

Diez años de la iniciativa BRAIN

La iniciativa BRAIN (*Brain Research Through Advancing Innovative Neurotechnologies*) es un meritorio esfuerzo de investigación a gran escala lanzado por el gobierno de EE.UU. en 2013. Tenía como propósito cambiar el paradigma de cómo comprendemos el cerebro, aunando el trabajo de varias disciplinas, incluidas la neurociencia, la física, la ingeniería, la informática y las matemáticas. El objetivo inmediato era desarrollar nuevas tecnologías y herramientas para mapear, manipular y comprender el cerebro. Fue anunciada el 2 de abril de 2013 por el entonces presidente norteamericano Barack Obama, con la puesta en escena reservada para las grandes ocasiones.

El proyecto ha estado financiado principalmente a través de los Institutos Nacionales de Salud (NIH), que proporcionaron 110 millones de dólares en el primer año de la iniciativa. En los años siguientes, otras agencias, incluida la Fundación Nacional de Ciencias (NSF), la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de Defensa (DARPA) y la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA), también proporcionaron fondos para la iniciativa. Claramente, BRAIN arrancó como un esfuerzo de colaboración entre varias agencias e instituciones gubernamentales, con el objetivo de mejorar nuestra comprensión del cerebro y desarrollar nuevos tratamientos para los trastornos en Neurología y Psiquiatría¹. Se cumplen ahora 10 años del inicio de este programa, y con este motivo, repasamos aquí su andadura durante esta década.

¹Jorgenson LA et al. 2015 The BRAIN Initiative: developing technology to catalyse neuroscience discovery. *Phil. Trans. R. Soc. B* 370: 20140164. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2014.0164>



Avances conseguidos

Como dijimos, se trataba de aprender cómo funcionan los circuitos neuronales, cómo se ven afectados por las enfermedades y las lesiones, y cómo pueden manipularse para tratar trastornos neurológicos y psiquiátricos, todo lo cual se concretó de la siguiente manera²:

- 1) **Herramientas para mapear y comprender el cerebro.** Este fue siempre uno de los aspectos más destacados de BRAIN, incluyendo técnicas de imagen y grabación para visualizar y registrar la actividad de neuronas y circuitos neuronales individuales, así como manipular la actividad neuronal en tiempo real. Una amplia lista (no exhaustiva) de dichas herramientas puede enumerarse como sigue:
 - a. **Optogenética:** técnica que utiliza luz para controlar la actividad neuronal, y permite manipular los circuitos neuronales en tiempo real.
 - b. **Imagen de calcio:** un método para rastrear la actividad de las neuronas individuales midiendo cambios en los niveles intracelulares de calcio.
 - c. **Electrodos múltiples:** dispositivos que permiten a los investigadores registrar la actividad de múltiples neuronas simultáneamente.

² <https://braininitiative.nih.gov> (visitado el 17 de marzo de 2023).

- d. Resonancia magnética (MRI): una técnica de imagen no invasiva que permite a los investigadores visualizar la estructura y función del cerebro.
- 2) **Comprensión holística de la función cerebral.** Otro objetivo importante de la iniciativa BRAIN es desarrollar una comprensión integral de cómo funciona el cerebro, incluyendo estudiar la estructura y función de las neuronas individuales, así como también cómo están conectadas para formar circuitos neuronales que subyacen a la percepción, la cognición y el comportamiento. Para este objetivo, se está utilizando una combinación de imágenes, registro y técnicas computacionales para construir modelos detallados de circuitos neuronales y comprender cómo funcionan. Se espera así obtener nuevos conocimientos sobre los mecanismos que subyacen a la función cerebral.
- 3) **Nuevos tratamientos para trastornos neurológicos y psiquiátricos.** Utilizando los conocimientos adquiridos con el estudio del cerebro se pretenden desarrollar terapias, incluyendo el desarrollo de nuevos medicamentos que se dirijan a circuitos neuronales específicos o sistemas de neurotransmisores, así como el desarrollo de nuevas tecnologías para la estimulación cerebral profunda y otras formas de neuromodulación. Estos esfuerzos van dirigidos a la enfermedad de Alzheimer, la enfermedad de Parkinson, la esquizofrenia y la depresión, entre otras.

A lo largo de estos años, BRAIN ha involucrado a miles de investigadores (incluyendo neurocientíficos, físicos, ingenieros, informáticos y matemáticos). Muchos de los nombres implicados son de sobra conocidos³, como por ejemplo Rafael Yuste (Universidad de Columbia) que participó activamente en el lanzamiento de BRAIN; Karl Deisseroth (Universidad de Stanford) que desarrolló la optogenética, que ha sido una herramienta clave en el proyecto; Ed Boyden (Instituto Tecnológico de Massachusetts) que ha desarrollado varias herramientas nuevas para estudiar el cerebro, incluida la microscopía de expansión y la optogenética; Miyoung Chun (exvicepresidenta ejecutiva de programas científicos de la Fundación Kavli), activa en numerosos programas como proyectos científicos nacionales e internacionales, incluida la que ahora nos ocupa, así como la Iniciativa United Microbiome, el Proyecto Internacional del Cerebro y el Proyecto HUMAN; John Donoghue (Universidad de Brown)

³ Véase por ejemplo, Fifteen MIT scientists receive NIH BRAIN Initiative grants, <https://news.mit.edu/2014/fifteen-mit-scientists-receive-nih-brain-initiative-grants-0930> (consultado el 30 de marzo de 2023).

implicado en el desarrollo de interfaces cerebro-máquina y otras tecnologías para restaurar la función motora en personas con parálisis; Terrence Sejnowski (Instituto Salk de Estudios Biológicos) involucrado en el desarrollo de modelos computacionales de circuitos neuronales como parte de la Iniciativa BRAIN, etc.

A fecha de hoy, hay numerosos avances que pueden considerarse fruto de esta iniciativa. Así, por ejemplo⁴:

- BRAIN ha contribuido al desarrollo de herramientas para estudiar el cerebro desde neuronas individuales hasta redes enteras de neuronas. Por ejemplo, los investigadores han desarrollado nuevas técnicas optogenéticas que les permiten controlar la actividad de neuronas específicas en el cerebro con luz, así como nuevas técnicas de imagen que pueden visualizar la actividad de grandes poblaciones de neuronas en tiempo real.
- No menos importantes han sido los avances en el mapeo de circuitos cerebrales, incluyendo aquellos implicados en percepción, memoria y toma de decisiones. Por ejemplo, se han mapeado los circuitos neuronales involucrados en el comportamiento social en ratones, identificando regiones y circuitos cerebrales específicos que están implicados en este comportamiento.
- Codificación neuronal. La Iniciativa BRAIN también ha mejorado nuestra comprensión de cómo el cerebro codifica y procesa la información. Por ejemplo, se han identificado patrones específicos de actividad neuronal que están asociados a diferentes tipos de estímulos sensoriales, como los visuales o auditivos, y han demostrado que estos patrones pueden usarse para decodificar la información sensorial.
- Avance en el posible tratamiento contra algunos trastornos neurológicos. Se han desarrollado nuevas técnicas de estimulación cerebral, como la estimulación cerebral profunda, que pueden aliviar los síntomas de la enfermedad de Parkinson y otros trastornos del movimiento. También se han desarrollado nuevas terapias génicas y otros tratamientos para trastornos neurológicos como la epilepsia, la enfermedad de Alzheimer y la depresión.
- Avances en inteligencia artificial y aprendizaje automático. Se ha avanzado en la búsqueda de algoritmos que puedan analizar e interpretar datos neuronales a gran escala. Por ejemplo, se han

⁴ <https://www.braininitiative.org/achievements/> (consultado el 29 de marzo de 2023).

desarrollado nuevos algoritmos de aprendizaje automático que pueden predecir patrones de actividad cerebral basados en entradas sensoriales, así como algoritmos que pueden predecir los resultados de tratamientos psiquiátricos basados en datos de imágenes cerebrales.

- Investigación interdisciplinaria. Uno de los objetivos fundamentales era fomentar la colaboración y la investigación interdisciplinaria entre científicos de diferentes campos e instituciones. Al reunir a expertos en neurociencia, física, ingeniería, informática y otros campos, BRAIN ha ayudado a romper los límites disciplinarios habituales, y promover nuevos enfoques para estudiar el cerebro.



Retos pendientes

Como no podía ser de otra forma en proyectos de la magnitud y la ambición de éste, también existen algunos aspectos que se han quedado sin realizar en estos 10 años. Por ejemplo, la identificación de circuitos neuronales involucrados en la coordinación de comportamientos complejos o procesos cognitivos clave están aún por revelarse. La integración de los datos de estos diferentes circuitos a distintos niveles de análisis no permite aún desarrollar una comprensión integral de las funciones cerebrales. Y en cuanto a las terapias, es de destacar que los avances producidos se centran en aproximaciones prometedoras de cara a futuros desarrollos, que, sin embargo, aún no palían ninguna de las sintomatologías originalmente objeto de este proyecto.

Otro aspecto importante de la iniciativa BRAIN era la plasticidad cerebral (cómo el cerebro se adapta y cambia en respuesta a las experiencias y los factores ambientales). A este respecto, se ha producido un escaso avance de cómo aprovechar este conocimiento con fines terapéuticos.

Por último, debemos destacar las implicaciones éticas y sociales de la Iniciativa BRAIN. Aunque volveremos sobre este asunto, adelantamos que incluyen cuestiones relativas a la privacidad, al consentimiento informado y a la equidad en el acceso a los nuevos tratamientos y tecnologías que vayan surgiendo.

La relevancia de este programa de investigación nos lleva, indefectiblemente, a compararlo con otros programas similares que, por su entidad, cuantía, y ambición de objetivos, nos vienen inmediatamente a la mente. En particular, el Proyecto Cerebro Humano. Mientras BRAIN se centró principalmente, como acabamos de describir, en el desarrollo de nuevas tecnologías y herramientas para estudiar el cerebro, así como el mapeo y la comprensión de los circuitos, el *Human Brain Project* tenía como objetivo crear una simulación integral del cerebro humano, incorporando datos de múltiples niveles de análisis, desde genes y moléculas hasta sistemas neuronales completos.

BRAIN es un proyecto fundamentalmente coordinado desde los Estados Unidos e implica la colaboración entre agencias gubernamentales, instituciones académicas y empresas privadas. Por el contrario, el Proyecto Cerebro Humano es un esfuerzo de colaboración en el que participaban 120 instituciones de investigación de toda Europa.

Por su parte, mientras BRAIN puede considerarse un ejemplo de programa de investigación *bottom-up*, comenzando con el estudio de neuronas individuales y avanzando hacia los circuitos, el *Human Brain Project* tuvo siempre un enfoque *top-down*, comenzando con modelos de la función de todo el cerebro y trabajando hacia el nivel de las neuronas individuales. También es muy distinto el enfoque dado al desarrollo tecnológico. El *Human Brain Project* ha hecho siempre más hincapié en el desarrollo de software y herramientas computacionales para simular la función cerebral.

Teniendo en cuenta el enorme desembolso económico que estos proyectos han concitado, no es de extrañar que las críticas recibidas por ambos programas hayan sido en muchas ocasiones ásperas, aunque no exentas

parcialmente de razón. Enumeramos algunas de las críticas más relevantes⁵:

- a) Tanto BRAIN como el *Human Brain Project* fueron criticados desde sus inicios por sus objetivos, lo que no deja de ser llamativo. BRAIN fue acusado de enfocarse fundamentalmente en el desarrollo de tecnología a expensas de la investigación básica, mientras que el Proyecto Cerebro Humano por su ambicioso objetivo de crear una simulación completa del cerebro humano, también en este caso, sin dar mucha cabida a la investigación básica.
- b) En cuanto a su extensión, su restricción geográfica fue inicialmente criticada por no fomentar suficientemente las colaboraciones a nivel internacional.
- c) Son de sobra conocidas las críticas recibidas por el *Human Brain Project* por su estructura de gestión, que ha sido descrita en numerosas ocasiones como burocrática y sobrecargada. En este sentido, la estructura de gestión más simplificada de BRAIN recibió numerosos elogios.

Retos de la neurociencia para los próximos 10 años

Tras el anterior repaso a los programas americano y europeo de investigación sobre el cerebro, nos preguntamos ahora cuáles son, entonces, los principales retos que la Neurociencia tiene planteados para los próximos 10 años. Sin pretender ser exhaustivos, y considerando esta pregunta desde un enfoque fundamentalmente de su utilidad tanto para la investigación terapéutica traslacional como para el avance rápido de la investigación básica, hemos seleccionado estos retos:

- Circuitos neuronales y su control del comportamiento, tanto en humanos como en animales de experimentación.
- Plasticidad cerebral: Se trabaja activamente en comprender cómo el cerebro se reconfigura a sí mismo en respuesta al aprendizaje, las lesiones y las enfermedades, y cómo se pueden aprovechar estos procesos para promover la recuperación y mejorar la función cognitiva.

⁵ <https://www.scientificamerican.com/article/why-the-human-brain-project-went-wrong-and-how-to-fix-it/> (consultado el 23 de marzo de 2023); <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6052245/pdf/zns6427.pdf>

- Redes neuronales e inteligencia artificial: mediante el desarrollo de algoritmos de *Deep learning*, existe un gran interés en explorar, por ejemplo, las posibilidades de las redes neuronales y los algoritmos de aprendizaje automático, y cómo se pueden integrar estos enfoques para crear sistemas de IA más potentes y eficientes. Así, por ejemplo, se encuentra muy avanzado el análisis del comportamiento tanto humano como de animales de experimentación, lo que va a permitir no solo explorar la correlación del comportamiento con los registros profundos del cerebro, sino también descubrir patrones de comportamiento que hoy por hoy, pasan desapercibidos para los investigadores, mediante análisis no supervisado de videos de fenotipado conductual.
- La neuroinmunología, que explora las interacciones entre el sistema inmunológico y el cerebro, y cómo estas interacciones contribuyen a condiciones como la enfermedad de Alzheimer, la esclerosis múltiple ó la depresión, promete ser capaz de desarrollar nuevos tratamientos para estas afecciones.
- A nadie le cabe la menor duda de que uno de los retos más acuciantes y difíciles de la Neurociencia es el análisis de cómo el cerebro da lugar a la conciencia. Se están explorando los correlatos neuronales de la conciencia, incluidos los patrones de actividad que subyacen a las experiencias subjetivas, como la percepción, la atención y la autoconciencia. Al comprender la base neuronal de la conciencia, se espera revelar algunos de los misterios más profundos de la mente humana.
- Conectómica, o estudio del esquema de cableado del cerebro y los circuitos neuronales que subyacen a nuestros pensamientos, emociones y comportamientos. Recientemente se han llevado a cabo importantes avances en las técnicas para mapear estos circuitos, incluida la imagen por tensor de difusión, la fMRI en estado de reposo y la microscopía electrónica de alta resolución. Estas técnicas están permitiendo a los investigadores crear mapas detallados del conectoma del cerebro y estudiar cómo las alteraciones en estos circuitos están relacionadas con diversos trastornos neurológicos y psiquiátricos.
- Interfaces cerebro-computadora (BCIs), dispositivos que permiten controlar máquinas o computadoras usando el pensamiento. En los últimos años, ha habido grandes avances en el desarrollo de BCIs,

particularmente en el campo de las prótesis neurales. Estos dispositivos utilizan electrodos implantados para registrar la actividad neuronal del cerebro y traducirla en movimientos a una prótesis. Los BCIs también son potencialmente aplicables al tratamiento de parálisis, trastornos del habla u otras afecciones neurológicas. No menos interesantes son los implantes que estimulan directamente la corteza motora o métodos no invasivos como la estimulación magnética transcraneal (TMS) y la estimulación transcraneal de corriente continua (tDCS).

- Papel del microbioma en la salud del cerebro: la relación entre la microbiota intestinal y la función cerebral es un campo tan prometedor como insuficientemente comprendido actualmente. Se está explorando cómo los cambios en el microbioma pueden estar relacionados con afecciones como la enfermedad de Alzheimer, la depresión y la ansiedad. En los próximos diez años, es posible que una mejor comprensión del eje intestino-cerebro pueda conducir a nuevos tratamientos para estos y otros trastornos relacionados con el cerebro.
- Medicina de precisión para los trastornos cerebrales: a medida que mejora nuestra comprensión de la genética de los trastornos cerebrales, puede ser posible desarrollar tratamientos más específicos que se adapten a la composición genética única de un individuo. Esto podría incluir terapias génicas, que actualmente se encuentran en desarrollo para afecciones como la enfermedad de Huntington, así como terapias farmacológicas personalizadas que toman en cuenta el perfil genético específico de un individuo.
- El dolor es una experiencia compleja que involucra la interacción de varios circuitos neuronales, tanto en el cerebro como en la médula espinal. Hay varios descubrimientos científicos potenciales que podrían surgir en los próximos diez años con respecto a los circuitos neuronales del dolor:
 - ✓ La identificación de dianas potencialmente terapéuticas. Por ejemplo, investigaciones recientes han identificado neuronas específicas en la médula espinal que son responsables de transmitir señales de dolor al cerebro. En los próximos diez años, los investigadores identificarán otros circuitos neuronales específicos involucrados en el procesamiento del dolor y desarrollarán nuevas terapias dirigidas a estos circuitos. Esto podría conducir a estrategias de gestión del

dolor más efectivas y a una menor dependencia de los opioides y otras drogas con propiedades adictivas.

- ✓ Terapias personalizadas para el dolor considerando el perfil de dolor personal de un individuo. La sensibilidad al dolor puede variar significativamente entre personas y está influenciada por una amplia gama de factores, que incluyen la genética, la edad, el sexo y el estado psicológico. El desarrollo de nuevos métodos para perfilar la sensibilidad al dolor de un individuo e identificar los circuitos neuronales involucrados en su experiencia del dolor conduciría a terapias más personalizadas que se adapten a las necesidades específicas de cada individuo.
- ✓ El papel de las células gliales en el procesamiento del dolor, ya que las células gliales pueden liberar moléculas de señalización que amplifican las señales de dolor y contribuyen al dolor crónico. Se espera obtener una mejor comprensión de cómo las células gliales contribuyen al procesamiento del dolor y el desarrollo de nuevas terapias dirigidas a estas células. Esto podría conducir a tratamientos más efectivos para las condiciones de dolor crónico.

No dejaremos de mencionar la relevancia que está cobrando la investigación del estilo de vida y la cognición, un campo que promete expandirse y generar información de hondo calado en los próximos 10 años, no solo para nuestro conocimiento básico del funcionamiento del cerebro sino también por su relevancia para el desarrollo de políticas públicas de salud física y mental. Específicamente interesantes nos resultan las siguientes:

- El papel del ejercicio se ha demostrado que tiene un impacto significativo en la salud mental, y las investigaciones recientes sugieren que puede ser eficaz para prevenir y tratar la depresión y la ansiedad. Por ejemplo, los investigadores pueden explorar cómo el ejercicio afecta la liberación de neurotransmisores, o cómo modula la inflamación y el estrés oxidativo en el cerebro. Esto podría conducir a nuevas intervenciones y tratamientos para los trastornos de salud mental.
- El impacto del ejercicio en la plasticidad cerebral y la función cognitiva: también se ha demostrado que el ejercicio tiene un impacto positivo en la plasticidad y la función cognitiva, y se está

explorando activamente los mecanismos neuronales que subyacen a estos efectos. Por ejemplo, los estudios han demostrado que el ejercicio puede aumentar la producción de factores de crecimiento como el factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF) o el factor de crecimiento similar a la insulina (IGF1), que desempeñan un papel clave en la promoción de la neuroplasticidad y la función cognitiva.

- Los efectos de los diferentes tipos de ejercicio en el cerebro: si bien la mayoría de las investigaciones sobre la neurobiología del ejercicio se ha centrado en el ejercicio aeróbico como correr o andar en bicicleta, hay un interés creciente en los efectos de otros tipos de ejercicio, como el entrenamiento de fuerza o de alta intensidad, entrenamiento por intervalos (HIIT) y las consecuencias del ejercicio extenuante. Se espera dilucidar cómo los diferentes tipos de ejercicio afectan el cerebro y qué tipos son más efectivos para promover la neuroplasticidad, la función cognitiva y la salud mental. Esto podría conducir al desarrollo de intervenciones de ejercicio específicas para poblaciones específicas, como adultos mayores o personas con trastornos neurológicos.
- El estudio de la memoria promete deparar hallazgos de extraordinaria importancia. Cada vez hay más pruebas de que la actividad física puede tener un impacto significativo en los engramas de memoria, y en los próximos diez años podrían surgir importantes resultados entre los que se encuentran:
 - ✓ La identificación de circuitos neuronales específicos involucrados en la mejora de la memoria inducida por el ejercicio ya que investigaciones recientes han demostrado que la actividad física puede mejorar la formación y recuperación de engramas de memoria en varias regiones del cerebro, incluido el hipocampo y la corteza prefrontal.
 - ✓ Desarrollo de programas de ejercicios personalizados para mejorar la memoria, ya que los efectos de la actividad física en los engramas de memoria pueden variar según una amplia gama de factores, como la edad, el sexo, el nivel de condición física y la predisposición genética. Se espera poder perfilar los engramas de memoria de un individuo e identificar el programa de ejercicio óptimo para mejorar su memoria.

- La reprogramación celular es un campo novedoso que está ampliando sus expectativas recientemente, y que puede revolucionar la manera de abordar cuestiones fundamentales en el ámbito del desarrollo del sistema nervioso, al permitir, tanto en tejido animal como humano, testar alteraciones genéticas, epigenéticas, o farmacológicas, así como ensayos de ganancia – pérdida de función, que ayudarían enormemente a hacer avanzar este campo. En este ámbito entraría también el uso de organoides.



Ética y neurociencia

No cabe duda de que uno de los campos más apasionantes y prometedores es el de la relación entre la investigación del cerebro y la ética. Hemos identificado varias áreas que se muestran particularmente activas.

La comprensión de las bases neuronales de la toma de decisiones morales es un subcampo muy activo, en el que ya se han puesto de manifiesto algunas regiones y circuitos cerebrales específicos involucrados en estos aspectos. Al comprender la base física y celular de la toma de decisiones, podemos comprender cómo y por qué las personas toman decisiones éticas⁶. Estos datos pueden informar sobre principios que resultan muy relevantes en áreas como la bioética, la justicia penal y la ética empresarial.

6

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0149763412000346?token=2DD593DA5B3A6143014178798D16B1F075DF626222BE13F1E9E5CA0061D15AA3C30C6E4B14481E2CCB7338EC535838E&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230330125947>

La investigación también ha revelado que ciertas intervenciones, como la estimulación magnética transcraneal (TMS) y la terapia cognitivo-conductual (TCC), pueden mejorar el comportamiento moral⁷. Por ejemplo, se han acumulado evidencias de cómo la TMS afecta el razonamiento moral y la empatía, mientras que la TCC influye en la ética de ciertos comportamientos. Estas intervenciones podrían usarse para promover el comportamiento ético en personas que son propensas a comportamientos punibles, como aquellas con psicopatía o trastorno de personalidad antisocial.

Sin embargo, donde más está creciendo la investigación y el interés en los últimos años es en la consideración de los aspectos éticos de la investigación en neurociencia. La investigación en neurociencia plantea por sí misma cuestiones éticas, como el uso de estimulación cerebral invasiva y la recopilación y el almacenamiento de datos de neuroimagen. Recuérdese que en el origen de la bioética están, precisamente, todas las cuestiones relacionadas con la investigación biomédica, porque no siempre el comportamiento de los investigadores cumplió los estándares éticos adecuados.

La privacidad y protección de datos se ha considerado un potencial peligro considerando que la investigación en neurociencia se basa cada vez más en la recopilación y el análisis de datos personales confidenciales, así como neuroimagen y datos genéticos. Por ello, proliferan los avances en medidas adecuadas de privacidad y protección de datos para proteger los derechos de los participantes en la investigación y evitar violaciones de datos. En este contexto, también merece consideración el consentimiento informado, especialmente importante en la investigación en neurociencia, al involucrar técnicas invasivas como la estimulación cerebral y la implantación de electrodos. Se aspira a que los participantes comprendan los riesgos y beneficios de la investigación y que brinden su consentimiento informado de manera voluntaria.

El terreno de la justicia ha concitado enorme interés. A medida que la neurociencia avanza en nuestra comprensión del comportamiento y la cognición humanos, es importante considerar cómo se puede utilizar este conocimiento para promover la justicia social y reducir disparidades. Por ejemplo, debe analizarse cómo los hallazgos neurocientíficos pueden perpetuar o desafiar estereotipos sociales o cómo se puede garantizar que esta investigación sea accesible y relevante para diferentes subpoblaciones.

⁷ <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnins.2014.00018/full>

No menos inquietante es un problema detectado en numerosos debates de ética y neurociencia, como el que las interfaces cerebro-computadora (BCIs, que podrían usarse para restaurar el movimiento y la comunicación en personas con parálisis), podrían utilizarse también para manipular o controlar a las personas en contra de su voluntad. Esta potencial aplicación (conocida como de doble uso) debe contralarse mediante el desarrollo de pautas éticas adecuadas que garanticen su uso de manera responsable.

Es de esperar que, en los próximos cinco años, se desarrollen pautas y marcos éticos para abordar estos problemas. Por ejemplo, organizaciones como la Iniciativa Internacional del Cerebro (IBI) y la Sociedad Internacional de Neuroética (INS) están trabajando para promover la investigación neurocientífica responsable y desarrollar estándares éticos para el uso de neurotecnologías.

José Luis Trejo Pérez
Instituto Cajal
Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Madrid, ESPAÑA