](#), issued on 18 June 2021, paragraph 35.
76. REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL laying down harmonised rules on artificial intelligence and amending Regulations (EC) No 300/2008, (EU) No 167/2013, (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1139 and (EU) 2019/2144 and Directives 2014/90/EU, (EU) 2016/797 and (EU) 2020/1828 (Artificial Intelligence Act), as approved and published by the European Council on 21 May 2024. <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-24-2024-INIT/en/pdf>
77. EDPS. Necessity & Proportionality. https://www.edps.europa.eu/data-protection/our-work/subjects/necessity-proportionality_en
78. ibídem.
79. Ienca, M., Fins, J.J., Jox, R.J. et al. Towards a Governance Framework for Brain Data. *Neuroethics* 15, 20 (2022). <https://doi.org/10.1007/s12152-022-09498-8>
80. R. A. Poldrack, Inferring Mental States from Neuroimaging Data: From Reverse Inference to Large-Scale Decoding, *Neuron*, Volume 72, Issue 5, 2011, Pages 692-697, <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2011.11.001>.
81. EDPS Assessing the necessity of measures that limit the fundamental right to the protection of personal data: A Toolkit "Necessity implies the need for a combined, fact-based assessment of the effectiveness of the measure for the objective pursued and of whether it is less intrusive compared to other options for achieving the same goal"
82. Kolb B., Gibb R., Monitoring EditBrain Plasticity and Behaviour in the Developing Brain, *J Can Acad Child Adolesc Psychiatry*. 2011 Nov; 20(4): 265–276.

83. Peters R. Aging and the brain. *Postgrad Med J.* 2006 Feb; 82(964): 84–88. doi: 10.1136/pgmj.2005.036665
84. Bethlehem, R.A.I., Seidlitz, J., White, S.R. et al. Brain charts for the human lifespan. *Nature* 604, 525–533 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04554-y>
85. Distribution of video gamers in the United States in 2022, by age group <https://www.statista.com/statistics/189582/age-of-us-video-game-players/>
86. National Scientific Council on the Developing Child, The Science of Neglect: The Persistent Absence of Responsive Care Disrupts the Developing Brain <https://harvardcenter.wpenginpowered.com/wp-content/uploads/2012/05/The-Science-of-Neglect-The-Persistent-Absence-of-Responsive-Care-Disrupts-the-Developing-Brain.pdf>
87. Vul E, Harris C, Winkelman P, Pashler H. Puzzlingly High Correlations in fMRI Studies of Emotion, Personality, and Social Cognition. *Perspect Psychol Sci.* 2009 May;4(3):274-90. doi: 10.1111/j.1745-6924.2009.01125.x. PMID: 26158964.
88. Button, K., Ioannidis, J., Mokrysz, C. et al. Power failure: why small sample size undermines the reliability of neuroscience. *Nat Rev Neurosci* 14, 365–376 (2013). <https://doi.org/10.1038/nrn3475>
89. Liao, K. et al. (2024). Exploring the Intersection of Brain–Computer Interfaces and Quantum Sensing: A Review of Research Progress and Future Trends. *Advanced Quantum Technologies*, 7(1), 2300185.
90. Regulatory Horizons Council: the regulation of neurotechnology. An independent report to government from the Regulatory Horizons Council about the safe and rapid development of neurotechnology. <https://www.gov.uk/government/publications/regulatory-horizons-council-the-regulation-of-neurotechnology>
91. Rainey S., McGilivray K., Akitoye S., et al. Is the European Data Protection Regulation sufficient to deal with emerging data concerns relating to neurotechnology?. *J Law Biosci.* 7,1 (2020) doi: 10.1093/jlb/ljaa051.
92. Goering, S., Klein, E., Specker Sullivan, L. et al. Recommendations for Responsible Development and Application of Neurotechnologies. *Neuroethics* 14, 365–386 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12152-021-09468-6>
93. B. Goldman, Two minds. The cognitive differences between men and women, *Stanford medicine magazine* spring 2017.
94. K. S. Gaudry, H. Ayaz, et al., Projections and the Potential Societal Impact of the Future of Neurotechnologies, *Front Neurosci.* 2021, doi: 10.3389/fnins.2021.658930
95. T. Gruber, Ted talk April 2017, How AI can enhance our memory, work and social lives https://www.ted.com/talks/tom_gruber_how_ai_can_enhance_our_memory_work_and_social_lives?hasSummary=true
96. C. Russomanno, ted talk April 2023, A powerful new neurotech tool for augmenting your mind https://www.ted.com/talks/conor_russomanno_a_powerful_new_neurotech_tool_for_augmenting_your_mind/transcript?hasSummary=true
97. Council of Europe report ‘Common Human Rights challenges raised by different applications of neurotechnologies in the biomedical field’, October 2021, page 74. <https://rm.coe.int/report-final-en/1680a429f3>

This publication is a brief report produced by the Technology and Privacy Unit of the European Data Protection Supervisor (EDPS). It aims to provide a factual description of an emerging technology and discuss its possible impacts on privacy and the protection of personal data. The contents of this publication do not imply a policy position of the EDPS.

Issue Authors: Arturo Brazal, Francesca Pesce, Marta Beltrán and Xabier Lareo

Editors: Luis de Salvador, Luis Velasco, Massimo Attoresi and Xabier Lareo

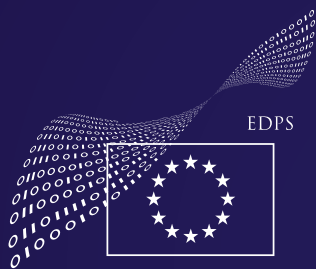
Contact: techmonitoring@edps.europa.eu

To subscribe or unsubscribe to TechDispatch publications, please send a mail to techmonitoring@edps.europa.eu.

The data protection notice is online on the [EDPS website](#).

© European Union, 2024. Except otherwise noted, the reuse of this document is authorised under a **Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)**. This means that reuse is allowed provided appropriate credit is given and any changes made are indicated.

For any use or reproduction of photos or other material that is not owned by the European Union, permission must be sought directly from the copyright holders.



edps.europa.eu



www.aepd.es