PUBLICACIONES DE LA
ACADEMIA NACIONAL DE
MEDICINA DE MÉXICO

# INTELIGENCIA ARTIFICIAL, NEUROÉTICA Y NEURODERECHO: RETOS A VENCER EN AMÉRICA LATINA

Coordinadores:
Dra. Luisa Lilia Rocha Arrieta
Dr. Daniel Ernesto Olazábal Mettetieri

5 de septiembre, 2025

# Inteligencia artificial, neuroética y neuroderecho: retos a vencer en América Latina.

**Dra. Luisa Lilia Rocha Arrieta**
Departamento de Farmacobiología. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, México.

**Dr. Daniel Ernesto Olazábal Mettetieri**
Unidad Académica Fisiología, Facultad de Medicina, Universidad de la República Uruguay. Gral. Flores 2125, Montevideo, Uruguay 11800.

**Dra. Laura Sánchez Vincitore**
Instituto de Neurociencia Aplicada. Universidad Iberoamericana (UNIBE). Calle Majoma N. 13, Los Ríos, Santo Domingo, República Dominicana.

**Dr. Luis Aguilar**
Facultad de Ciencias de la Salud.  Universidad Continental. Av. Alfredo Mendiola 5210, Lima, Perú.

**Dr. Fernando Cárdenas**
Laboratorio de Neurociencia y Comportamiento, Universidad de los Andes. Cra 1 #18A-12, Aguas, 111711, Bogotá, Colombia.

**Dr. Roberto Rodríguez**
Centro de Neurociencias de Cuba. Cuba.

**Dr. Daniel San Juan Orta**
Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía. México.

**Dra. María de Jesús Medina Arellano**
Instituto de Investigaciones Jurídicas de la Universidad Nacional Autónoma de México. México.

**Lic. Adriana Campos Huirache**
Presidenta de la Comisión de Ciencia y Tecnología del Congreso del Estado de Michoacán.

**Dr. Jaime Fornaguera**
Centro de Investigación en Neurociencias, Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

# Introducción

Es evidente que los avances en neurotecnologías e inteligencia artificial (IA) han despertado gran entusiasmo ya que prometen transformar a la sociedad a múltiples niveles. Sin embargo, junto a estas oportunidades surgen también preocupaciones que requieren reflexión. A lo largo del presente texto, se tratan diferentes avances en el campo de las neurotecnologías e IA, su potencial para mejorar los tratamientos y la comprensión del cerebro —incluyendo fenómenos como la conciencia y su relación con la conducta—, así como los desafíos bioéticos, jurídicos y sociales que resultan de los mismos. Se hará énfasis en la necesidad de proteger la dignidad humana, garantizar la equidad en el acceso a los beneficios y mejorar la calidad y reproducibilidad de los datos de investigación.

Este documento representa un esfuerzo de reflexión de miembros de la Iniciativa Latinoamericana del Cerebro (LATBrain), que surgió en 2019 en Uruguay, un país pequeño, pero con gran fortaleza institucional y política. Desde sus inicios, LATBrain ha llevado a cabo numerosas actividades con un propósito central: unir a profesionales, instituciones académicas y empresas vinculadas al estudio del cerebro, para avanzar en la investigación sobre su funcionamiento y en el desarrollo de estrategias terapéuticas para el control y tratamiento de enfermedades neurológicas.

# Los avances de la neurotecnología en el área de la salud

Para comprender el presente de la neurotecnología, es esencial volver la vista al pasado. El punto de partida lo encontramos en Hans Berger, pionero de la neurotecnología y creador del electroencefalograma (EEG). En 1929, Berger se refería a las señales cerebrales como "secretas", pero vislumbraba un futuro en el que podrían revelar enfermedades mentales e, incluso, permitir escribir en "lenguaje cerebral". Sus palabras han resultado proféticas. Hoy, el EEG no solo es una herramienta fundamental en neurología y neurociencia, sino que, combinado con interfaces cerebro-computadora, ha hecho posible una interacción directa entre la actividad cerebral y los dispositivos externos. A partir de ese momento, el campo de la neurotecnología ha experimentado un desarrollo acelerado, transformando disciplinas tan diversas como la medicina, la IA y la propia sociedad, con hitos significativos que incluyen desde los implantes cocleares en la década de 1980—que lograron restaurar la audición—, pasando por la estimulación cerebral profunda, aprobada en 1997 y hoy ya una técnica consolidada, hasta proyectos contemporáneos como "Neuralink".

Actualmente contamos con múltiples avances para comprender mejor el lenguaje del cerebro, desde interfaces cerebro-computadora hasta neuroprótesis y materiales biocompatibles que reducen las respuestas neuroinmunes, uno de los grandes retos de estos implantes.

Es importante mencionar que para que un dispositivo se considere neurotecnológico debe cumplir varios requisitos: 1) Evaluar directamente la actividad neuronal; 2) Tener una interpretación fisiológica coherente; 3) Permitir la modulación o conexión, y no solo la medición; 4) Ser estable, robusto y replicable.

Los sistemas de neurotecnología incluyen: 1) Hardware: el dispositivo que registra o envía información; 2) Software: programas que reciben y procesan los datos; 3) Procesamiento de señal: que debe ser extremadamente rápido porque el uso es en vivo.

A diferencia de la neurociencia que estudia el cerebro, y la neuroimagen que lo visualiza, la neurotecnología va un paso más allá: mide directamente la actividad cerebral, puede modularla y permite conectar el cerebro con el propio cuerpo, con máquinas o con computadoras '' .

En el ámbito clínico, existen avances en tecnologías aplicadas a la salud que se mencionan a continuación:

- Manejo del dolor crónico. Al respecto, se ha transitado desde los electrodos de los años 70 y los sistemas con retroalimentación de los años 90, hasta los actuales dispositivos ultrasónicos e inalámbricos, algunos de ellos alimentados por el calor corporal.
- EEG y resonancia magnética funcional. Se utilizan electroencefalógrafos inalámbricos de 32 canales, combinados con sistemas de seguimiento ocular, para aplicaciones clínicas y de investigación. Además, se cuentan con resonadores magnéticos dedicados a la investigación de diferentes trastornos cerebrales.
- Estimulación magnética transcraneal, procedimiento que se aplica para el tratamiento de trastornos cerebrales como en depresión, dolor crónico y enfermedad de Alzheimer, con la ventaja de tener pocos efectos secundarios.
- Estimulación eléctrica transcraneal que se aplica para el tratamiento de patologías psiquiátricas y neurológicas, con resultados prometedores.
- Ultrasonido focalizado que recientemente se autorizó para el tratamiento de enfermedades psiquiátricas y en evaluación del dolor crónico.
- Sistemas automatizados que se aplican para implementar estrategias guiadas a especialidades como la neurocirugía.
- La neurotecnología también está abriendo camino en campos inesperados, como la arqueología.
- La combinación de diferentes neurotecnologías (la polisomnografía, registro del EEG, electrooculograma y electromiografía) permite la evaluación de trastornos relacionados al sueño, con importantes resultados en enfermedades como la epilepsia nocturna.
- Existen sistemas de “neurofeedback”, avances en neurofarmacología, optogenética y diseño de organoides cerebrales que abren nuevas fronteras hacia la medicina personalizada.

En Europa, grandes inversiones en neurociencia durante los años 80 y 90 permitieron crear centros especializados. Hoy, España ha inaugurado un Centro Nacional de Neurotecnología con financiamiento asegurado hasta 2037, con un presupuesto de 200 millones de euros.

Actualmente es posible aplicar la neurotecnología en actividades como es la educación bilingüe, facilitando la enseñanza de lenguas originarias como el quechua en Perú. Sin embargo, existen limitaciones para llevar esta tecnología a zonas rurales por problemas de energía eléctrica, transporte y mantenimiento de equipos. Es evidente que Latinoamérica debe ser un aliado estratégico en este esfuerzo global.

A nivel clínico, se estima que seis de las diez enfermedades neurológicas más comunes pueden beneficiarse de la neurotecnología, siendo las más estudiadas la Enfermedad de Parkinson – en la que la estimulación cerebral profunda y las interfaces cerebro-computadora han demostrado notable eficacia terapéutica y de rehabilitación motora - y la Enfermedad de Alzheimer, en la que la IA está revolucionando el diagnóstico temprano, la subtipificación de la enfermedad y el diseño de tratamientos personalizados.

El potencial de la neurotecnología es inmenso e incluye desde la detección y diagnóstico tempranos y precisos, una mejor tipificación y estadificación de las enfermedades, y ensayos clínicos más eficientes, hasta el desarrollo de terapias personalizadas y programas de rehabilitación cognitiva y motora, mejorando significativamente la calidad de vida de los pacientes. Los avances en este campo ya son una realidad tangible en la práctica clínica. En la enfermedad de Parkinson, los sistemas de ciclo cerrado representan un salto cualitativo al combinar interfaces cerebro-computadora con estimuladores cerebrales profundos, logrando una estimulación adaptativa que se ajusta en tiempo real a las necesidades del paciente. De igual manera, para la Esclerosis Lateral Amiotrófica, se han desarrollado sistemas innovadores que permiten recuperar su capacidad de comunicación a personas que habían perdido completamente la voz.

Por otra parte, el "neurofeedback" aplicado mediante técnicas como el EEG o la resonancia magnética funcional ha demostrado beneficios significativos en la mejora de funciones cognitivas y motoras. Esta técnica ha mostrado resultados prometedores en la rehabilitación de la memoria de trabajo, la memoria episódica y en procesos de recuperación motora, ofreciendo nuevas esperanzas para pacientes con diversas condiciones neurológicas.

Es importante mencionar que al presente las neurotecnologías aún presentan limitaciones como un proceso de calibración compleja, los equipos que se utilizan son grandes y poco prácticos. La tendencia es avanzar hacia sistemas portátiles, adaptativos, multimodales y personalizados.

La IA se ha erigido como un pilar fundamental en la última década revolucionando el enfoque de la medicina personalizada. Sus contribuciones son cruciales para lograr un diagnóstico y pronóstico más precisos, identificar biomarcadores clínicos y moleculares relevantes, realizar una subtipificación de pacientes que permita tratamientos personalizados, y crear modelos predictivos confiables sobre la progresión de enfermedades cerebrales.

Es destacable el papel activo que está desempeñando América Latina en este ámbito de vanguardia, con países como Brasil, Argentina, Colombia y México participando significativamente en redes internacionales de investigación, lo que contribuye al avance global de este campo y al desarrollo de soluciones más inclusivas y diversas.

Por otra parte, el desarrollo de organoides cerebrales tridimensionales representa una alternativa prometedora que podría reducir la dependencia de los modelos animales. Estos miniórganos reproducen características de regiones cerebrales específicas, permitiendo estudiar los mecanismos fisiopatológicos de las enfermedades de Alzheimer y Parkinson, así como probar fármacos de manera personalizada utilizando células del propio paciente.

Existen trastornos cerebrales que se consideran de alta relevancia para ser tratados con neurotecnología. Uno de ellos es la epilepsia la cual afecta a más de 50 millones de personas a nivel mundial y se caracteriza por crisis epilépticas espontáneas y recurrentes. Basado en un modelo de atención estadounidense del manejo de las crisis epilépticas y epilepsia, posterior a la primera crisis, se requiere un tratamiento temprano y una red de apoyo que permitan determinar cuáles son las mejores opciones terapéuticas. En algunas ocasiones, la cirugía está plenamente indicada, como en el caso de un glioma de alto grado o de lesiones altamente epileptogénicas que inducen complicaciones (por ejemplo, cavernomas que han sangrado). En otras ocasiones, además de la cirugía de resección, existen alternativas como la ablación por radiocirugía, la termocoagulación, el láser o, la neuromodulación, especialmente cuando el paciente no es candidato quirúrgico por diversas razones.

Un 30% de los pacientes con epilepsia no responden a los fármacos anticrisis por lo que se les considera farmacorresistentes. Uno de los requisitos para considerar a un paciente resistente a los fármacos es que haya fallado la administración apropiada de al menos dos tratamientos, ya sea en monoterapia, de manera secuencial o simultánea. Para ello se requiere una evaluación integral, costosa y prolongada, que permita decidir si el paciente es candidato a una intervención de neuromodulación o quirúrgica.

En el mundo se han aprobado tres terapias de neuromodulación invasiva para la epilepsia: la estimulación del nervio vago (VNS), la estimulación responsiva (RNS) y la estimulación cerebral profunda (DBS). Desafortunadamente, ninguna de ellas es curativa y su eficacia es muy similar. La selección del tratamiento depende del tipo de epilepsia y de ciertas características del paciente. Sin embargo, la RNS no está disponible en muchos países, limitándose actualmente a Estados Unidos y China.

# Limitaciones e implicaciones éticas de la neurotecnología

Para hablar de los dilemas éticos que plantean las terapias de neuromodulación para el tratamiento de la epilepsia y otros trastornos cerebrales, es necesario considerar los principios bioéticos fundamentales: autonomía del paciente, justicia como principio social, no maleficencia (relacionada con el quehacer médico) y beneficencia (relación médico-paciente). En el ámbito de la autonomía, el principal desafío es la dificultad del paciente para comprender la complejidad técnica de estas intervenciones altamente sofisticadas. También se requiere especial atención en los consentimientos informados en situaciones específicas, dado que el estimulador del nervio vago está indicado para pacientes mayores de cuatro años y otras condiciones particulares. Existe además el riesgo de generar falsas expectativas, ya que estas intervenciones solo logran el control completo de las crisis en un rango del 1 al 6% de los casos.

En cuanto a la justicia, todas estas terapias implican costos elevados: solo el dispositivo puede costar entre 800 mil y un millón de pesos mexicanos. Su disponibilidad es limitada no solo por razones económicas, sino también geográficas. Incluso en países donde están disponibles, persisten desigualdades entre zonas rurales y urbanas. Además, los criterios de selección pueden incluir la edad, la expectativa de vida o la presencia de comorbilidades, factores que limitan el acceso. En muchos casos, los pacientes requieren visitas constantes para la programación de los dispositivos —a veces cada 15 días durante al menos seis meses—, lo que representa una carga en sistemas de salud públicos saturados o costos adicionales en el ámbito privado.

Desde la perspectiva de la beneficencia y la no maleficencia, estas intervenciones, dada su naturaleza invasiva, conllevan riesgos quirúrgicos, así como complicaciones vasculares, neuronales o efectos neuropsiquiátricos. El estimulador del nervio vago, por ejemplo, también se utiliza para el tratamiento de la depresión farmacorresistente. Sin embargo, la estimulación cerebral profunda puede inducir cambios de comportamiento e incrementar las complicaciones neuropsiquiátricas, lo que la hace inapropiada para pacientes con antecedentes de intentos suicidas recientes. Estos son algunos de los dilemas éticos de las terapias de neuromodulación invasiva para trastornos cerebrales como la epilepsia.

Con relación a los aspectos que afectan la identidad personal y la autonomía, algunos pacientes experimentan cambios en el comportamiento o las emociones tras la implantación de un dispositivo. Pueden sentir que "ya no son los mismos" o tener dificultades para distinguir si ciertas emociones —como la depresión o la ansiedad— son resultado del dispositivo o de su propia condición.

Los límites a la autonomía también se vinculan al control externo: tanto el médico como el cuidador pueden modificar los parámetros del dispositivo, lo cual plantea el dilema del control sobre la conducta de una persona. Asimismo, portar un dispositivo visible puede generar estigmatización o discriminación. Además, estos dispositivos pueden limitar el acceso a estudios como resonancias magnéticas. Dispositivos como el estimulador responsivo, se implantan en el cráneo, mientras que el del nervio vago se coloca en la región del pecho. Ambos pueden activarse con un imán externo para abortar una crisis, ya sea por el propio paciente o por quien lo acompaña.

En el caso de la estimulación cerebral profunda, su aplicación en diferentes zonas cerebrales puede generar consecuencias neurobiológicas y neuropsicológicas diversas: cambios en la percepción personal ("sentirse como una nueva persona"), incremento del deseo sexual, alteraciones afectivas (euforia o depresión), y transformaciones en las dinámicas familiares y sociales.

Otro conjunto de dilemas éticos se relaciona con la privacidad de los datos cerebrales, la dependencia tecnológica, los costos de mantenimiento y la falta de marcos legales adaptados a la nueva era de las neurotecnologías. Al respecto, en México la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) ha emitido recomendaciones sobre buenas prácticas de fabricación de dispositivos médicos, aunque persisten riesgos de mal uso o de uso no autorizado (*off-label*).

Más allá de las terapias invasivas, existen nuevos dispositivos no invasivos (eléctricos, magnéticos y ultrasónicos) para el control de enfermedades cerebrales como la epilepsia. La estimulación magnética transcraneal y la estimulación eléctrica transcraneal han crecido en popularidad, aunque sus resultados

siguen siendo limitados y sus costos elevados -entre 1,000 y 2,000 pesos mexicanos por sesión-, requiriendo muchas sesiones. Ambas terapias pueden provocar efectos neuropsiquiátricos, como episodios de manía, y su acceso sigue restringido por factores económicos y geográficos.

En los últimos años, la neuromodulación eléctrica transcraneal se ha vuelto más accesible al público, pero también más riesgosa. Hoy cualquiera puede adquirir o incluso fabricar estos dispositivos sin supervisión médica, lo que plantea graves riesgos de seguridad. Se ha generado una subcultura en línea donde se comparten instrucciones para fabricar dispositivos caseros sin componentes de seguridad adecuados. Por ello, uno de los principios de la neuroética moderna debe ser la colaboración entre la comunidad científica, las empresas y la sociedad para garantizar información veraz, uso responsable y marcos regulatorios sólidos. Al respecto, la Organización de las Naciones Unidas ha establecido lineamientos sobre liderazgo, arquitectura institucional y estrategias para la regulación de dispositivos que impactan la actividad cerebral. Por otra parte, la Declaración de Helsinki establece que, en ausencia de intervenciones aprobadas eficaces, el médico puede emplear tratamientos experimentales, siempre con consentimiento informado y con el compromiso de documentar y publicar los resultados. En diciembre de 2022, la Unión Europea reclasificó los dispositivos de estimulación eléctrica y magnética transcraneal como de clase III (alto riesgo), restringiendo su adquisición para usos no médicos, como potenciar funciones cognitivas o actividades recreativas. Finalmente, emergen nuevos dispositivos no invasivos del nervio vago, cuyos resultados son prometedores, pero que plantean dilemas similares.

Es importante indicar que las estrategias éticas para el manejo de estas tecnologías deben incluir lo siguiente:

- Consentimiento informado reforzado y comprensible.
- Herramientas de apoyo a la decisión.
- Derecho a la desconexión de los dispositivos.
- Terapias personalizadas centradas en el paciente.
- Protocolos estandarizados y evaluación de calidad de vida.
- Programas públicos de cobertura y convenios con aseguradoras.
- Prioridad ética a pacientes con alta discapacidad funcional.
- Transferencia de tecnología entre países con distintos recursos.

En conclusión, existen implicaciones éticas relevantes derivadas de la evidencia limitada sobre la eficacia y seguridad de estas intervenciones a largo plazo para el control de enfermedades cerebrales. Se observa una autonomía comprometida por la desesperanza del paciente, inequidad por los altos costos y la limitada infraestructura, riesgos quirúrgicos y neuropsiquiátricos, y posibles cambios en cognición, emoción y personalidad. Por ello, es indispensable contar con un consentimiento informado sólido, una regulación clara y un seguimiento ético riguroso de los pacientes.

# La neurotecnología y la conciencia

La neurotecnología también puede ayudar a comprender la conciencia y la conducta. La conciencia puede entenderse como un proceso dinámico mediante el cual la actividad neuronal se convierte en experiencia subjetiva, expresada y manipulada por la persona . Al respecto existe consenso de que esta experiencia surge de la integración y sincronización de diferentes áreas cerebral. Hace varios años parecía absurdo y hasta gracioso pensar que era posible leer la mente. Sin embargo, recientemente se publicó un artículo que mostraba la reconstrucción del lenguaje a partir de registros cerebrales . Esto refleja un cambio tecnológico profundo que merece toda nuestra atención y que permite asegurar que la neurotecnología puede permitir el estudio de la conciencia.

Una forma de comprender la conciencia es observar lo que ocurre cuando falla. Los trastornos de conciencia (por lesiones, traumas o enfermedades) plantean un gran reto ya que es difícil diagnosticar si existe experiencia subjetiva cuando el paciente no puede expresarse conductualmente. Esto aumenta el riesgo de diagnósticos errados —. Al respecto, la neurotecnología abre la posibilidad de detectar señales cerebrales que indiquen si existe algún nivel de conciencia, permitiendo no solo un diagnóstico más preciso, sino también canales de comunicación.

Ejemplos de paradigmas con EEG incluyen analizar el P300, una onda eléctrica que aparece ~300 ms después de un estímulo y que se utiliza para evaluar la atención. Por ejemplo, si se presenta repetidamente un círculo rojo y de pronto aparece uno azul, el cerebro genera un P300 de mayor amplitud indicando que se detectó el cambio. En el estudio de , el P300 se ha considerado un marcador neural de atención consciente en pacientes con trastornos de la conciencia (Wang et al., 2015). El objetivo principal es ofrecer una vía no invasiva para identificar si un paciente puede comprender y seguir instrucciones, incluso sin emitir respuestas conductuales. Al presentar estímulos audiovisuales congruentes y pedir al participante que atienda a un número específico, genera una respuesta P300 indicando atención consciente. La detección de esta señal permite inferir la presencia de conciencia encubierta y evaluar estados de conciencia en pacientes que no puedan emitir respuestas conductuales.

Otro ejemplo es el “Steady-State Visual Potential” (SSVEP) el cual se basa en que cuando un estímulo visual parpadea a cierta frecuencia, las neuronas de la corteza occipital se sincronizan a ese ritmo. Por ejemplo, al pedir a un participante que atienda una luz parpadeante, se registra en su cerebro actividad neuronal a esa misma frecuencia, la cual desaparece al ignorar la estimulación. Este paradigma puede usarse para obtener respuestas tipo “sí/no” en personas con trastornos de conciencia .

Es evidente que la neurotecnología no crea conciencia, pero sí nos permite medirla, mantenerla y abrir acceso a experiencias subjetivas que, de otro modo, serían inaccesibles. Sin embargo, el avance en el desarrollo de las neurotecnologías también plantea dilemas éticos. Al respecto, se sabe que algoritmos que solo procesan datos conductuales —como los de las redes sociales— ya pueden predecir aspectos íntimos de nuestra vida. ¿Qué ocurrirá cuando esas predicciones provengan directamente de la actividad cerebral? Esto exige un debate interdisciplinario y una reflexión ética profunda sobre el alcance, uso y regulación de estas tecnologías.

# Neurotecnología y Neuroética

Actualmente se considera a la neuroética como un campo de estudio crucial ante el avance del estudio del cerebro y las neurotecnologías. Al respecto existen dos grandes ramas de esta disciplina: la primera relacionada al cerebro humano y que está orientada a los neuroderechos y la protección de los productos neurales, y la segunda, que aborda los principios éticos que rigen la investigación en modelos animales. Este doble enfoque, que une la protección de la mente humana con el cuidado animal, define el panorama actual de la neuroética.

La rama de la neuroética orientada a los derechos humanos ha ganado una notable prominencia en el debate público y legislativo. El origen de esta preocupación se encuentra en el difundido "miedo" a una posible "lectura de la mente" y, con ello a la pérdida de la privacidad mental (De Montalvo Jääskeläinen, 2024). Estos miedos, considerados como "irracionales" hace tan solo unos años, hoy en día parecen adquirir una mayor realidad. Avances en neurotecnologías como la resonancia magnética funcional, el EEG de altísima densidad, la magnetoencefalografía, las interfaces cerebro-computador o cerebro-cerebro, apoyadas en el uso de la inteligencia artificial, están creando un panorama en el cual es posible el considerar la posibilidad de conocer y replicar en detalle el pensamiento de una persona (Parellada Guillamón & Rovira Martorell, 2025). Esta situación naturalmente ha alimentado inquietudes que abarcan desde el ámbito personal hasta el militar, impulsando la necesidad de establecer marcos legales protectores.

En respuesta a estos desafíos, varios países en todo el mundo incluyendo algunos de América Latina, han iniciado procesos legislativos para consagrar la protección de la actividad cerebral y mental. A continuación, se presentan algunos de los avances más significativos en la región:

*Chile:* Fue el primer país que se posicionó como pionero a nivel mundial en esta materia. Gracias al impulso de figuras como el neurobiólogo Rafael Yuste, se logró integrar en la Constitución de este país los cinco neuroderechos básicos, sentando un precedente histórico (Reche Tello, 2021).

*Ecuador:* Su proceso legislativo se ha estructurado en torno a tres pilares fundamentales: la dignidad humana, el acceso equitativo a las neurotecnologías para toda la población y la protección de la privacidad mental.

*México:* Se ha explorado la creación de un proyecto de ley enfocado principalmente en la responsabilidad asociada al desarrollo y uso de la neurotecnología. Sin embargo, el proceso aún está en desarrollo y es posible que pase algún tiempo antes de que se pueda contar con una legislación clara y precisa en relación a la aplicación de neurotecnologías.

*Colombia:* En marzo de 2025 se radicó ante el senado de la república un proyecto de ley, por parte del senador y psicólogo Carlos Julio González. Este proyecto se centra en tres aspectos principales: a) la protección de neurodatos, b) la garantía de la identidad y autonomía cerebral, y c) la prevención de la manipulación neuronal. Vale la pena resaltar el carácter académico / legal de la propuesta de Colombia, ya que se realizó en colaboración con instituciones académicas como las Universidades de los Andes y del Rosario y con el aval del Colegio Colombiano de Psicólogos.

Dentro de otros esfuerzos realizados en América Latina, es de resaltar que en 2023 el Parlamento Latinoamericano y Caribeño dio un paso importante al aprobar una Ley Modelo de Neuroderechos para América Latina y el Caribe. Esta ley busca regular los aspectos generales recogidos en casi todos los proyectos de ley a nivel mundial (privacidad mental, identidad y autonomía personal, libre albedrío y autodeterminación, acceso equitativo a la mejoría cognitiva, protección frente a algoritmos automatizados y la no intervención involuntaria en conexiones neuronales). Se espera que estas propuestas de ley se aprueben y apliquen en el futuro cercano.

En relación a los principios rectores en la investigación con modelos animales, la premisa que guía su filosofía es la conocida afirmación ampliamente divulgada por el Dr. Hugo Aréchiga: "nadie está más interesado en el bienestar de los animales de laboratorio que los mismos científicos que trabajamos con ellos". Esta idea

no responde únicamente a un imperativo moral, sino también a una necesidad metodológica: los animales que se encuentran en buenas condiciones de bienestar son indispensables para obtener resultados experimentales de alta calidad, validez y replicabilidad.

La investigación con modelos animales es el pilar sobre el cual se edifica gran parte del conocimiento fundamental antes de su aplicación en seres humanos. Para garantizar que esta labor se realice de manera válida y rigurosa, se han establecido marcos regulatorios y principios éticos universales que guían a la comunidad científica.

A nivel global, diversas organizaciones internacionales establecen directrices claras sobre cómo proceder en la investigación con animales. En América Latina, destacan asociaciones como la Asociación Mexicana para la Ciencia de los Animales de Laboratorio (AMCAL), la asociación Brasileira de Ciência em Animais de Laboratório (SBCAL), la Asociación Argentina para la Ciencia y la Tecnología de Animales de Laboratorio (AACyTAL) y la asociación Colombiana para la Ciencia y el Bienestar del Animal de Laboratorio (ACBAL). Estas organizaciones vigilan que cualquier institución que utilice animales en investigación cumpla con uno de los requisitos internacionales exigidos para el trabajo experimental con animales, a saber, la existencia oficial de un Comité Institucional de Uso y Cuidado de Animales (CIUCA). Estos CICUAs son los organismos institucionales encargados de velar por el cumplimiento de la normativas nacionales e internacionales.

Las regulaciones para el uso de animales, a pesar de mantenerse en constante evolución pueden, sin embargo, generar tensiones prácticas y crear en algunos investigadores la sensación de una "persecución" a su labor. Cabe a cada CICUA facilitar los procesos y acercarse de la mejor manera a los investigadores en cada institución para crear un clima adecuado para el avance en el uso adecuado de animales de experimentación.

En ocasiones las mismas condiciones legales de cada país imponen algunas restricciones importantes al funcionamiento de los CICUAs. Un ejemplo ilustrativo de esta situación es el caso colombiano. En Colombia, la ley prohíbe explícitamente que los estudiantes en formación – incluyendo los de medicina veterinaria y áreas afines – utilicen animales vivos como parte de su formación profesional. Naturalmente, esto ha generado problemas en su preparación y formación, lo que a veces se traduce en malas prácticas profesionales. En estos casos, es labor del CICUA asegurar las mejores condiciones de manejo animal. Recientemente, se ha aprobado una nueva propuesta de ley, esta vez, desarrollada luego de la consulta con científicos e investigadores, que busca reformar esta restricción para crear un marco más equilibrado y consensuado.

La práctica científica experimental con animales se rige por tres conjuntos de principios complementarios que han evolucionado con el tiempo, siempre buscando asegurar las mejores condiciones posibles para lograr el bienestar de los animales usados.

*Principio de las tres Rs (Russell & Bursh, 1959)*: Este es, quizá, el marco de bienestar más conocido y fue propuesto en 1959. Sus principios son:

Reducción: Utilizar el mínimo número posible de animales para obtener resultados estadísticamente significativos. Este número se determina mediante cálculos de poder estadístico previos al experimento.

Refinamiento: Mejorar y perfeccionar constantemente las técnicas experimentales – por ejemplo, procedimientos quirúrgicos – para minimizar el dolor, el sufrimiento y la pérdida de animales.

Reemplazo: significa sustituir, siempre que sea posible, los modelos animales por especies de menor complejidad evolutiva o mejor aún, por alternativas no biológicas.

*Principio de las Cinco Libertades (Farm Animal Welfare Council, 1965)*: Este principio se centran en garantizar un estado de bienestar integral para los animales durante toda su vida. Según este principio, los animales deben estar libres de hambre, sed, incomodidades, dolor, enfermedades, miedo y estrés. Así mismo, deben de estar en condiciones para expresar libremente su comportamiento normal.

*Principio de las tres Ss:* Este es el marco más reciente e incorpora dimensiones humanas y de rigor científico. Incluye las siguientes premisas:

Buena Ciencia (Good Science): Exige la aplicación de buenas prácticas científicas, lo que incluye desde el

diseño experimental riguroso hasta la capacitación adecuada del personal.

Buen Sentido (Good Sense): Apela a la aplicación del sentido común en todos los procedimientos para evaluar y tomar decisiones razonables.

Sensibilidad (Sensitivity): Reconoce la importancia de la salud mental del personal investigador y técnico, prestando especial atención al fenómeno conocido como "fatiga por compasión".

Estas premisas no son meras sugerencias, sino que se materializan en un proceso de evaluación riguroso y obligatorio para toda investigación. Por otra parte, todos los marcos éticos se traducen en procesos administrativos, de fiscalización y de supervisión concretos que cada investigador debe seguir. Por normatividad de los CICUAs, antes de iniciar cualquier investigación que involucre animales, el investigador debe presentar de manera obligatoria una solicitud detallada a su CIUCA institucional. En reunión plena el comité deberá evaluar si el proyecto cumple con todas las normativas para así aprobar, solicitar modificaciones o rechazar un protocolo de investigación.

En términos generales, cada proyecto debe presentar un mínimo de información que incluye lo siguiente:

*Beneficios del proyecto:* Una justificación clara de la relevancia científica y la utilidad potencial de la investigación para la sociedad y/o para el avance del conocimiento.

*Justificación de la especie a usar:* Una argumentación sólida sobre por qué se ha elegido un modelo animal específico, directamente relacionada con el principio de Reemplazo.

*Búsqueda de alternativas:* En específico se solicita evidencia de que el investigador ha explorado y descartado la posibilidad de realizar el estudio utilizando modelos no animales.

*Condiciones de alojamiento:* Descripción minuciosa del entorno en el que vivirán los animales, incluyendo detalles sobre temperatura, ciclos de luz/obscuridad, acceso a comida y agua, para así garantizar las Cinco Libertades descritas anteriormente en este texto.

*Protocolos experimentales:* Una explicación detallada del "día a día" de los procedimientos que se aplicarán a los animales, asegurando el Refinamiento de las técnicas.

*Criterios de punto final:* Descripción del método de eutanasia que se utilizará en caso de ser necesario, garantizando que sea lo más rápido y carente de estrés posible.

*Cálculo del tamaño de la muestra:* Presentación del análisis estadístico (utilizando herramientas como GPower) que justifica el número exacto de animales a utilizar, en cumplimiento con el principio de Reducción. Este minucioso escrutinio asegura que cada experimento esté éticamente justificado.

Una pregunta fundamental en la aplicación de la ética en ensayos preclínicos es el siguiente: ¿a qué seres vivos se aplican estas rigurosas normativas? La respuesta no se fundamenta únicamente en consideraciones meramente biológicas, sino que implica distinciones legales específicas que definen el alcance de la protección. La regla generalmente asumida es que la legislación sobre el cuidado y uso de animales en investigación se aplica exclusivamente a los animales vertebrados. Así, los estudios con insectos no son reglamentados por los CICUAs (Sánchez-Nadal et al., 2021). De esta forma, y para efectos legales, los insectos no son considerados "animales" en el sentido reglamentario, ya que carecen de vértebras. Por lo tanto, actualmente su uso en investigación no requiere la aprobación de un comité de ética.

La aplicación rigurosa de los cánones éticos “aplicación a vertebrados”, lleva a casos curiosos como lo es la investigación en peces. Desde el marco legal, el bienestar de peces incluidos en estudios experimentales ha de ser considerado, dependiendo de su etapa de desarrollo. Experimentos realizados con larvas de peces – antes de que hayan desarrollado vértebras – no necesitan pasar por CICUAs, pero una vez que el pez madura y se convierte en un vertebrado, cualquier procedimiento experimental queda sujeto a la regulación. Esto crea algunas situaciones difíciles de discutir. De manera similar, es importante mencionar el caso de los pulpos, animales que a pesar de ser invertebrados, en muchas legislaciones se les ha declarado "vertebrados honorarios", lo que significa que deben ser tratados

con las mismas disposiciones legales y protecciones que los animales vertebrados (Giménez-Candela & Jiménez López, 2019). Para los pulpos se plantean situaciones únicas, como el realizar procesos anestésicos separados para cada tentáculo, la necesidad de entregar elementos de enriquecimiento ambiental (aún en ausencia de estudios que claramente determinen qué es enriquecedor para un pulpo) y la determinación de consideraciones de punto final, que son totalmente diferentes a las aplicadas a animales terrestres. Estas regulaciones podrían extenderse a otros cefalópodos.

Con base en esta información, es evidente que la neuroética de la investigación preclínica es un campo dinámico, capaz de adaptarse a nuevos conocimientos científicos y a una mayor sensibilidad social. Es una disciplina dual que aborda tanto los dilemas emergentes de las neurotecnologías aplicadas a humanos como los principios fundamentales que rigen la investigación científica básica. Desde la protección de la privacidad mental hasta el bienestar de los modelos animales, su objetivo es asegurar que el avance del conocimiento sobre el cerebro se realice de forma responsable, rigurosa y humana. América Latina posee un gran avance en el camino hacia la legislación en neuroderechos y varios países de la región están haciendo esfuerzos diversos en este sentido.

# Neurotecnología y Neuroderecho

El rápido avance de las neurotecnologías exige un análisis ético-jurídico que preserve la autonomía, la dignidad humana y la justicia social, incorporando explícitamente las dimensiones de género y la mirada latinoamericana sobre soberanía científica. A continuación, se propone un enfoque regulatorio desde la neuroética, con perspectiva de género y justicia, donde las desigualdades estructurales y los sesgos tecnológicos sean objeto de vigilancia normativa. Se sostiene que no es necesario instituir nuevos neuroderechos, sino reinterpretar los derechos humanos ya reconocidos bajo un prisma de equidad cognitiva, justicia social y soberanía epistémica.

Las neurotecnologías tales como implantes neuronales, interfaces cerebro–máquina, algoritmos de predicción cognitiva, están redefiniendo los límites de lo que parece posible en el control y manipulación del cerebro humano. Estas tecnologías podrían moldear la identidad, incidir en la autonomía y vulnerar la libertad de pensamiento, si no se regulan adecuadamente. Pero lo que a menudo se omite en los debates tradicionales es cómo las desigualdades de género, raza, clase y capacidad pueden interactuar con el acceso, uso y riesgos de estas tecnologías. En este contexto, la regulación de las neurociencias no puede ser neutra: debe incorporar un enfoque de justicia de género e inclusión cognitiva, es decir, neurodivergencias y soberanía científica para prevenir que las tecnologías refuercen discriminaciones existentes (Horvat & Horvat, 2025).

Se presentan a continuación reflexiones y propuestas que integren los principios de la neuroética clásica, los instrumentos internacionales en neuroética y una perspectiva de género consciente de los sesgos tecnológicos y cognitivos.

Se sabe que el debate neuroético se despliega entre tres grandes corrientes. El conservadurismo biotecnológico (Kass, 2002) limita la intervención cerebral a la restauración terapéutica. El liberalismo neuroético (Chatterjee, 2004) defiende la libertad individual para mejorar las capacidades cognitivas incluso en personas sanas. El transhumanismo propone trascender las limitaciones biológicas mediante *neuroenhancement* -mejoramiento cognitivo- y fusión con la IA. Frente a ello, se sostiene que la normalidad en los mejoramientos morales y cognitivos apoyados de la IA no puede ser definida desde paradigmas externos o eurocéntricos, sino desde la diversidad cognitiva y cultural latinoamericana, lo que se denomina 'soberanía epistémica' (Arguedas, 2019).

Los instrumentos internacionales de neuroética, como la Declaración del Comité Internacional de Bioética de la UNESCO (2021), reconocen derechos vinculados a la integridad mental, privacidad neuronal y autonomía, pero sin un sesgo de género explícito. La Declaración Interamericana sobre Neurotecnología (OEA, 2023) incluye igualdad, no discriminación y acceso equitativo como principios clave. Estas cláusulas son un punto de partida para incorporar una lectura crítica de género: la igualdad formal no basta si las brechas socioeconómicas y culturales impiden el acceso real.

Una crítica feminista de la tecnología ha mostrado cómo los sesgos de género pueden filtrarse en algoritmos, diseños técnicos y recopilación de datos (West *et. al.*, 2021; Buolamwini & Gebru, 2018). El neurofeminismo cuestiona los sesgos androcéntricos de las neurociencias (Fine, 2020). En el contexto de las neurociencias, estos sesgos se manifiestan en la selección de muestras experimentales, los diagnósticos neuronales basados en patrones cerebrales masculinos y el uso diferencial de dispositivos de mejora cognitiva.

El acceso a las neurotecnologías debe evaluarse conforme a las necesidades terapéuticas y no como privilegio técnico. Pero un enfoque con perspectiva de género requiere reconocer que los costos, infraestructura y mantenimiento pueden recaer desproporcionadamente sobre mujeres u otros grupos marginados (Medina Arellano y Lagunes Navarro, 2025). El principio de justicia distributiva (Rawls, 1971; Daniels, 2008) —adaptado al dominio cognitivo— exige que cualquier distribución de beneficios y riesgos tecnológicos mejore la situación de quienes están en peor posición, incluyendo diferencias de género, ruralidad, etnicidad y discapacidad cognitiva. Una regulación justa debe prever mecanismos de compensación o subsidios para grupos subrepresentados, y políticas públicas que prioricen la inclusión neurotecnológica de poblaciones

vulnerables. La gobernanza inclusiva requiere la participación de mujeres, personas no binarias y grupos marginados desde el diseño de políticas públicas y comités de ética.

El uso de IA en neurociencia en procedimientos como el análisis de neuroimágenes, predicción cognitiva, modelos cerebrales, puede reproducir sesgos de género si los datos de entrenamiento provienen de pruebas con predominancia masculina o no contemplan identidades diversas (Buolamwini & Gebru, 2018; Sağsan et al., 2023). Un enfoque de género exige protocolos de auditoría algorítmica sensibles tales como la segregación de datos por género, validación cruzada, pruebas de equidad algorítmica y mecanismos de corrección en caso de discriminación. La responsabilidad moral y legal sobre los resultados de la IA debe considerar diferencias de género en daños cognitivos, asegurando que los desarrolladores y entidades reguladoras respondan explícitamente por impactos diferenciados.

Los sesgos algorítmicos son humanos, no mecánicos. El caso de la muerte de Molly Russell en 2017 en el Reino Unido mostró cómo la exposición algorítmica puede dañar la salud mental (Agius, 2025) y con ello contribuir al suicidio de jóvenes. En este caso, un forense determinó que el suicido de esta joven británica estuvo influido por el contenido en línea que consumía, y cómo los algoritmos de las redes sociales pudieron haber amplificado su sufrimiento (Dyer, 2022).

Se han elaborado propuestas académicas para tomar acciones en materia de salud mental de las y los adolescentes, tales como el consumo adictivo de contenidos digitales que los llevan a tomar decisiones sobre pérdida de peso causando desórdenes alimenticios que conducen a conductas suicidas. Por ello, se propone que el uso de IA en investigación o práctica profesional sea declarado abiertamente, como principio de transparencia y ética científica (Costelo, et.al., 2024).

A partir de lo anterior, se propone un esquema regulatorio integrador: 1) Reinterpretar los derechos humanos existentes con enfoque de género y neurodivergencias; 2) Fortalecer el consentimiento informado adaptado a contextos de desigualdad; 3) Implementar auditorías tecnológicas para identificar sesgos discriminatorios; 4) Crear políticas de acceso equitativo a neurotecnologías terapéuticas; 5) Garantizar gobernanza inclusiva y participación igualitaria; 6) Exigir supervisión internacional con monitoreo de impacto de justicia situada en las experiencias locales. Estos principios pueden orientar una regulación neuroética que combine bioderecho, equidad y justicia epistémica.
En América Latina, la neuroética adquiere un sentido propio: combinar bioderecho, derechos humanos y justicia cognitiva. Las declaraciones de la UNESCO (2021) y la OEA (2023) marcan avances, pero subrayamos la necesidad de una regulación contextualizada, capaz de reconocer la diversidad cultural y epistémica de la región. Esta visión propone una neuroética situada, no subordinada a modelos normativos extranjeros.

Incorporar la perspectiva de diversidades y justicia en la regulación de la neurotecnología no es un añadido, sino una condición ética y política esencial. Una neuroética inclusiva exige proteger la integridad mental y la privacidad neuronal, pero también corregir sesgos de género en el diseño, acceso y uso de las tecnologías cerebrales. La creación de nuevos neuroderechos no debe distraer de la tarea fundamental: hacer que los principios de los derechos humanos existentes, autonomía-libre albedrío, igualdad y dignidad que operen con justicia cognitiva. Una regulación que combine neuroética, bioderecho y perspectiva de neurodivergencias puede garantizar innovación responsable y una sociedad más equitativa.

# Legislación en el Neuroderecho

El neuroderecho busca comprender desde un marco normativo la forma en que las neurociencias se relacionan con otras disciplinas jurídicas y su incidencia en el ejercicio de los derechos humanos y la actividad estatal y privada. A partir del surgimiento de tales disciplinas, se impone como necesaria la tarea consistente en aterrizar sus contenidos en normas de carácter general que incidan en su desarrollo, así como también en las relaciones entre pacientes y profesionales, operadores gubernamentales, empresas públicas y privadas, garantizando en todo momento la protección de derechos tales como la privacidad, la libertad, la privacidad de los datos personales, la equidad y la no discriminación.

Tal actividad dista de ser un ejercicio ocioso, ya que el neuroderecho dejará sentir su influencia en campos tan diversos de la ciencia jurídica como el derecho administrativo, el penal, el civil, el procesal y las disciplinas forenses, al igual que en los medios de defensa que se hagan valer frente a cualquier abuso por parte de entes públicos o privados. Los autores Cáceres y López citan a manera de ejemplo algunas técnicas neurocientíficas que han sido ofrecidas como medios de prueba determinar la responsabilidad penal de algunas personas, a saber:

- Resonancia magnética funcional (*fMRI*). Uno de sus usos consiste en superar las limitaciones del polígrafo mediante la obtención de imágenes de los procesos cerebrales que tienen lugar cuando un sujeto está mintiendo o tratando de engañar;
- Huella digital cerebral. También se basa en el uso de preguntas como estímulos experimentales; sin embargo, en lugar de recurrir al uso de la resonancia magnética con el fin de identificar la activación de zonas cerebrales al realizarse una tarea, se emplea la electroencefalografía, y
- Prueba de firma de oscilaciones eléctricas cerebrales. El examinado es sometido a una serie de estímulos visuales o auditivos que producen una oscilación eléctrica cerebral (firma de recuerdo) cuando recuerda algún hecho en el que ha participado.

Más allá de la eficacia de tales técnicas como elemento de prueba, lo cierto es que su sola formulación constituye un primer paso en la forma que se vienen desarrollando los procesos penales, lo que implicará la formación y actualización de los operadores del sistema de justicia, sea que se trate de fiscales, juzgadores, abogados postulantes y peritos.

Como suele suceder siempre, los avances tecnológicos le llevan la delantera a las normas jurídicas y el caso de los neuroderechos no es la excepción. Hoy en día son escasos los países en América Latina con una legislación adecuada sobre el particular. Al respecto, el artículo 19 de la constitución chilena establece que *"el desarrollo científico y tecnológico estará al servicio de las personas y se llevará a cabo con respeto a la vida y a la integridad física y psíquica. La ley regulará los requisitos, condiciones y restricciones para su utilización en las personas, debiendo resguardar especialmente la actividad cerebral, así como la información proveniente de ella"*, mientras que, en la carta fundamental del estado brasileño de Rio Grande do Sul se incluyó la protección de la integridad mental como un derecho humano.

En California y Colorado, estados de la Unión Americana, también se ha avanzado en este rubro. Las leyes de Privacidad del Consumidor y de datos personales incluyen como *"información personal sensible"*, los datos neuronales y genéticos de los consumidores, y establecen restricciones de uso a las empresas.

Por su parte, el Parlamento Latinoamericano elaboró una Ley Modelo de Neuroderechos para América Latina y el Caribe, mientras que en el reino de España se publicó en 2021 la Carta Española de Derechos Digitales, un documento que no tiene carácter vinculatorio, pero que busca *"recoger una serie de derechos y principios clave que se alinean con los valores de igualdad y protección de los derechos fundamentales en la era digital"*. Durante la XXVIII Cumbre Iberoamericana, celebrada el 25 de marzo de 2023, se aprobó la denominada Carta Iberoamericana de Principios y Derechos en Entornos digitales, a la que se han adherido 22 países iberoamericanos, incluyendo España, México, Portugal, Andorra y Brasil.

En diciembre de 2019, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos emitió la recomendación sobre Innovación Responsable en

Neurotecnología. Cuatro años después, los ministros de Telecomunicaciones y Asuntos Digitales suscribieron en León, España, la Declaración conjunta para el desarrollo de una neurotecnología humanista que proteja los derechos fundamentales de las personas y contribuya a la competitividad y la autonomía estratégica abierta de Europa.

En México, el Instituto Nacional de Transparencia y Acceso a la Información Pública emitió la Carta de Derechos de la Persona en el Entorno Digital, Código de Buenas Prácticas, en la cual se incluyó un catálogo de neuroderechos, documento que también carece de efectos vinculantes.

En septiembre de 2023, los senadores Alejandra Lagunas, Jorge Carlos Ramírez Marín, Xóchitl Gálvez, Gustavo Madero y Miguel Ángel Mancera presentaron una iniciativa que reforma al artículo 73 constitucional, a fin de facultar al congreso para legislar sobre inteligencia artificial y sus aplicaciones, ciberseguridad, neuro derechos, la cual se encuentra pendiente de dictaminación.

María Eugenia Hernández Pérez, senadora de la república, presentó también en 2023 una iniciativa por la que se incluye en el artículo 4o constitucional que *"persona tiene derecho a la identidad individual plena e integral, así como a la integridad física y psíquica como condiciones de su libertad. El estado garantizará el respeto a la privacidad y la integridad mental de las personas. Ninguna autoridad o particular podrá, mediante el uso de cualquier mecanismo tecnológico, modificar, reducir o afectar dicha integridad e identidad"*, misma sobre la que tampoco ha recaído un dictamen.

En julio de 2024, la senadora Alejandra Lagunes presentó una iniciativa por la que se expide la Ley General de Neuroderechos y Neurotecnologías y se reforman y adicionan diversas disposiciones en esa misma materia, quizá la propuesta más integral que se haya elaborado en este rubro, sobre la cual tampoco ha recaído un dictamen.

Finalmente, el senador Agustín Dorantes Lámbarri presentó en febrero de este año la iniciativa por la que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en materia de ciberseguridad, inteligencia artificial, cibertecnologías, neurotecnologías y neuroderechos.

La neurotecnología está aguardándonos con todos los retos y oportunidades que su puesta en marcha nos ofrece. De nosotros depende convertirla en una herramienta para el progreso o en una distopía orwelliana. La ley, en tanto límite al poder y espacio de libertad para los gobernados, debe constituir el espacio idóneo para una adecuada regulación que sea respetuosa de los derechos humanos, promotora de la investigación científica e impulsora de la construcción de instituciones, nada de lo cual será posible sin la asignación suficiente de recursos que contribuya a la consecución de tan ambiciosos objetivos. Es necesario que todos los integrantes de la sociedad construyamos una propuesta de ley sobre neuroderechos, de la cual podamos sentirnos satisfechos en un futuro no muy lejano. La política no empieza ni se agota en las instituciones públicas o los partidos políticos, sino que debe nutrirse del impulso de la sociedad civil y del conocimiento de los especialistas que trabajan estudiando el cerebro, de la necesidad de establecer diálogos y compromisos a fin de mejorar nuestras leyes para así contribuir a una gobernanza más democrática.

# Conclusiones

La neurotecnología representa una oportunidad sin precedentes para transformar el diagnóstico y tratamiento de las enfermedades neurodegenerativas. Sin embargo, el poder transformador que resulta de la aplicación de la neurotecnología conlleva riesgos profundos que la sociedad debe abordar con urgencia, desde la posibilidad de leer e interpretar la actividad mental -amenazando la privacidad más íntima- y el potencial de manipular emociones o conductas, hasta problemas de discriminación por acceso desigual a estas tecnologías y los complejos dilemas en la obtención del consentimiento informado en pacientes vulnerables con deterioro cognitivo, donde la capacidad de autodeterminación se encuentra comprometida.

Para pacientes especialmente vulnerables, como quienes padecen enfermedades como Parkinson, Alzheimer, Epilepsia o Esclerosis Lateral Amiotrófica, es imperativo garantizar marcos regulatorios claros, consentimientos informados robustecidos, acceso equitativo y el desarrollo continuo de neuroderechos que protejan, sobre todas las cosas, su dignidad y autonomía.

Frente a esto, la propuesta de los **cinco neuroderechos** —privacidad mental, identidad personal, libre albedrío, acceso equitativo y protección contra sesgos— es un punto de partida fundamental. Sin embargo, este marco legal debe evolucionar en paralelo al desarrollo tecnológico.

Es fundamental que se reconozca que en América Latina hay investigadores de gran calidad que desde ya están trabajando de forma colaborativa para fortalecer las Neurociencias en la región. Es evidente que ya contamos con neurotecnología de avanzada y justamente por esa razón debemos preguntarnos necesariamente por los neuroderechos de las personas y por los retos neuroéticos que estos avances requieren. Por supuesto que hay muchas preguntas y todavía pocas respuestas para enfrentar los retos que la neurotecnología y la IA nos presenta en diferentes ámbitos: salud mental, educación y salud, entre otros.

Aunque ya en algunos países se ha venido trabajando por crear estructuras legales al respecto, debe seguirse en esta acción para poder actuar de manera rápida y responsable. Por otra parte, sin la investigación no hay base para tomar decisiones responsables. No podemos dejar que el comercio dirija la investigación; más bien, la investigación debe guiar la tecnología y sus aplicaciones.

Es importante reconocer la diferencia entre la IA y la neurotecnología. La neurotecnología ya existía antes, la IA vino después y ambas se han complementado de una manera vertiginosa y no siempre positiva. Este proceso no va a detenerse y por lo tanto debemos pensar en cómo utilizarlo de mejor manera, con ética y responsabilidad.

La filosofía está detrás de todo esto. Los problemas son filosóficos, aunque cada quien los aborde con su propia metodología. Lo esencial es diseñar bien y establecer buenas prácticas para que las investigaciones aporten beneficios a nuestras sociedades de manera consciente, responsable y con sentido de equidad. La equidad es un desafío que no podemos dejar de lado y con eso en mente debemos “enfrentar los desafíos” que la neurotecnología nos impone.

El futuro ya está aquí, y nos exige caminar con tanto rigor científico como prudencia ética.

# Referencias


Agius M. (2025). Lessons to be learnt from the unfortunate case of the death of Molly Russell. Psychiatr Danub;37(Suppl 1):180-183. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40982822/.

Andres Costa, H. (2017). Desarrollo de un servicio de accesibilidad para dispositivos mòviles comandado mediante una interfaz cerebro-computadora portable. [Tesis de Licenciatura]. Universidad Nacional de Córdoba. [PDF]

Arguedas-Ramírez, G. (2019). Justice, Human Rights and the Persistence of Hunger: A Current Issue for Bioethics and Biolaw. En: Juan Lecaros & Erick Valdés (Eds.), Biolaw and Policy in the Twenty-First Century (pp. 185-201). Springer.

Belda García, R. (2018). Diseño de un electroencefalógrafo inalámbrico, portátil y modular. [Tesis de maestría]. Universitat Politècnica de València. https://riunet.upv.es/handle/10251/109235. [PDF]

Bikson M, Giordano J. Defining distinction between real vs hypothetical problems in the ethics of neurotechnology. Brain Stimul. 2023 May-Jun;16(3):977-979. doi: 10.1016/j.brs.2023.05.016. Epub 2023 Jun 9. PMID: 37301469.

Bublitz JC. What an International Declaration on Neurotechnologies and Human Rights Could Look like: Ideas, Suggestions, Desiderata. AJOB Neurosci. 2024 Apr-Jun;15(2):96-112. doi: 10.1080/21507740.2023.2270512. Epub 2023 Nov 3. PMID:37921859.

Buolamwini, J., & Gebru, T. (2018). Gender Shades: Intersectional Accuracy Disparities in Commercial Gender Classification. Proceedings of Machine Learning Research, 81, 1–15. https://doi.org/10.1136/bmj.o2374.

Chatterjee, A. (2004). Cosmetic Neurology: The Controversy over Enhancing Movement, Mentation, and Mood.Neurology, 63(6), 968–974. https://doi.org/10.1212/01.WNL.0000138438.88589.7C.

Chaudhary, U. (2025). Neurotechnology for Disorders of Consciousness. In Expanding Senses Using Neurotechnology (pp. 329–380). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-78991-5_8.

Costello N, Sutton R, Jones M, et al. (2023). algorithms, addiction, and adolescent mental health: An Interdisciplinary Study to Inform State-level Policy Action to Protect Youth from the Dangers of Social Media. American Journal of Law & Medicine. ;49(2-3):135-172. doi:10.1017/amj.2023.25.

Dehaene, S., Changeux, J.-P., Naccache, L., Sackur, J., & Sergent, C. (2006). Conscious, preconscious, and subliminal processing: A testable taxonomy. Trends in Cognitive Sciences, 10(5), 204–211. https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.03.007.

Daniels, N. (2008). Just Health: Meeting Health Needs Fairly. Cambridge University Press.

De Lecuona I, Estévez RF. AI and neurotechnology: Ethical challenges, human rights, and quality of healthcare. J Healthc Qual Res. 2025 Oct 6;41(1):101169. doi: 10.1016/j.jhqr.2025.101169. Epub ahead of print. PMID: 41056819.

De Montalvo Jääskeläinen, F. (2024). Los Neuroderecho como instrumento de protección del individuo frente a los avances de la Neurociencia y Neurotecnología. Revista de Derecho Político, (123). http://10.5944/rdp.123.2025.45466.

Dyer, C. (2022). Social media content contributed to teenager's death "in part," coroner finds. BMJ, 379, o2374.

Farm Animal Welfare Council (FAWC). (1992). Report on Priorities for Research and Development in Animal Welfare. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAFF). http://10.1016/B978-0-12-384931-1.00007-8.

Fine, C. (2020). Testosterone Rex: Unmaking the Myths of Our Gendered Minds. Icon Books.

Giménez-Candela, M., & Jiménez López, I. (2019). La Directiva 2010/63/UE y los cefalópodos. A propósito del Real Decreto 1386/2018. Derecho Animal (Forum of Animal Law Studies), 10(3), 97-103. http://10.5565/rev/da.451

Guerra A, Tinkhauser G, Benussi A, Bocci T. Editorial: Recording and modulating neural activity in neurodegenerative diseases: Pathophysiological and therapeutic implications. Front Hum Neurosci. 2023 Jan 24;17:1138382. doi: 10.3389/fnhum.2023.1138382. PMID: 36761934; PMCID: PMC9903078.

Haag L, Starke G, Ploner M, Ienca M. Ethical gaps in closed-loop neurotechnology: a scoping review. NPJ Digit Med. 2025 Aug 8;8(1):510. doi: 10.1038/s41746-025-01908-4. PMID: 40781164; PMCID: PMC12334599.

Horvat, S. & Horvat, T. (2025). Artificial Intelligence, Neurodiversity, and Trust: An Exploratory Overview, ScientiaetFides, 13(01). DOI: http://dx.doi.org/10.12775/SetF.2025.011.

Illes J, Dudley M, Machova Urdzikova L, Podina I, Pyrrho M. The risk of neurotechnology as an instrument of colonialism. Brain Commun. 2025 Apr 30;7(3):fcaf139. doi: 10.1093/braincomms/fcaf139. PMID: 40313427; PMCID: PMC12043054.

J. Corredor, C. Peña, A. Pardo, "Evaluación de las emociones de usuarios en tareas con realimentación háptica utilizado el dispositivo Emotiv Insight," INGE CUC, vol. 15, no. 1, pp. 9-16, 2019. DOI: http://doi.org/10.17981/ingecuc.15.1.2019.01.

Kass, L. R. (2002). Life, Liberty, and the Defense of Dignity: The Challenge for Bioethics. San Francisco: Encounter Books.

Koch, C., Massimini, M., Boly, M., & Tononi, G. (2016). Neural correlates of consciousness: Progress and problems. Nature Reviews. Neuroscience, 17(5), 307–321. https://doi.org/10.1038/nrn.2016.22.

Martí Rocafull, P. (2011). Transmisión de señales neuronales con UWB y medidas de canal en entorno corporal. [PDF]

Medina Arellano, MdJ y Lagunes Navavarro, P.E. (2024). La importancia de los Instrumentos Internacionales de Neuroética, Nexos. Disponible en: https://bioetica.nexos.com.mx/la-importancia-de-los-instrumentos-internacionales-de-neuroetica/.

OEA. (2023). Declaración Interamericana sobre Neurotecnología y Derechos Humanos.

Okahara, Y., Takano, K., Odaka, K., Uchino, Y., & Kansaku, K. (2023). Detecting passive and active response in patients with behaviourally diagnosed unresponsive wakefulness syndrome. Neuroscience Research, 196, 23–31. https://doi.org/10.1016/j.neures.2023.06.002.

O'Shaughnessy MR, Johnson WG, Tournas LN, Rozell CJ, Rommelfanger KS. Neuroethics guidance documents: principles, analysis, and implementation strategies. J Law Biosci. 2023 Oct 26;10(2):lsad025. doi: 10.1093/jlb/lsad025. PMID: 37901886; PMCID: PMC10602660.

Parellada Guillamón, R., & Rovira Martorell, M. (2025). Gubernamentalidad neuroalgorítmica: Inteligencia Artificial y producción de neurosujetos. PSICOPERSPECTIVAS, Vol. 24, No. 2. http://10.5027/psicoperspectivas-vol24-issue2-fulltext-3460.

Patricio Jiménez Guevara, M. (2017). Sistema electrónico de iluminación (ON-OFF) mediante el control de señales cerebrales basado en tecnología EEG. [Tesis de Licenciatura] Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador. [PDF]

Pradas, S. (2017). La Neurotecnología Educativa. Claves del uso de la tecnología en el proceso de aprendizaje. ReiDoCrea, 6(2), 40-47. ISSN: 2254-5883. [PDF]

Quiles Zamora, V.; Iáñez, E.; Ortiz, M.; Azorín, J. (2019). Estudio preliminar de la detección de cambios de velocidad de la marcha a partir de señales EEG. En 11º Simposio CEA de Bioingeniería. Editorial Universitat Politècnica de València. 97-110. https://doi.org/10.4995/CEABioIng.2019.10034.

Rawls, J. (1971). A Theory of Justice. Harvard University Press.

Reche Tello, N. (2021). Nuevos derechos frente a la neurotecnología: la experiencia Chilena. Revista de Derecho Político, (112), 173-199. DOI: 10.5944/rdp.112.2021.32235.

Rico Maldonado, J. (2018). Adaptación personalizada en interfaces cerebro-máquina añadiendo información de frecuencia y fase. [Tesis de Licenciatura]. Universidad Autónoma de Madrid. [PDF]

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. 2024 Dec 2;379(1915):20230098. doi: 10.1098/rstb.2023.0098. Epub 2024 Oct 21. PMID: 39428886; PMCID: PMC11491849.

Russell, W. M. S., & Burch, R. L. (1959). The Principles of Humane Experimental Technique. Methuen & Co. Ltd. http://10.1016/S0301-4770(11)00021-3.

Sağsan, M., et al. (2023). Gender Bias in Artificial Intelligence and Neuroscience: Ethical Implications. AI & Society, 38(2), 295–308.

Salles A, Farisco M. Neuroethics and AI ethics: a proposal for collaboration. BMC Neurosci. 2024 Aug 29;25(1):41. doi: 10.1186/s12868-024-00888-7. PMID: 39210267; PMCID: PMC11360855.

Sánchez-Nadal, J. A., Rojas-Guevara, E. R., & Sima, R. A. (2021). Avanzando sobre la consideración ética de los invertebrados en experimentación: más allá del principio de las tres Rs. Revista de Biología Tropical, 69(5), 346-361. http://10.15517/rbt.v69isuppl.1.46366.

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. 2025 Aug 14;13(8):262. doi: 10.3390/diseases13080262. PMID: 40863235; PMCID: PMC12385989.

Schalk, G., Brunner, P., Allison, B. Z., Soekadar, S. R., Guan, C., Denison, T., Rickert, J., & Miller, K. J. (2024). Translation of neurotechnologies. Nature Reviews. Bioengineering, 2(8), 637–652. https://doi.org/10.1038/s44222-024-00185-2.

Solio Achic Alarcón, F. (2016). Diseño del sistema de control de un brazo robótico de asistencia a personas discapacitadas. [Tesis de maestría]. Pontificia Universidad Católica del Perú. [PDF]

Tayebi H, Azadnajafabad S, Maroufi SF, Pour-Rashidi A, Khorasanizadeh M, Faramarzi S, Slavin KV. Applications of brain-computer interfaces in neurodegenerative diseases. Neurosurg Rev. 2023 May 31;46(1):131. doi: 10.1007/s10143-023-02038-9. PMID: 37256332.

UNESCO. (2021). Recomendación sobre la ética de la inteligencia artificial. París: UNESCO.

Wang, F., He, Y., Pan, J., Xie, Q., Yu, R., Zhang, R., & Li, Y. (2015). A Novel Audiovisual Brain-Computer Interface and Its Application in Awareness Detection. Scientific Reports, 5(1), 9962. https://doi.org/10.1038/srep09962.

West, S., Whittaker, M., & Crawford, K. (2021). Discriminating Systems: Gender, Race, and Power in AI. AI Now Institute.

Wexler A. At the Crossroads of Neuroethics and Policy: Navigating Neurorights and Neurotechnology Governance. AJOB Neurosci. 2024 Apr-Jun;15(2):77-79. doi: 10.1080/21507740.2024.2330570. Epub 2024 Apr 3. PMID: 38568700.

Ye, Z., Ai, Q., Liu, Y., de Rijke, M., Zhang, M., Lioma, C., & Ruotsalo, T. (2025). Generative language reconstruction from brain recordings. Communications Biology, 8(1), 346. https://doi.org/10.1038/s42003-025-07731-7.

Zhang H, Jiao L, Yang S, Li H, Jiang X, Feng J, Zou S, Xu Q, Gu J, Wang X, Wei B. Brain-computer interfaces: the innovative key to unlocking neurological conditions. Int J Surg. 2024 Sep 1;110(9):5745-5762. doi: 10.1097/JS9.0000000000002022. PMID: 39166947; PMCID: PMC11392146.