

Aspectos éticos de las neurotecnologías invasivas: revisión integradora de la literatura

Ricardo Ferreira Gomes¹, Rejane Laranja¹, Jonas Byk¹, Silvania Furtado¹, Robson Amorim¹

1. Universidade Federal do Amazonas, Manaus/AM, Brasil.

Resumen

El avance de las neurotecnologías, como la estimulación cerebral profunda y las interfaces cerebro-computadora, ha ampliado las posibilidades terapéuticas y cognitivas, pero también ha generado dilemas éticos sin precedentes. Este estudio realizó una revisión integradora de la literatura, basada en las directrices PRISMA, en las bases Medline, Lilacs, BVS y SciELO, incluyendo 23 artículos publicados entre 2015 y 2025. El análisis evidenció cinco ejes éticos principales: autonomía y consentimiento informado; identidad y autenticidad; privacidad mental y derechos neurales fundamentales; justicia y acceso equitativo; y responsabilidad moral y gobernanza. Los resultados indican que las neurotecnologías desafían los principios clásicos de la bioética y exigen nuevas formas de gobernanza ética global capaces de proteger la libertad cognitiva, la dignidad mental y la equidad en el acceso. Se concluye que la bioética contemporánea debe anticipar riesgos y proponer directrices que concilien la innovación tecnológica con la salvaguarda de la condición humana.

Palabras clave: Bioética. Consentimiento informado. Estimulación encefálica profunda. Interfaces cerebro-computador. Privacidad. Tecnología biomédica. Derechos humanos.

Resumo

Aspectos éticos das neurotecnologias invasivas: revisão integrativa da literatura

O avanço das neurotecnologias, como estimulação cerebral profunda e as interfaces cérebro-computador, tem ampliado as possibilidades terapêuticas e cognitivas, mas também provocado dilemas éticos inéditos. Este estudo realizou revisão integrativa da literatura, com base nas diretrizes PRISMA, nas bases Medline, Lilacs, BVS e SciELO, de 23 artigos publicados entre 2015 e 2025. A análise evidenciou cinco eixos éticos principais: autonomia e consentimento informado; identidade e autenticidade; privacidade mental e direitos neurais fundamentais; justiça e acesso equitativo; e responsabilidade moral e governança. Os resultados apontam que as neurotecnologias desafiam os princípios clássicos da bioética e demandam novas formas de governança ética global, capazes de proteger a liberdade cognitiva, a dignidade mental e a equidade no acesso. Conclui-se que a bioética contemporânea deve antecipar riscos e propor diretrizes que conciliem inovação tecnológica e salvaguarda da condição humana.

Palavras-chave: Bioética. Consentimento livre e esclarecido. Estimulação encefálica profunda. Interfaces cérebro-computador. Privacidade. Tecnologia biomédica. Direitos humanos.

Abstract

Ethical aspects of invasive neurotechnologies: an integrative literature review

Advances in neurotechnologies, such as deep brain stimulation and brain-computer interfaces, have expanded therapeutic and cognitive possibilities, but have also generated unprecedented ethical dilemmas. This study conducted an integrative literature review based on PRISMA guidelines using Medline, Lilacs, BVS, and SciELO databases, including 23 articles published between 2015 and 2025. The analysis identified five main ethical axes: autonomy and informed consent; identity and authenticity; mental privacy and fundamental neurorights; justice and equitable access; and moral responsibility and governance. The results indicate that neurotechnologies challenge the classical principles of bioethics and require new forms of global ethical governance capable of protecting cognitive freedom, mental dignity, and equity of access. It is concluded that contemporary bioethics must anticipate risks and propose guidelines that reconcile technological innovation with the safeguarding of the human condition.

Keywords: Bioethics. Informed Consent. Deep brain stimulation. Brain-computer interfaces. Privacy. Biomedical technology. Human rights.

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés.

Las intervenciones neuroquirúrgicas han evolucionado notablemente desde las primeras técnicas de estimulación cerebral de las décadas de 1950 y 1960, culminando en procedimientos de alta precisión como la estimulación cerebral profunda (*deep brain stimulation*, DBS) y las interfaces cerebro-computadora (*brain-computer interfaces*, BCI). Estos avances permiten intervenir directamente en la actividad neuronal para restaurar funciones motoras, tratar trastornos psiquiátricos y, más recientemente, ampliar las capacidades cognitivas y comunicativas humanas¹.

Históricamente, la neurocirugía funcional se ha regido por principios biomédicos basados en la proporcionalidad entre riesgos y beneficios. Sin embargo, la aparición de dispositivos capaces de leer y modular los estados mentales ha redefinido las fronteras entre la terapia y la manipulación cognitiva, desplazando el debate ético hacia las dimensiones filosóficas y jurídicas de la subjetividad².

Las BCI y la DBS abren una nueva frontera en la integración entre el ser humano y la máquina, en la que el cerebro se convierte simultáneamente en fuente y destino de datos neuronales. Esta simbiosis desafía las nociones clásicas de identidad y agencia, ya que los sistemas de modulación cerebral pueden afectar la autonomía y la continuidad del *self*^{1,3}.

Mientras que las BCI descodifican señales neuronales para permitir la comunicación o el control de dispositivos, la DBS modula circuitos específicos y ha demostrado su eficacia en trastornos como el Parkinson, la depresión resistente al tratamiento y el trastorno obsesivo-compulsivo (TOC). Sin embargo, ambas plantean dilemas éticos en torno al consentimiento y a la autenticidad personal^{4,5}.

La bioética contemporánea desplaza su enfoque de la mera seguridad física hacia la protección de la subjetividad y la integridad mental, dando lugar al concepto de derechos neuronales fundamentales (*neurorights*) —un conjunto de derechos destinados a salvaguardar la libertad cognitiva, la privacidad neuronal y la identidad personal⁶⁻⁸.

La creciente incursión de empresas privadas ha agravado los riesgos de explotación de datos neuronales y manipulación mental. La comercialización de estas tecnologías exige nuevos modelos de gobernanza y transparencia,

especialmente ante la opacidad algorítmica y la posibilidad de control externo de los implantes cerebrales (*brainjacking*)^{9,10}.

Ante este panorama, el consentimiento informado tradicional resulta insuficiente. Las tecnologías adaptativas y los sistemas de aprendizaje autónomo exigen un consentimiento continuo y revisable, que reconozca la vulnerabilidad del sujeto neurotecnológico^{11,12}.

En el ámbito internacional, organismos como la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco) y el *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) proponen directrices para la gestión de los datos cerebrales y la protección de los derechos mentales¹³. Sin embargo, sigue existiendo una brecha entre el avance tecnológico y la regulación ética.

Comprender cómo aborda la literatura bioética contemporánea los conflictos éticos relacionados con la autonomía, la identidad personal y la privacidad neural resulta esencial para esbozar un nuevo paradigma ético para la neurocirugía del siglo XXI.

Método

Se trata de una revisión integrativa de la literatura, desarrollada en seis etapas: identificación del tema y formulación de la pregunta guía, definición de los criterios de inclusión y exclusión, búsqueda en las bases de datos, selección de los estudios, extracción y categorización de las informaciones y síntesis de los resultados¹⁴. La investigación se centró en la siguiente pregunta: “¿Cuáles son los principales aspectos éticos relacionados con el uso de neurotecnologías invasivas que se describen en la literatura científica contemporánea?”. Como cuestiones secundarias, se trató de identificar los dilemas éticos más frecuentemente debatidos, los principios bioéticos en conflicto y las propuestas de gobernanza ética presentadas en la literatura.

La búsqueda se llevó a cabo en las bases de datos Medline (PubMed), Lilacs, BVS y SciELO, utilizando términos controlados y no controlados relacionados con la neurotecnología, la neuroética, las interfaces cerebro-computadora, la neuromodulación y la estimulación cerebral profunda, combinados mediante los operadores booleanos “AND” y “OR”.

Se incluyeron artículos científicos publicados en los últimos diez años, disponibles en su versión completa, en inglés, portugués o español, que abordaran aspectos éticos, sociales, legales o

filosóficos relacionados con las neurotecnologías. Se excluyeron los estudios duplicados, los artículos sin relación directa con la temática, los editoriales, las cartas al editor, las tesis y las disertaciones.

Cuadro 1. Estrategias de búsqueda

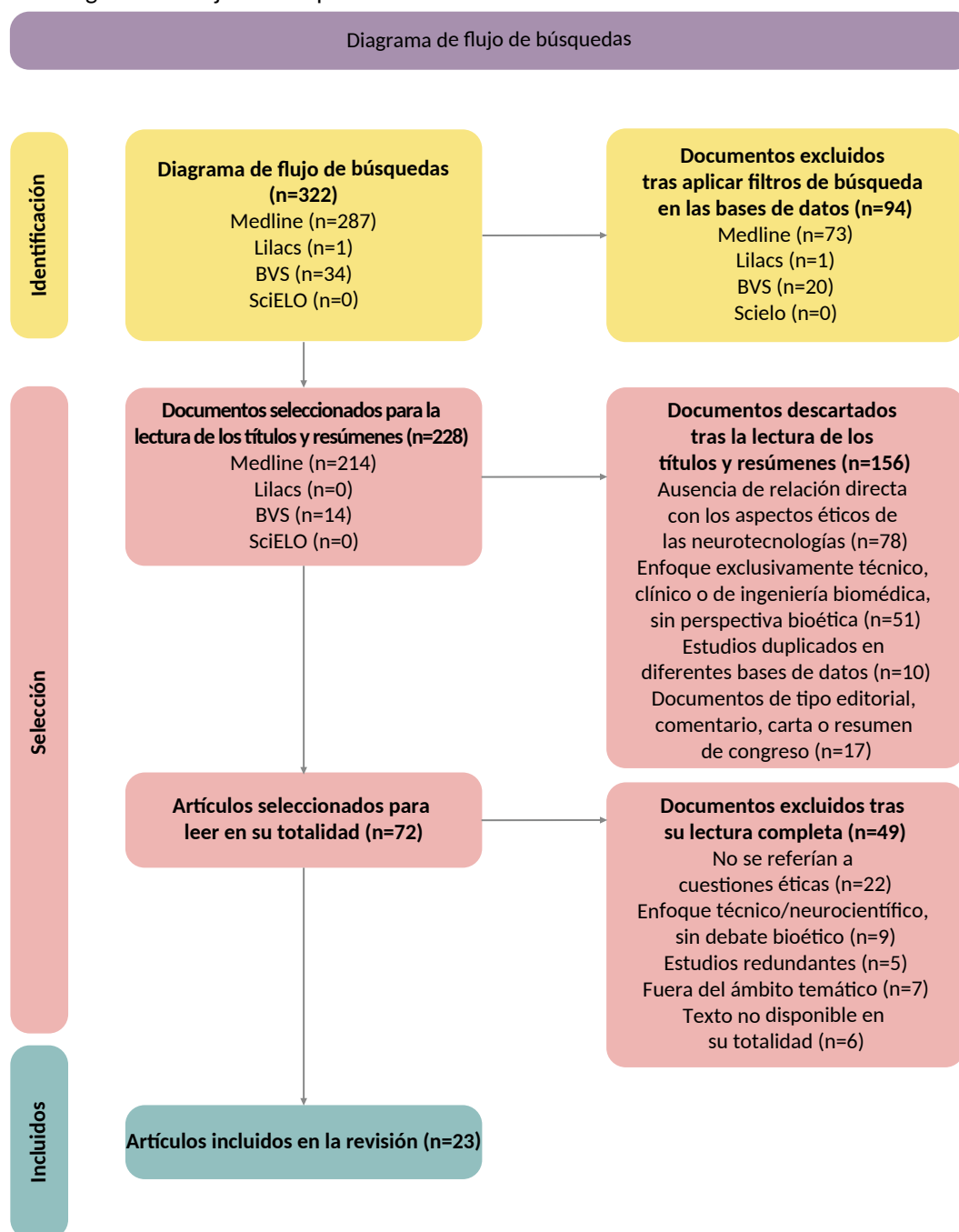
Base de datos	Palabras clave utilizadas
PubMed/Medline	("deep brain stimulation"[tiab] OR DBS[tiab] OR "brain-computer interface"[tiab] OR "brain computer interface"[tiab] OR BCI[tiab] OR "invasive neurotechnology"[tiab] OR "neuroprosthesis"[tiab] OR "neural implant"[tiab] OR neuromodulation[tiab]) AND (neuroethics[tiab] OR "neuroethics"[tiab] OR bioethics[tiab] OR ethics[tiab] OR ethical[tiab] OR moral[tiab]) AND ("personal identity"[tiab] OR identity[tiab] OR personality[tiab] OR self[tiab] OR selfhood[tiab] OR agency[tiab] OR personhood[tiab] OR "neural privacy"[tiab] OR "mental privacy"[tiab] OR privacy[tiab] OR "brain data"[tiab] OR neurorights[tiab] OR "cognitive liberty"[tiab] OR "mental integrity"[tiab] OR "informed consent"[tiab] OR consent[tiab])
Lilacs	("estimulação cerebral profunda" OR DBS) AND (bioética OR "ética médica")
BVS	("estimulação cerebral profunda" OR DBS) AND (bioética OR "ética médica")
SciELO	("deep brain stimulation" OR "estimulação cerebral profunda" OR DBS OR "brain-computer interface" OR BCI) AND (bioética OR ética)

El proceso de identificación y selección de los estudios siguió las directrices de la guía *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA)¹⁵. La búsqueda sistemática en las bases de datos arrojó inicialmente 322 registros: 287 en Medline, 1 en Lilacs, 34 en BVS y ninguno en SciELO. Tras aplicar los filtros de búsqueda, se excluyeron 94 registros, quedando 228 artículos para la lectura de los títulos y resúmenes. Posteriormente, tras la exclusión de duplicados, la selección y la lectura completa de los textos, se incluyeron 23 artículos que cumplían los criterios de elegibilidad establecidos. El proceso de selección se describe en el diagrama de flujo PRISMA (Figura 1).

Durante la selección, se excluyeron 156 registros por no presentar una relación ética directa, por tener un enfoque técnico o biomédico,

por duplicación o por tener un formato no científico (editoriales y comentarios). Tras la lectura completa de los textos restantes (n=72), se excluyeron 49 estudios por carecer de un enfoque ético sustantivo, por tener un enfoque técnico, por redundancia, por la indisponibilidad del texto o por divergencia temática.

Al final del proceso, 23 artículos cumplieron con los criterios de elegibilidad y se incluyeron en el análisis. Los datos extraídos se organizaron en una hoja de cálculo específica que incluía el autor, el año, el título, el objetivo, el tipo de estudio, el periódico y los principales resultados. El análisis de los datos siguió la técnica de análisis de contenido, que comprende las etapas de preanálisis, exploración del material y tratamiento de los resultados, con la identificación de categorías temáticas convergentes.

Figura 1. Diagrama de flujo de búsquedasFuente: adaptado de PRISMA Flow Diagram¹⁶

Resultados

Los estudios analizados se publicaron en los últimos diez años, principalmente en los últimos cinco, lo que pone de manifiesto el reciente aumento de los debates éticos sobre las neurotecnologías.

La mayoría de las publicaciones aparecieron en revistas internacionales de los campos de la neurociencia, la bioética y las ciencias sociales aplicadas a la tecnología, con un predominio de las contribuciones procedentes de Europa y América del Norte, seguidas por publicaciones emergentes de Asia y América Latina.

Predominaron los ensayos teóricos y las revisiones narrativas, seguidos de investigaciones empíricas cualitativas en las que participaron especialistas o usuarios de tecnologías neuronales. La variedad temática abarcó desde la estimulación cerebral profunda hasta las interfaces cerebro-computadora, pasando por las

tecnologías adaptativas y las neuroprótesis inteligentes, lo que refleja la diversidad de aplicaciones clínicas y experimentales.

El análisis integrador permitió identificar cinco categorías éticas fundamentales, que definen el panorama actual de las preocupaciones bioéticas en torno al uso de las neurotecnologías.

Cuadro 2. Material del análisis

Autoría; año	Título del estudio	Principales resultados
Goering S, Brown T, Klein E; 2021 ¹	Neurotechnology ethics and relational agency	Propone el concepto de “coagencia” y la ética relacional.
Kostick-Quenet K y colaboradores; 2022 ⁵	Researchers' ethical concerns about using adaptive deep brain stimulation for enhancement	Identifica cuestiones éticas relacionadas con la seguridad, la justicia y la naturalidad.
Wind JJ, Anderson DE; 2008 ¹⁷	From prefrontal leukotomy to deep brain stimulation: the historical transformation of psychosurgery and the emergence of neuroethics	Analiza la transición de la psicocirugía clásica a las técnicas contemporáneas (DBS y VNS), destacando el papel de la neuroética en la redefinición de los límites éticos del tratamiento psiquiátrico invasivo.
Bell E, Mathieu G, Racine E; 2009 ¹⁸	Preparing the ethical future of deep brain stimulation	Dilemas sobre la selección de pacientes, el consentimiento informado y la equidad; advertencia sobre el aumento de los retos éticos en las nuevas aplicaciones.
Clausen J; 2011 ¹⁹	Conceptual and ethical issues with brain-hardware interfaces	Identifica dilemas relacionados con la identidad, el consentimiento y la privacidad neuronal.
Racine E, Bell E, Zizzo N; 2015 ²⁰	Deep brain stimulation: a principled and pragmatic approach to understanding the ethical and clinical challenges of an evolving technology	Propone un enfoque pragmático para contextualizar los principios éticos en la práctica clínica; destaca los dilemas relacionados con el consentimiento, la equidad y los riesgos.
Halpern C; 2016 ²¹	A commentary on attitudes towards deep brain stimulation for addiction	Identifica los riesgos éticos que plantea la aplicación de la DBS en poblaciones vulnerables; cuestiona la validez del consentimiento bajo la presión de la adicción; analiza los dilemas relacionados con los incentivos económicos y los cambios en la identidad y la moralidad.
Viaña JNM, Bittlinger M, Gilbert F; 2017 ²²	Ethical considerations for deep brain stimulation trials in patients with early-onset alzheimer's disease	Identifica dilemas éticos relacionados con la selección, el consentimiento genético y la comunicación de resultados.
Witt K; 2017 ²³	Identity change and informed consent	Critica el modelo tradicional de consentimiento y propone el “enfoque sensible a la perspectiva”.
Siegel AM, Barrett MS, Bhati MT; 2017 ²⁴	Deep brain stimulation for Alzheimer's disease: ethical challenges for clinical research	Riesgos relacionados con el consentimiento y la ilusión terapéutica; propone un algoritmo ético para la toma de decisiones.

continúa...

Cuadro 2. Continuación

Autoría; año	Título del estudio	Principales resultados
Zuk P y colaboradores; 2018 ²⁵	Neuroethics of neuromodulation: an update	Identifica nueve ejes éticos: privacidad neuronal, consentimiento, acceso a dispositivos, <i>DIY neurostimulation</i> , <i>neuroenhancement</i> , medios de comunicación, identidad, agencia y uso en menores.
Zuk P, Lázaro-Muñoz G; 2021 ²⁶	DBS and autonomy: clarifying the role of theoretical neuroethics	Distingue entre autonomía moral, decisoria y ejecutiva; propone una metodología conceptual para fundamentar medidas empíricas; aboga por la integración entre la ética teórica y la neurociencia.
Mandarelli G y colaboradores; 2018 ²⁷	Informed consent decision-making in deep brain stimulation	Las limitaciones cognitivas y emocionales pueden afectar la capacidad de dar su consentimiento.
Kreitmaier KV; 2019 ²⁸	Dimensions of ethical direct-to-consumer neurotechnologies	Establece siete dimensiones éticas fundamentales: seguridad, privacidad, autenticidad, transparencia, justicia, etc.
Cannard C y colaboradores; 2020 ²⁹	Self-health monitoring and wearable neurotechnologies	Presenta los avances en el campo de los EEG portátiles y aborda los retos éticos relacionados con la privacidad y el consentimiento.
Klein E; 2020 ³⁰	Ethics and the emergence of brain-computer interface medicine	Destaca nuevas responsabilidades clínicas y conceptos éticos como la privacidad neuronal y la autenticidad.
Van Stuijvenberg OC y colaboradores; 2024 ³¹	Developer perspectives on the ethics of AI-driven neural implants: a qualitative study	Identifica tres ejes éticos: el diseño, los ensayos clínicos y los impactos sociales; destaca las tensiones entre la precisión y la autonomía.
Ruiz S y colaboradores; 2024 ³²	Neurorights in the constitution: from neurotechnology to ethics and politics	Identifica ambigüedades conceptuales y riesgos de sobrerregulación que pueden limitar la investigación neurocientífica.
Bluhm R y colaboradores; 2024 ³³	Stakeholders' ethical concerns regarding psychiatric electroceutical interventions: results from a US nationwide survey	La DBS y la ABI generan mayor preocupación ética, especialmente en lo que respecta al consentimiento y la eficacia.
Livanis E y colaboradores; 2024 ³⁴	Understanding the ethical issues of Brain-Computer Interfaces (BCIs)	Identifica dilemas relacionados con la dignidad, la autonomía, la privacidad y la justicia.
Moumdjian RA; 2025 ³⁵	Bioethics of neurotechnologies	Cuestiones relacionadas con la seguridad, la justicia, la privacidad y los riesgos.
Zhang Q y colaboradores; 2025 ³⁶	Ethical governance of clinical research on the brain-computer interface for mental disorders: a modified Delphi study	Énfasis en la autonomía, la privacidad y la relación riesgo-beneficio.
Shaw J y colaboradores; 2025 ³⁷	Current neuroethical perspectives on deep brain stimulation and neuromodulation for neuropsychiatric disorders: a scoping review of the past 10 years	Enfoque en la autonomía, la identidad y la justicia.

Autonomía y consentimiento informado

La mayoría de los estudios señalaron los retos que plantea garantizar el consentimiento informado en investigaciones e intervenciones con dispositivos invasivos, sobre todo en situaciones de deterioro cognitivo o trastornos psiquiátricos. La autonomía del paciente se ve afectada por la asimetría de información entre los participantes y los investigadores, así como por la complejidad técnica de los dispositivos, lo que exige estrategias específicas de comunicación y un seguimiento longitudinal.

Identidad, autenticidad y autonomía personal

Varios estudios han abordado los efectos de las neurotecnologías sobre la percepción de uno mismo y el sentido de continuidad personal. Los cambios en la personalidad, el comportamiento o el estado de ánimo asociados a la estimulación cerebral plantean interrogantes sobre la autenticidad de la experiencia subjetiva y la atribución de responsabilidad moral. Parte de la literatura reciente propone modelos relacionales de *agency* (agencia personal), entendida como la capacidad del individuo para actuar de forma autónoma y moralmente significativa. Desde esta perspectiva, se debate la idea de la agencia compartida, que considera la interacción entre el usuario y el dispositivo como una forma de coautoría de la acción.

Privacidad mental y neurorights

Con el avance de las interfaces cerebro-computadora y de la inteligencia artificial aplicadas a la monitorización neural, surgen preocupaciones relativas a la privacidad de los datos cerebrales y a la posibilidad de descodificar pensamientos o emociones. Diversos autores proponen la consolidación de derechos neuronales fundamentales, como la libertad cognitiva, la integridad mental y la continuidad psicológica, como instrumentos jurídicos de protección frente a la manipulación de datos neuronales.

Justicia, acceso y gobernanza tecnológica

Los debates sobre la justicia distributiva y el acceso equitativo fueron recurrentes. Las tecnologías neuronales, de alto coste y acceso restringido,

tienden a reproducir las desigualdades socioeconómicas, tanto entre países como dentro de los sistemas de salud. La bibliografía especializada recomienda el desarrollo de políticas públicas y marcos normativos internacionales que promuevan la transparencia, la inclusión y la regulación ética del uso clínico y experimental de las neurotecnologías.

Responsabilidad y gobernanza ética

Esta categoría abarca cuestiones relacionadas con la responsabilidad moral y jurídica en las acciones mediadas por dispositivos neurotecnológicos. Se debatieron ampliamente cuestiones como la autoría de los actos, los fallos técnicos y la corresponsabilidad entre el paciente, el profesional y el fabricante. Los estudios destacan la necesidad de contar con comités multidisciplinares y protocolos de gobernanza ética continua para mitigar los riesgos y garantizar la seguridad, la rastreabilidad y la rendición de cuentas.

Los estudios ponen de manifiesto un campo en rápida expansión, que combina la innovación tecnológica con dilemas éticos complejos y aun insuficientemente regulados. Existe consenso sobre la urgencia de contar con directrices internacionales integradas, capaces de armonizar los principios de la bioética —autonomía, beneficencia, justicia y no maleficencia— con los nuevos retos que plantean las tecnologías de interfaz neural.

Discusión

Los resultados de esta revisión demuestran que el debate ético sobre las neurotecnologías constituye un campo interdisciplinario en fase de consolidación, que aúna la neurociencia, la filosofía, el derecho y las políticas públicas. La creciente integración entre el cerebro y la máquina a través de interfaces cerebro-computadora y la estimulación cerebral profunda ha ampliado el alcance terapéutico y experimental de estas tecnologías, al tiempo que ha intensificado los dilemas bioéticos tradicionales sobre la autonomía, la identidad y la privacidad^{38,39}.

La autonomía y el consentimiento informado siguen siendo algunas de las cuestiones más complejas. Los pacientes sometidos a intervenciones

neuronales invasivas suelen enfrentarse a limitaciones cognitivas que dificultan la plena comprensión de los riesgos y los cambios subjetivos derivados del procedimiento. Esto exige un modelo de consentimiento dinámico, continuo y revisable, adaptado a la evolución del dispositivo y al propio estado mental del participante⁴⁰. La literatura internacional ha subrayado la importancia de incorporar enfoques participativos y transparentes en el desarrollo de BCI y DBS, reconociendo la vulnerabilidad de los usuarios y el desequilibrio de poder entre los desarrolladores y los pacientes^{1,34}.

La identidad personal y la autenticidad se erigen como ejes centrales de la ética neurotecnológica. Las transformaciones cognitivas y afectivas inducidas por los dispositivos de neuromodulación ponen en tela de juicio la noción de un “yo” estable, lo que suscita reflexiones sobre la continuidad psicológica y el sentido de la agencia^{41,42}. Algunos autores proponen que la experiencia neurotecnológica debe entenderse como una forma de “agencia compartida”, en la que el sujeto y la tecnología participan conjuntamente en la generación de acciones y significados¹. Esta concepción relativiza la idea de una autenticidad amenazada y enfatiza la plasticidad identitaria como parte del proceso de integración entre la mente y la máquina⁴³.

El debate sobre la privacidad mental y los *neurorights* ha cobrado relevancia recientemente con el avance de las BCI, capaces de decodificar patrones cerebrales e inferir estados mentales. La protección de los datos neuronales requiere marcos ético-jurídicos específicos, ya que la información cerebral tiene un potencial interpretativo superior al de cualquier otro dato biométrico⁴⁴. Propuestas como los *neurorights* pretenden garantizar la libertad cognitiva y la integridad mental ante la posibilidad de manipulación algorítmica o comercialización de señales neuronales⁴⁵. Este debate refleja la urgencia de armonizar las innovaciones tecnológicas con los instrumentos jurídicos de protección de la dignidad cognitiva.

Otro punto crítico se refiere a la justicia y el acceso equitativo. El desarrollo y la aplicación de las neurotecnologías se concentran principalmente en los países de altos ingresos, lo que tiende a reproducir las desigualdades estructurales. Estudios recientes destacan la importancia de las políticas globales de regulación y fomento de la investigación traslacional, con el fin de democratizar los beneficios de

la neurociencia aplicada y mitigar los riesgos de una elitización tecnológica^{46,47}. Esta perspectiva concuerda con el principio de equidad bioética, según el cual el progreso científico debe velar por el bien común y no agravar las exclusiones sociales³⁹.

La responsabilidad moral y jurídica en el ámbito de la neuromodulación plantea otro reto emergente. Cuando los dispositivos interactúan directamente con la voluntad y el comportamiento humanos, resulta difícil determinar la plena autoría de las acciones mediadas por la tecnología⁴⁸. Los modelos recientes de gobernanza ética proponen estructuras de responsabilidad compartida entre el paciente, el profesional y el desarrollador, acompañadas de sistemas de rastreabilidad técnica y auditoría algorítmica. Este enfoque concuerda con el concepto de “bioética prospectiva”, cuyo objetivo es anticipar las repercusiones éticas antes de la consolidación clínica de las innovaciones.

En general, la literatura coincide en la necesidad de institucionalizar una bioética adaptada a la era neurotecnológica: una ética que sea a la vez normativa, reguladora y reflexiva. Las iniciativas de la UNESCO y del IEEE apuntan a un movimiento internacional en favor de directrices globales sobre la gobernanza de los datos cerebrales y la integridad mental, pero aún existen lagunas en su aplicación concreta⁹. En este sentido, la revista *Bioética* ha destacado en Brasil al abordar la neuroética como un campo institucional de mediación entre la ciencia y la sociedad^{39,43}, reforzando la importancia de contextualizar globalmente los retos éticos de la interfaz cerebro-máquina.

En resumen, el avance de las neurotecnologías exige una reformulación de la ética biomédica clásica, ampliándola para incluir la autonomía cognitiva, la privacidad neural y la dignidad mental como valores fundamentales. El fortalecimiento de las políticas públicas, la interdisciplinariedad y el diálogo continuo entre la ciencia y la bioética son vías esenciales para garantizar que el progreso neurotecnológico siga estando en consonancia con la protección del ser humano.

Consideraciones finales

Esta revisión integradora demuestra que el avance de las neurotecnologías redefine los

contornos clásicos de la bioética, lo que impone la necesidad de nuevos enfoques para abordar los dilemas emergentes relacionados con la autonomía, la identidad, la privacidad y la justicia. Las transformaciones impulsadas por dispositivos como la estimulación cerebral profunda y las interfaces cerebro-computadora amplían las posibilidades terapéuticas, pero también introducen riesgos sin precedentes de vulnerabilidad cognitiva, manipulación de datos neuronales y desigualdad en el acceso a las innovaciones.

Los estudios analizados demuestran la urgencia de establecer una gobernanza ética global, basada en principios de responsabilidad compartida, transparencia y respeto a la dignidad humana. La consolidación de directrices internacionales, como la propuesta de los *neurorights*, constituye

un paso fundamental para equilibrar los beneficios clínicos y los riesgos morales, garantizando el desarrollo responsable de las neurotecnologías. En este contexto, se refuerza la necesidad de fortalecer la interdisciplinariedad entre la neurociencia, la filosofía, el derecho y las políticas públicas, con el fin de orientar prácticas científicas seguras, justas y humanizadas.

En resumen, la bioética contemporánea tiene la tarea de anticipar y mediar en las repercusiones sociales y existenciales de la interacción entre el cerebro y la máquina. Mantener el debate ético y normativo constantemente actualizado es una condición esencial para que el progreso neurotecnológico no solo amplíe las capacidades humanas, sino que también preserve los valores que sustentan el propio sentido de la humanidad.

Referencias

1. Goering S, Brown T, Klein E. Neurotechnology ethics and relational agency. *Philos Compass* [Internet]. 2021 [acceso 1° dez 2025];16(4). DOI: 10.1111/phc3.12734
2. Michałowska M, Kowalczyk Ł, Marcinkowska W, Malicki M. Being outside the decision-loop: the impact of deep brain stimulation and brain-computer interfaces on autonomy. *Analiza i Egzystencja* [Internet]. 2021 [acceso 1° dez 2025];56:25-52. DOI: 10.18276/aie.2021.56-02
3. Allen WL, Giordano J, Okun MS. DBS-Induced changes in personality, agency, narrative and identity. *AJOB Neurosci* [Internet]. 2023 [acceso 1° dez 2025];14(3):300-2. DOI: 10.1080/21507740.2023.2243865
4. Muñoz KA, Kostick K, Sanchez C, Kalwani L, Torgerson L, Hsu R *et al.* Researcher perspectives on ethical considerations in adaptive deep brain stimulation trials. *Front Hum Neurosci* [Internet]. 2020 [acceso 1° dez 2025];14. DOI: 10.3389/fnhum.2020.578695
5. Kostick-Quenet K, Kalwani L, Koenig B, Torgerson L, Sanchez C, Munoz K *et al.* Researchers' ethical concerns about using adaptive deep brain stimulation for enhancement. *Front Hum Neurosci* [Internet]. 2022 [acceso 1° dez 2025];16:813922. Disponible: <https://bit.ly/4fBwDRU>
6. Ligthart S, Ienca M, Meynen G, Molnár-Gábor F, Andorno R, Bublitz C *et al.* Minding rights: mapping ethical and legal foundations of "neurorights". *Camb Q Healthc Ethics* [Internet]. 2023 [acceso 1° dez 2025];1-21. DOI: 10.48550/arxiv.2302.06281
7. Muñoz JM, Bernácer J, Güell F. A conceptual framework to safeguard the neuroright to personal autonomy. *Neuroethics* [Internet]. 2023 [acceso 1° dez 2025];16(3):1-13. DOI: 10.1007/s12152-023-09523-4
8. Karunambigai S, Shree AIV. Neurorights safeguarding mental autonomy in a digital era. *IJFMR* [Internet]. 2024 [acceso 1° dez 2025];6(6). DOI: 10.36948/ijfmr.2024.v06i06.31409
9. Lavazza A, Balconi M, Ienca M, Minerva F, Pizzetti FG, Reichlin M *et al.* Neuralink's brain-computer interfaces: medical innovations and ethical challenges. *Front Hum Dyn* [Internet]. 2025 [acceso 1° dez 2025];7. DOI: 10.3389/fhumd.2025.1553905
10. Pugh J, Pycroft L, Sandberg A, Aziz T, Savulescu J. Brainjacking in deep brain stimulation and autonomy. *Ethics Inf Technol* [Internet]. 2018 [acceso 1° dez 2025];20(3):219-32. DOI: 10.1007/s10676-018-9466-4
11. Yusifova L. Ethical and legal aspects of using brain-computer interface in medicine: protection of patient's neuro privacy [tese] [Internet]. Bologna: Alma Mater Studiorum Università di Bologna; 2020 [acceso 1° dez 2025]. DOI: 10.6092/unibo/amsdottorato/9342

12. Kapitonova M, Kellmeyer P, Vogt S, Ball T. A framework for preserving privacy and cybersecurity in brain-computer interfacing applications. ArXiv [Internet]. 2022 [acceso 1° dez 2025]. DOI: 10.48550/arxiv.2209.09653
13. Flores Filho EGJ, Firmo MC. Human dignity and neurorights in the digital age. BJLTI [Internet]. 2023 [acceso 1° dez 2025];1(2):87-107. DOI: 10.59224/bjlti.v1i2.87-107
14. Whitemore R, Knafl K. The integrative review: updated methodology. J Adv Nurs [Internet]. 2005 [acceso 1° dez 2025];52(5):546-53. DOI: 10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x
15. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ [Internet]. 2021 [acceso 1° dez 2025];372. DOI: 10.1136/bmj.n71
16. PRISMA flow diagram [Internet]. [New York]: Prisma; 2020 [acceso 1° dez 2025]. Disponível: <https://bit.ly/4wD5Ri7>
17. Wind JJ, Anderson DE. From prefrontal leukotomy to deep brain stimulation: the historical transformation of psychosurgery and the emergence of neuroethics. Neurosurg Focus [Internet]. 2008 [acceso 1° dez 2025];25(1):10. DOI: 10.3171/FOC/2008/25/7/E10
18. Bell E, Mathieu G, Racine E. Preparing the ethical future of deep brain stimulation. Surg Neurol [Internet]. 2009 [acceso 1° dez 2025];72(6):577-86. DOI: 10.1016/j.surneu.2009.03.029
19. Clausen J. Conceptual and ethical issues with brain-hardware interfaces. Curr Opin Psychiatry [Internet]. 2011 [acceso 1° dez 2025];24(6):495-501. DOI: 10.1097/YCO.0b013e32834bb8ca
20. Racine E, Bell E, Zizzo N. Deep brain stimulation: a principled and pragmatic approach to understanding the ethical and clinical challenges of an evolving technology. Curr Top Behav Neurosci [Internet]. 2015 [acceso 1° dez 2025];19:243-63. DOI: 10.1007/7854_2014_336
21. Halpern C. A commentary on attitudes towards deep brain stimulation for addiction. J Neurol Neuromedicine [Internet]. 2016 [acceso 1° dez 2025];1(8):1-3. DOI: 10.29245/2572.942x/2016/8.1093
22. Viaña JNM, Bittlinger M, Gilbert F. Ethical considerations for deep brain stimulation trials in patients with early-onset alzheimer's disease. JAD [Internet]. 2017 [acceso 1° dez 2025];58(2):289-301. DOI: 10.3233/JAD-161073
23. Witt K. Identity change and informed consent. J Med Ethics [Internet]. 2017 [acceso 1° dez 2025];43(6):384-90. DOI: 10.1136/medethics-2016-103684
24. Siegel AM, Barrett MS, Bhati MT. Deep brain stimulation for Alzheimer's disease: ethical challenges for clinical research. JAD [Internet]. 2017 [acceso 1° dez 2025];56(2):429-39. DOI: 10.3233/JAD-160356
25. Zuk P, Torgerson L, Sierra-Mercado D, Lázaro-Muñoz G. Neuroethics of neuromodulation: an update. Curr Opin Biomed Eng [Internet]. 2018 [acceso 1° dez 2025];8:45-50. DOI: 10.1016/j.cobme.2018.10.003
26. Zuk P, Lázaro-Muñoz G. DBS and autonomy: clarifying the role of theoretical neuroethics. Neuroethics [Internet]. 2021 [acceso 1° dez 2025];14(1):83-93. DOI: 10.1007/s12152-019-09417-4
27. Mandarelli G, Moretti G, Pasquini M, Nicolò G, Ferracuti S. Informed consent decision-making in deep brain stimulation. Brain Sci [Internet]. 2018 [acceso 1° dez 2025];8(5):84. DOI: 10.3390/brainsci8050084
28. Kreitmair K V. Dimensions of ethical direct-to-consumer neurotechnologies. AJOB Neurosci [Internet]. 2019 [acceso 1° dez 2025];10(4):152-66. DOI: 10.1080/21507740.2019.1665120
29. Cannard C, Brandmeyer T, Wahbeh H, Delorme A. Self-health monitoring and wearable neurotechnologies. Handb Clin Neurol [Internet] 2020 [acceso 1° dez 2025];168:207-32. DOI: 10.1016/B978-0-444-63934-9.00016-0
30. Klein E. Ethics and the emergence of brain-computer interface medicine. Handb Clin Neurol [Internet]. 2020 [acceso 1° dez 2025];168:329-39. DOI: 10.1016/B978-0-444-63934-9.00024-X
31. Van Stuijvenberg OC, Broekman MLD, Wolff SEC, Bredenoord AL, Jongsma KR. Developer perspectives on the ethics of AI-driven neural implants: a qualitative study. Sci Rep [Internet]. 2024 [acceso 1° dez 2025];14(1):7880. DOI: 10.1038/s41598-024-58535-4

32. Ruiz S, Valera L, Ramos P, Sitaram R. Neurorights in the constitution: from neurotechnology to ethics and politics. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* [Internet]. 2024 [acesso 1º dez 2025]; 379(1915). DOI: 10.1098/rstb.2023.0098
33. Bluhm R, Sipahi ED, Achtyes ED, McCright AM, Cabrera LY. Stakeholders' ethical concerns regarding psychiatric electroceutical interventions: results from a US nationwide survey. *AJOB Empir Bioeth* [Internet]. 2024 [acesso 1º dez 2025];15(1):11-21. DOI: 10.1080/23294515.2023.2224592
34. Livanis E, Voultsos P, Vadikolias K, Pantazakos P, Tsaroucha A. Understanding the ethical issues of Brain-Computer Interfaces (BCIs): a blessing or the beginning of a dystopian future? *Cureus* [Internet]. 2024 [acesso 1º dez 2025];16(4):e58243. DOI: 10.7759/cureus.58243
35. Moumdjian RA. Bioethics of neurotechnologies: a field in effervescence. *Neurol Res* [Internet]. 2025 [acesso 1º dez 2025];47(8):756-9. DOI: 10.1080/01616412.2025.2499896
36. Zhang Q, Zhang C, Ji H, Chen J, Wang X, Zhang T *et al*. Ethical governance of clinical research on the brain-computer interface for mental disorders: a modified Delphi study. *Gen Psychiatr* [Internet]. 2025 [acesso 1º dez 2025];38(4). DOI: 10.1136/gpsych-2024-101755
37. Shaw J, Pyreddy S, Rosendahl C, Lai C, Ton E, Carter R. Current neuroethical perspectives on deep brain stimulation and neuromodulation for neuropsychiatric disorders: a scoping review of the past 10 years. *Diseases* [Internet]. 2025 [acesso 1º dez 2025];13(8). DOI: 10.3390/diseases13080262
38. Burwell S, Sample M, Racine E. Ethical aspects of brain computer interfaces: a scoping review. *BMC Med Ethics* [Internet]. 2017 [acesso 1º dez 2025];18(1):60. DOI: 10.1186/s12910-017-0220-y
39. Hamdan AC. Neuroethics: the institutionalization of ethics in neuroscience. *Rev bioét (Impr.)* [Internet]. 2017 [acesso 1º dez 2025];25(2):275-81. DOI: 10.1590/1983-80422017252187
40. Lighthart S, Kooijmans T, Douglas T, Meynen G. Closed-loop brain devices in offender rehabilitation: autonomy, human rights, and accountability. *Camb Q Healthc Ethics* [Internet]. 2021 [acesso 1º dez 2025];30(4):669-80. DOI: 10.1017/S0963180121000141
41. Pugh J. Clarifying the normative significance of "personality changes" following deep brain stimulation. *Sci Eng Ethics* [Internet]. 2020 [acesso 1º dez 2025];26(3):1655-80. DOI: 10.1007/s11948-020-00207-3
42. Gilbert F, Ienca M, Cook M. How I became myself after merging with a computer: does human-machine symbiosis raise human rights issues? *Brain Stimul* [Internet]. 2023 [acesso 1º dez 2025];16(3):783-9. DOI: 10.1016/j.brs.2023.04.016
43. Marino Júnior R. Neuroética: o cérebro como órgão da ética e da moral. *Rev bioét (Impr.)* [Internet]. 2010 [acesso 1º dez 2025];18(1):109-20. Disponível: <https://bit.ly/4wLoCAj>
44. Brown CML. Neurorights, mental privacy, and mind reading. *Neuroethics* [Internet]. 2024 [acesso 1º dez 2025];17(2). DOI: 10.1007/s12152-024-09568-z
45. Ienca M, Andorno R. Towards new human rights in the age of neuroscience and neurotechnology. *Life Sci Soc Policy* [Internet]. 2017 [acesso 1º dez 2025];13(1):5. DOI: 10.1186/s40504-017-0050-1
46. Sun X-yu, Ye B. The functional differentiation of brain-computer interfaces (BCIs) and its ethical implications. *Humanit Soc Sci Commun* [Internet]. 2023 [acesso 1º dez 2025];10(1). DOI: 10.1057/s41599-023-02419-x
47. Boonstra JT. Ethical imperatives in the commercialization of brain-computer interfaces. *IBRO Neurosci Rep* [Internet]. 2025 [acesso 1º dez 2025];19:718-24. DOI: 10.1016/j.ibneur.2025.10.004
48. Kubben P. Invasive Brain-Computer Interfaces: a critical assessment of current developments and future prospects. *JMIR Neurotechnology* [Internet]. 2024 [acesso 1º dez 2025]; 3. DOI: 10.2196/60151

Ricardo Ferreira Gomes – Estudiante de máster – ricardo.gomes6401@gmail.com

 0009-0004-5304-3490

Rejane Laranja – Estudiante de máster – laranjarejane97@gmail.com

 0000-0001-9575-4013

Jonas Byk – Doctor – jonas.byk@hotmail.com

 0000-0001-5854-4316

Silvania Furtado – Doctora – silvaniafurtado@ufam.edu.br

 0000-0003-0065-3119

Robson Amorim – Doctor – amorim.robson@gmail.com

 0000-0003-2391-7519

Correspondencia

Ricardo Ferreira Gomes – Universidade Federal do Amazonas. Rua Afonso Pena, 1053, Centro, CEP 69020-160. Manaus/AM, Brasil.

Contribución de los autores

Ricardo Ferreira Gomes: diseño del estudio; diseño metodológico; recopilación de datos; análisis e interpretación de los datos; redacción del manuscrito. Rejane Laranja: diseño del estudio; diseño metodológico; recopilación de datos; análisis e interpretación de los datos; redacción del manuscrito. Silvania Furtado: revisión crítica del contenido; sugerencias para mejorar el manuscrito. Jonas Byk: revisión del manuscrito. Robson Amorim: dirección del estudio; revisión final del manuscrito.

Disponibilidad de los datos: Todos los datos utilizados o generados en la investigación se describen y presentan íntegramente en el cuerpo del artículo.

Editora responsable: Dilza Teresinha Ambrós Ribeiro

Recibido: 12.12.2025

Revisado: 5.4.2026

Aprobado: 6.4.2026