



TECH REPORT: INTERFACES CEREBRO- COMPUTADORA (BCI)



Copyright © 2026 Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Esta obra se encuentra sujeta a una Licencia Internacional Pública de Atribución/Reconocimiento 4.0 de Creative Commons CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.es>). Se deberá cumplir los términos y condiciones señalados en el enlace URL y otorgar el respectivo reconocimiento al BID.

Todas las disputas que surjan en relación con esta licencia y que no puedan resolverse de manera amistosa se resolverán de acuerdo con el siguiente procedimiento. Mediante una notificación de mediación comunicada por medios razonables por usted o el licenciante a la otra parte, la disputa será sometida a mediación no vinculante de conformidad con el Reglamento de Mediación de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI). Cualquier disputa que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo, y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones que forman parte integral de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta obra son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del BID, su Directorio Ejecutivo ni de los países que representan.



AUTORES

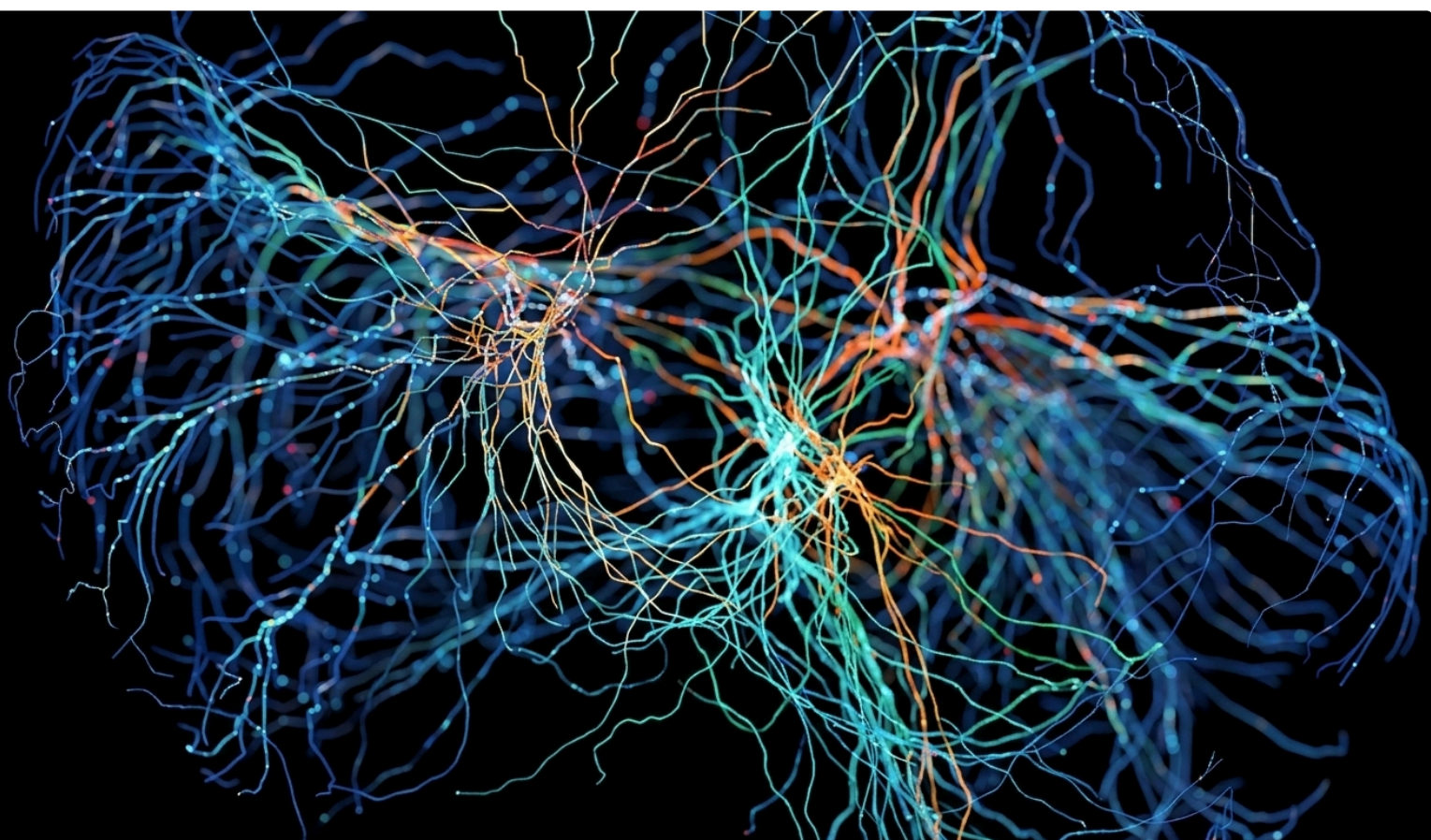
Belén Girardo

COLABORADORES

Daniel Gammell-Ibañez
Clara Isabel Pantoja Muñoz

TechLab

Los TechReports son una iniciativa del Laboratorio de Tecnologías Emergentes del Departamento de Tecnología y Transformación del Banco Inter-Americano de Desarrollo - TechLab. El TechLab se encarga de explorar, experimentar y difundir información sobre nuevas tecnologías para conocer su impacto en el Grupo BID y la región de América Latina y el Caribe.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

● 01	Resumen Ejecutivo	4
● 02	¿Qué son las BCI?	6
	• Definición de BCI 6	
	• ¿Cómo funcionan? 6	
	• Tipos de BCI 9	
	• Modalidades de interacción 10	
	• Estado de madurez tecnológica 11	
● 03	La creciente importancia de las interfaces Cerebro-Computadora	12
	• Convergencia tecnológica 12	
	• Evolución histórica: de la investigación experimental a la aplicación clínica 14	
	• Problemas que buscan resolver 15	
	• Creciente relevancia en el ecosistema tecnológico global 16	
	• Interés de gobiernos y organismos internacionales 17	
● 04	Ecosistema global de innovación en BCI	19
	• Tamaño del mercado y proyecciones 19	
	• Empresas principales 19	
	• Centros académicos y de investigación 21	
	• Geopolítica de la neuro tecnología 22	
● 05	Aplicaciones actuales y emergentes de las BCI	25
	• Salud y rehabilitación neurológica 25	
	• Comunicación aumentada 26	
	• Neuropsiquiatría y salud mental 26	
	• Interfaces humano-máquina avanzadas 27	
	• Aplicaciones emergentes 28	
● 06	Implicaciones para el desarrollo y oportunidades para América Latina y El Caribe	29
	• Inclusión y discapacidad 29	
	• Sistemas de salud 30	
	• Ecosistemas de innovación 30	
	• Talento científico y capacidades regionales 31	
	• Cooperación internacional 32	
● 07	Riesgos, regulaciones y desafíos éticos	33
	• Privacidad y datos neuronales 33	
	• Seguridad y ciberseguridad 34	
	• Regulación de dispositivos médicos 34	
	• Equidad y acceso 35	
	• Autonomía, consentimiento y agencia humana 36	
● 08	Implicaciones de Políticas Públicas	37
	• Inversión en investigación y desarrollo en neurotecnología 37	
	• Certificación, reproducibilidad y trazabilidad. 38	
	• Integración en sistemas de salud y evidencia clínica 38	
	• Ecosistemas de innovación y desarrollo productivo 39	
	• Estándares éticos y gobernanza regional 40	
	• Cooperación internacional 40	
● 09	Conclusión	41
●	Referencias	43

Las interfaces cerebro-computadora (Brain-Computer Interfaces, BCI) representan una de las fronteras más avanzadas de la innovación tecnológica contemporánea, al habilitar una conexión directa entre la actividad cerebral y dispositivos digitales. Esta tecnología, resultado de la convergencia entre neurociencia, inteligencia artificial, ingeniería biomédica y ciencia de datos, permite traducir señales neuronales en comandos operativos, abriendo nuevas posibilidades en la interacción humano-máquina.

El presente reporte analiza el estado actual de las BCI, sus tendencias de desarrollo y sus implicaciones desde una perspectiva orientada al desarrollo, con especial foco en América Latina y el Caribe. A lo largo del documento, se examinan los fundamentos tecnológicos de estas interfaces, su evolución desde entornos de investigación hasta aplicaciones clínicas emergentes, y el ecosistema global de innovación que impulsa su avance.

En términos tecnológicos, las BCI han evolucionado desde sistemas experimentales basados en electroencefalografía hacia soluciones más sofisticadas que integran algoritmos de aprendizaje automático, dispositivos implantables de alta precisión y sistemas de estimulación en lazo cerrado. Estas innovaciones han permitido avanzar en aplicaciones concretas, particularmente en el ámbito de la salud, donde las BCI se utilizan para restaurar funciones motoras, facilitar la comunicación en personas con parálisis y desarrollar nuevas estrategias terapéuticas en neurología y psiquiatría.

El reporte además destaca que el impacto potencial de las BCI, el cual se extiende más allá del sector salud. En el mediano y largo plazo, estas tecnologías podrían transformar áreas como la productividad, la educación, la interacción con sistemas digitales y la colaboración con inteligencia artificial. No obstante, muchas de estas aplicaciones se encuentran aún en etapas tempranas de desarrollo, lo que implica un alto grado de incertidumbre respecto a sus trayectorias de adopción.

El análisis del ecosistema global muestra una fuerte concentración de capacidades en países desarrollados, particularmente en Estados Unidos, China y países de la Unión Europea, donde convergen inversión pública, investigación académica y desarrollo empresarial. Empresas tecnológicas, universidades de referencia y centros de investigación lideran avances significativos, mientras que el mercado global de BCI presenta proyecciones de crecimiento sostenido en los próximos años.

Desde la perspectiva de América Latina y el Caribe, el reporte identifica tanto oportunidades como desafíos. Por un lado, la región podría beneficiarse de la adopción de BCI en áreas prioritarias como la rehabilitación neurológica, la inclusión de personas con discapacidad y el fortalecimiento de los sistemas de salud. Por otro, enfrenta limitaciones en términos de capacidades científicas, financiamiento, infraestructura y marcos regulatorios, que condicionan su participación en este campo.

Asimismo, se aborda los principales riesgos y desafíos asociados a las BCI, incluyendo la protección de datos neuronales, la ciberseguridad, la regulación de dispositivos médicos, la equidad en el acceso y las implicancias éticas vinculadas a la autonomía y la privacidad mental. En este sentido, se destacan los avances de organismos internacionales en la definición de principios para una innovación responsable en neuro tecnología.

Finalmente, el reporte examina las implicaciones de política pública para la región, subrayando la necesidad de fortalecer la investigación y el desarrollo, adaptar marcos regulatorios, promover ecosistemas de innovación y avanzar en esquemas de cooperación internacional. En este proceso, el rol de actores multilaterales como el Banco Interamericano de Desarrollo resulta central para articular esfuerzos, movilizar recursos y acompañar a los países en la construcción de capacidades.

En conjunto, el documento plantea que las BCI no solo constituyen una tecnología emergente, sino un componente clave de las transformaciones en curso en la relación entre lo humano y lo digital. Para América Latina y el Caribe, comprender estas dinámicas y anticipar sus implicaciones será fundamental para orientar su desarrollo de manera inclusiva, sostenible y alineada con las prioridades de la región.

DEFINICIÓN DE BCI

Las **Brain Computer Interfaces (BCI)** constituyen una de las áreas más avanzadas de la neurotecnología contemporánea. En términos generales, nos referimos a BCI como sistemas que establecen una vía de comunicación directa entre la actividad del cerebro humano y dispositivos externos, permitiendo traducir señales neuronales en acciones digitales o físicas.

De manera más precisa y tomando la definición realizada por la [UNESCO](#), una BCI es una tecnología que facilita la comunicación directa entre el cerebro humano y dispositivos externos mediante la interpretación de señales neuronales, lo que permite a los usuarios controlar computadoras, prótesis u otros sistemas utilizando únicamente su actividad cerebral. Esta capacidad abre la posibilidad de interactuar con máquinas para quienes no pueden recurrir a los canales tradicionales de comunicación humana, como el movimiento muscular o el habla.



Una tecnología que facilita la comunicación directa entre el cerebro humano y dispositivos externos mediante la interpretación de señales neuronales.

— UNESCO

En un sentido más técnico, la definición adoptada por [Microsoft](#) describe las BCI como sistemas que miden la actividad del sistema nervioso central y la transforman en una salida artificial capaz de reemplazar, restaurar, mejorar o complementar las funciones naturales del cerebro. Este proceso modifica la interacción entre el cerebro y su entorno, permitiendo generar nuevas formas de comunicación y control.

Centralmente, todas las definiciones coinciden en tres elementos fundamentales al momento de definir las BCI. Primero, se basan en la medición de la actividad cerebral. Segundo, utilizan sistemas computacionales para interpretar y decodificar señales neuronales. Tercero, transforman esa información en acciones funcionales en el mundo digital o físico, como mover un cursor, controlar una prótesis o interactuar con dispositivos electrónicos.

Aunque el concepto puede parecer reciente, las investigaciones en tecnología de interfaces cerebro-computadora se remontan a varias décadas. Sin embargo, los recientes avances en inteligencia artificial (IA), sensores neuronales y procesamiento de datos han acelerado significativamente el desarrollo de esta tecnología, acercándola incluso a ámbitos como aplicaciones clínicas y comerciales, los cuales antes eran considerados experimentales.

El funcionamiento de una BCI puede entenderse como una cadena de procesos que conecta la actividad neuronal con la ejecución de una acción externa. En términos simplificados, el sistema consta de tres etapas principales: captura de señales neuronales, procesamiento de datos y traducción en comandos digitales.



(Imágenes generadas con IA)

1. Captura de Señales Neuronales

El primer paso consiste en registrar la actividad eléctrica o magnética del cerebro. Esto se realiza mediante sensores especializados, generalmente electrodos, capaces de detectar pequeñas variaciones de voltaje producidas por la actividad de las neuronas. Dependiendo del tipo de BCI, estos sensores pueden colocarse sobre el cuero cabelludo, insertarse en la superficie del cerebro o implantarse directamente en el tejido cerebral.

Las técnicas más utilizadas incluyen la electroencefalografía (EEG), que mide la actividad eléctrica desde el exterior del cráneo, así como otros métodos de registro que permiten obtener señales de mayor resolución cuando los sensores se encuentran más cerca de las neuronas.

2. Procesamiento mediante Inteligencia Artificial

Las señales neuronales captadas por los sensores suelen ser complejas, ruidosas y altamente variables entre individuos. Por esta razón, los sistemas BCI requieren algoritmos avanzados capaces de identificar patrones significativos dentro de grandes volúmenes de datos. En este punto intervienen técnicas de aprendizaje automático e IA, que analizan las señales para reconocer correlaciones entre determinados patrones neuronales y las intenciones del usuario, como puede ser imaginar un movimiento o enfocar la atención en un estímulo específico.

El proceso de entrenamiento del sistema es clave. A medida que el usuario interactúa con la interfaz, el algoritmo aprende sostenidamente a interpretar con mayor precisión sus señales neuronales, mejorando progresivamente la velocidad y la confiabilidad de la comunicación generada.

3. Traducción a comandos digitales

Una vez identificados los patrones neuronales relevantes, el sistema los convierte en comandos que pueden ser interpretados por computadoras o dispositivos electrónicos. De esta manera, una señal cerebral puede traducirse en acciones como mover un cursor en una pantalla, seleccionar letras en un teclado virtual, activar una prótesis robótica o controlar dispositivos del entorno.

En conjunto, estos tres componentes, captura de señales neuronales, procesamiento mediante IA y traducción a comandos digitales, constituyen el núcleo tecnológico de cualquier sistema BCI.

Las interfaces cerebro-computadora pueden clasificarse según el grado de intervención médica necesario para registrar la actividad cerebral. Esta distinción es importante porque implica diferentes niveles de precisión, riesgos clínicos y aplicaciones potenciales.

TIPOS DE BCI

BCI no invasiva

- Las BCI no invasivas registran la actividad cerebral sin necesidad de realizar una cirugía.
- En estos sistemas, los sensores se colocan sobre el cuero cabelludo mediante dispositivos similares a cascos o bandas equipadas con electrodos.
- La EEG es la técnica más utilizada en este tipo de interfaces.
- La principal ventaja de las BCI no invasivas es su seguridad y facilidad de uso, lo que las convierte en una opción adecuada para aplicaciones experimentales, investigación académica y algunos productos comerciales.
- Sin embargo, las señales obtenidas suelen ser más débiles y menos precisas que otras intervenciones, ya que deben atravesar el cráneo antes de ser registradas.

BCI mínimamente invasivas

- Entre ambos extremos han surgido soluciones intermedias conocidas como BCI mínimamente invasivas.
- En estos casos, los sensores se colocan cerca del cerebro, por ejemplo, en la superficie cortical o dentro de los vasos sanguíneos cerebrales, mediante procedimientos menos invasivos que la cirugía abierta.
- Estas alternativas buscan combinar una mejor calidad de señal con menores riesgos clínicos, lo que podría facilitar su adopción en aplicaciones médicas más amplias en el futuro.

BCI invasivas

- Las BCI invasivas implican la implantación de electrodos directamente en el cerebro mediante procedimientos quirúrgicos.
- Al registrar señales neuronales con gran proximidad a las neuronas, estas interfaces ofrecen una resolución mucho mayor, lo que permite decodificar con mayor precisión las intenciones motoras o cognitivas del usuario.
- No obstante, esta precisión conlleva mayores riesgos médicos, incluyendo posibles infecciones, inflamación o daño neuronal.
- Por esta razón, las BCI invasivas se utilizan principalmente en ensayos clínicos y aplicaciones médicas, especialmente en pacientes con parálisis severa u otras afecciones neurológicas.

Además de su clasificación médica, las BCI también pueden distinguirse según la forma en que interactúan con la actividad cerebral del usuario.

BCI PASIVAS

- Las interfaces pasivas se utilizan centralmente para monitorear estados cognitivos o emocionales
- En lugar de controlar activamente un dispositivo, el sistema analiza señales cerebrales relacionadas con factores como la atención, el estrés o la carga cognitiva.
- Este tipo de aplicaciones puede emplearse, por ejemplo, para evaluar la concentración durante tareas complejas o adaptar interfaces digitales al estado mental del usuario.

BCI INTERACTIVAS

- Las BCI interactivas permiten al usuario controlar dispositivos mediante la interpretación directa de señales neuronales.
- En estos sistemas, el individuo genera voluntariamente patrones de actividad cerebral, por ejemplo, imaginando el movimiento de una mano, que el algoritmo interpreta como comandos específicos
- Entre los mecanismos más utilizados se encuentran la decodificación de movimientos imaginados desde la corteza motora, la detección de atención visual o auditiva y los potenciales relacionados con eventos, como la señal P300 (un potencial evocado cognitivo u onda positiva del electroencefalograma que ocurre aproximadamente 300 milisegundos después de un estímulo significativo).

BCI ACTIVAS

- Las interfaces activas combinan las capacidades anteriores e incorporan además la estimulación dirigida del cerebro.
- Esto significa que el sistema no solo interpreta la actividad neuronal, sino que también puede modificarla mediante estímulos eléctricos o sensoriales.
- Este enfoque es particularmente relevante en aplicaciones terapéuticas, como tratamientos neurológicos basados en estimulación cerebral adaptativa.

Aunque las interfaces cerebro-computadora han sido objeto de investigación durante más de medio siglo, su desarrollo se encuentra aún en una fase de transición entre el laboratorio y la implementación práctica.

En la actualidad, el ecosistema tecnológico puede entenderse en tres niveles de madurez.

- **Prototipos de investigación:** Una gran parte de las BCI existentes sigue desarrollándose en entornos académicos o de investigación. Estos prototipos permiten desarrollar y probar nuevos métodos de registro neuronal, algoritmos de decodificación o materiales biocompatibles. En esta etapa, el objetivo principal es validar conceptos científicos y mejorar el rendimiento tecnológico.
- **Ensayos clínicos:** Un segundo nivel de madurez de las BCI corresponde a sistemas que se encuentran en fase de pruebas clínicas con pacientes. Estos ensayos buscan evaluar la seguridad, eficacia y viabilidad terapéutica de las BCI en contextos médicos reales, como la rehabilitación motora, la comunicación asistida o el tratamiento de trastornos neurológicos.
- **Aplicaciones comerciales emergentes:** Finalmente, las BCI han comenzado a ser lanzadas como aplicaciones comerciales, especialmente en el ámbito de dispositivos no invasivos orientados al bienestar, la productividad o el entrenamiento cognitivo. Si bien estas soluciones todavía presentan capacidades limitadas en comparación con los sistemas clínicos avanzados, reflejan el inicio de un mercado emergente en el campo de la neurotecnología.

El desarrollo de las BCI se encuentra en una etapa de rápida evolución, impulsada por los avances registrados en IA, ciencia de materiales y tecnologías médicas. A medida que estas disciplinas continúen convergiendo, es probable que las interfaces cerebro-computadora pasen progresivamente de aplicaciones experimentales a herramientas ampliamente utilizadas en medicina, rehabilitación y nuevas formas de interacción humano-máquina.

LA CRECIENTE IMPORTANCIA DE LAS INTERFACES CEREBRO-COMPUTADORA

Las BCI se están consolidando como una tecnología emergente con potencial para redefinir la relación entre humanos y sistemas digitales. En un contexto marcado por la expansión de la IA, la digitalización de los sistemas de salud y el desarrollo de nuevas formas de interacción humano-máquina, las BCI representan un avance significativo al permitir interpretar directamente señales neuronales para interactuar con dispositivos externos.

Las BCI se están consolidando como una tecnología emergente con potencial para redefinir la relación entre humanos y sistemas digitales.

Más allá de su dimensión tecnológica, este campo plantea implicancias relevantes para la salud, la inclusión social, la productividad y la innovación científica, lo que explica el creciente interés que despierta en la comunidad científica, organismos internacionales, el sector privado y los responsables de políticas públicas.

CONVERGENCIA TECNOLÓGICA

El avance reciente de las BCI es el resultado de una convergencia entre múltiples disciplinas científicas y tecnológicas que, hasta hace pocos años, evolucionaban de manera relativamente independiente. Entre las más relevantes se encuentran la neurociencia, la ingeniería biomédica, la IA, la ciencia de materiales y la computación avanzada.

En primer lugar, los progresos en neurociencia han permitido identificar con mayor precisión los patrones de actividad cerebral asociados a funciones motoras, cognitivas y sensoriales. Este conocimiento es fundamental para diseñar sistemas capaces de registrar señales neuronales relevantes y utilizarlas como fuente de información para interfaces digitales.

En segundo término, el desarrollo de sensores neuronales y materiales biocompatibles ha ampliado significativamente las posibilidades de registrar la actividad cerebral de manera segura y con mayor resolución. Los avances en microelectrónica, nanotecnología y materiales flexibles han permitido diseñar dispositivos cada vez más pequeños y adaptables al tejido biológico, lo que facilita su utilización en aplicaciones clínicas de largo plazo.

A estos avances se suma el progreso en IA y aprendizaje automático, que ha transformado la capacidad de interpretar grandes volúmenes de datos neuronales. Los algoritmos modernos de aprendizaje automático permiten identificar patrones dentro de estos datos y asociarlos con intenciones o acciones específicas, mejorando la precisión y la velocidad de las interfaces.

Finalmente, el aumento de la capacidad de procesamiento computacional y la expansión de infraestructuras de computación en la nube han permitido integrar estos distintos componentes en sistemas capaces de operar en tiempo casi real. Esta convergencia tecnológica ha impulsado un cambio cualitativo en el campo de las BCI, acercándolas progresivamente a aplicaciones prácticas en ámbitos como la medicina, la rehabilitación neurológica y la interacción humano-máquina.



Convergencia tecnológica BCI

EVOLUCIÓN HISTÓRICA: DE LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL A LA APLICACIÓN CLÍNICA

Las investigaciones que dieron origen a las interfaces cerebro-computadora se remontan a los primeros estudios de neurofisiología del siglo XX. El desarrollo de la electroencefalografía por el neurólogo alemán Hans Berger en 1924 permitió registrar por primera vez la actividad eléctrica del cerebro humano, abriendo un nuevo campo para el estudio de las señales neuronales. Durante décadas, estas técnicas se utilizaron principalmente con fines diagnósticos y de investigación básica. No fue hasta la década de 1970 cuando el investigador Jacques Vidal, de la Universidad de California en Los Ángeles, propuso formalmente la posibilidad de utilizar estas señales para establecer una comunicación directa entre el cerebro y las computadoras, introduciendo el concepto de interfaces cerebro-computadora. Desde entonces, el campo ha evolucionado desde experimentos de laboratorio hacia aplicaciones clínicas y tecnológicas cada vez más sofisticadas.

1924

Hans Berger desarrolla la EEG

1970s

Jacques Vidal propone el concepto BCI

1990s

Primeros sistemas operativos

2000s

Avances en algoritmos ML

2020

Ensayos clínicos en humanos

2024

Primera implantación Neuralink

HOY

Transición a aplicaciones comerciales

A partir de la década de 1990, el desarrollo de nuevas técnicas de procesamiento de señales y el avance de la computación digital abrieron la posibilidad de utilizar estas señales para controlar dispositivos externos. Investigadores comenzaron a demostrar que era posible mover un cursor en una pantalla o activar mecanismos simples mediante patrones de actividad cerebral, lo que sentó las bases para las primeras interfaces cerebro-computadora operativas.

El progreso tecnológico de las últimas dos décadas ha acelerado significativamente este campo. La combinación de sensores neuronales más sofisticados, algoritmos avanzados de decodificación y nuevos materiales implantables ha permitido avanzar desde prototipos experimentales hacia ensayos clínicos en humanos, especialmente en el ámbito de la neurorrehabilitación. En estos estudios, pacientes con parálisis o enfermedades neurodegenerativas han logrado controlar dispositivos digitales o prótesis robóticas mediante señales neuronales, demostrando el potencial terapéutico de estas tecnologías.

Este proceso de transición desde el laboratorio hacia aplicaciones clínicas representa un punto de inflexión para el campo de las BCI, dado que permite evaluar su impacto en contextos reales y avanzar en el desarrollo de dispositivos seguros, confiables y escalables.

El desarrollo de la electroencefalografía por el neurólogo alemán Hans Berger en 1924 permitió registrar por primera vez la actividad eléctrica del cerebro humano, abriendo un nuevo campo para el estudio de las señales neuronales

PROBLEMAS QUE BUSCAN RESOLVER

En línea con el avance de nuevas tecnologías, el desarrollo de las BCI está siendo impulsado principalmente por su potencial para abordar desafíos significativos en el ámbito de la salud, la inclusión y la interacción con tecnologías digitales.

Uno de los campos de aplicación más relevantes es la rehabilitación neurológica. Millones de personas en todo el mundo viven con discapacidades motoras causadas por lesiones de médula espinal, accidentes cerebrovasculares o enfermedades neurodegenerativas. En estos casos, el acceso a las BCI puede ofrecer una alternativa para restablecer la comunicación entre el cerebro y dispositivos externos, permitiendo controlar prótesis, exoesqueletos o sistemas de asistencia mediante la actividad neuronal.

Otro ámbito de gran relevancia es el de la comunicación asistida. Para personas con trastornos graves del habla o con síndrome de enclaustramiento (una condición en la que los pacientes permanecen conscientes, pero pierden la capacidad de moverse o hablar) las BCI pueden representar una vía de comunicación fundamental. Mediante la decodificación de señales cerebrales asociadas a la intención de escribir o hablar, estas interfaces permiten generar texto o interactuar con sistemas digitales, devolviendo al usuario una forma de expresión y autonomía.

Además de sus aplicaciones médicas, las BCI también pueden desempeñar un papel creciente en el desarrollo de nuevas interfaces humano-máquina. A medida que los sistemas digitales se vuelven más complejos, surge la necesidad de desarrollar métodos de interacción más eficientes y naturales. Las interfaces basadas en señales neuronales podrían complementar o, en algunos casos, sustituir modalidades tradicionales como el teclado, el mouse o los comandos de voz, especialmente en entornos donde estas opciones resultan limitadas.

 REHABILITACIÓN NEUROLÓGICA Lesiones medulares. ACV. Parálisis.	 COMUNICACIÓN ASISTIDA Síndrome enclaustramiento. Trastornos del habla.	 INTERACCIÓN HUMANO MÁQUINA Interfaces naturales.
---	--	---

CRECIENTE RELEVANCIA EN EL ECOSISTEMA TECNOLÓGICO GLOBAL

El potencial de las BCI ha generado un creciente interés en el ecosistema global de innovación tecnológica. En los últimos años, el campo de la neuro tecnología ha comenzado a atraer inversiones significativas, tanto por parte de empresas tecnológicas como de fondos de capital de riesgo y programas públicos de investigación.

Según estimaciones citadas por el [Foro Económico Mundial \(WEF por sus siglas en inglés\)](#), el mercado global de BCI podría expandirse desde aproximadamente 1.740 millones de dólares en 2022 hasta cerca de 6.200 millones de dólares en 2030, con una tasa de crecimiento anual compuesta del 17,5%.

El dinamismo del sector también se refleja en la expansión del ecosistema global de innovación en neuro tecnología. [Estimaciones recientes](#) indican que existen hasta 680 empresas en el mundo trabajando en tecnologías relacionadas con interfaces cerebro-computadora.

Este crecimiento evidencia el interés de startups, centros académicos y de investigación por desarrollar nuevas aplicaciones en neuro tecnología. El ecosistema se caracteriza por una fuerte colaboración entre las disciplinas científicas mencionadas, así como por la interacción entre investigación académica, desarrollo industrial y aplicaciones clínicas.

+680

Empresas trabajando en neurotecnología a nivel mundial

\$6.2B

Mercado proyectado para 2030

17.5%

Crecimiento anual compuesto

INTERÉS DE GOBIERNOS Y ORGANISMOS INTERNACIONALES

En línea con su potencial en áreas como la salud pública, la inclusión de personas con discapacidad y el desarrollo de nuevas industrias basadas en la neuro tecnología, el avance de las interfaces cerebro-computadora ha comenzado a captar la atención de gobiernos, organismos internacionales y sistemas nacionales de ciencia y tecnología. En las últimas dos décadas, diferentes países han impulsado programas de investigación orientados a fortalecer las capacidades científicas en neurociencia, IA e ingeniería biomédica, base tecnológica de las BCI. Estos esfuerzos se han materializado en iniciativas de financiamiento a la investigación, programas de transferencia tecnológica y el desarrollo de marcos regulatorios para dispositivos médicos avanzados.

En economías avanzadas, el interés público en las neuro tecnologías se ha expresado a través de grandes programas de investigación científica. Iniciativas como el [BRAIN Initiative](#) en Estados Unidos o el [Human Brain Project](#) en Europa han impulsado importantes inversiones en neurociencia, procesamiento de señales neuronales e interfaces cerebro-máquina. Estos programas han contribuido a acelerar la investigación básica y aplicada en el campo, generando avances en sensores neuronales, algoritmos de decodificación de señales cerebrales y tecnologías de estimulación neural. Asimismo, organismos multilaterales y entidades internacionales han comenzado a debatir los marcos éticos y regulatorios necesarios para el desarrollo responsable de estas tecnologías.

En América Latina y el Caribe, el desarrollo de interfaces cerebro-computadora aún se encuentra en una etapa incipiente en comparación con América del Norte, Europa o Asia. Sin embargo, varios países han comenzado a desarrollar capacidades de investigación en neuro ingeniería, robótica y procesamiento de señales neuronales. Estos esfuerzos se concentran principalmente en universidades, centros de investigación y consorcios científicos que trabajan en aplicaciones orientadas a la rehabilitación neurológica, la comunicación asistida y el desarrollo de tecnologías de asistencia.

En este contexto, comprender la evolución de las interfaces cerebro-computadora resulta particularmente relevante para organismos multilaterales y actores del desarrollo. A medida que las neuro tecnologías avanzan hacia aplicaciones clínicas y comerciales, surge la necesidad de anticipar sus implicancias para los sistemas de salud, los marcos regulatorios y las políticas de innovación.

El desarrollo de las BCI se inscribe en un ecosistema global de innovación caracterizado por la convergencia entre investigación científica, inversión privada y creciente interés público. Este ecosistema combina actores tecnológicos, instituciones académicas y programas gubernamentales que, en conjunto, están acelerando la transición de las BCI desde aplicaciones experimentales hacia soluciones clínicas y comerciales. Comprender quién lidera este proceso y dónde se concentra la innovación resulta clave para identificar oportunidades estratégicas, particularmente en el contexto de América Latina y el Caribe.

TAMAÑO DEL MERCADO Y PROYECCIONES

Como se indicó previamente, en consonancia con las estimaciones del WEF, que proyectan una expansión cercana al 17,5 % hacia 2030, el crecimiento proyectado responde a la convergencia de múltiples factores.

En primer lugar, el avance de las aplicaciones clínicas, en particular en neuro rehabilitación, comunicación asistida y tratamiento de enfermedades neurológicas, está impulsando una demanda creciente en los sistemas de salud. Al mismo tiempo, la convergencia de las BCI con tecnologías digitales como la IA, la realidad virtual y la robótica abre nuevas oportunidades en sectores como la industria, el entretenimiento y el bienestar. Por último, el incremento sostenido de la inversión en investigación y desarrollo, tanto pública como privada, está acelerando la innovación y contribuyendo a disminuir las barreras tecnológicas.

Además del crecimiento del mercado, el ecosistema muestra una expansión significativa en términos de actores. Estimaciones recientes sugieren la existencia de cientos de empresas y startups trabajando en tecnologías relacionadas con BCI, junto a una inversión acumulada de miles de millones de dólares. Este dinamismo posiciona a las interfaces cerebro-computadora como una tecnología y un campo emergente dentro de la economía del conocimiento, con potencial para generar nuevas industrias basadas en la neuro tecnología.

EMPRESAS PRINCIPALES

En la actualidad, el ecosistema de innovación en BCI está liderado por un conjunto de empresas tecnológicas que desarrollan soluciones con distintos enfoques – desde implantes invasivos de alta resolución hasta dispositivos no invasivos orientados al consumo.

Entre los principales actores del sector se destaca [Neuralink](#), empresa estadounidense con sede en California, dedicada al desarrollo de implantes cerebrales con miles de electrodos capaces de registrar y estimular la actividad neuronal. Su enfoque prioriza aplicaciones médicas, como el tratamiento de la parálisis y de enfermedades neurodegenerativas, con una visión de largo plazo orientada a expandir las capacidades cognitivas y profundizar la interacción entre el cerebro humano y sistemas de IA.

Otro actor relevante es [Synchron](#), una empresa de origen australiano que ha desarrollado una interfaz mínimamente invasiva, el Stentrode, implantada a través de los vasos sanguíneos cerebrales. Este abordaje reduce significativamente los riesgos de la cirugía abierta y [ha permitido avanzar en ensayos clínicos en humanos](#), posicionando a la compañía entre las primeras en lograr implantaciones funcionales en pacientes.

En paralelo, [Precision Neuroscience](#), empresa con sede en Nueva York, desarrolla interfaces corticales basadas en láminas ultrafinas de microelectrodos que se adaptan a la superficie del cerebro sin penetrar el tejido. Este enfoque busca equilibrar una alta resolución de señal con menor grado de invasividad, lo que podría favorecer su adopción en un espectro más amplio de aplicaciones clínicas.

Por su parte, [Paradromics](#), Austin, Texas, trabaja en interfaces de alta resolución orientadas principalmente a la comunicación en pacientes con discapacidades motoras severas. Sus dispositivos emplean matrices de microelectrodos capaces de registrar la actividad neuronal a nivel individual, lo que habilita una decodificación más precisa de las señales cerebrales.

Estas empresas reflejan la diversidad de enfoques tecnológicos que caracteriza al campo de las BCI, así como la creciente competencia por desarrollar soluciones cada vez más seguras, precisas y escalables. Al mismo tiempo, ponen en relieve el papel central del sector privado en la aceleración de la innovación, especialmente en las etapas más avanzadas de desarrollo y en los procesos de comercialización.

NEURALINK (EEUU)

- Implantes cerebrales de alta resolución
- Primera implantación humana (2024)
- Enfoque médico y cognitivo

SYNCHRON (Australia)

- Stentrode mínimamente invasivo
- Implantación vascular
- Alta seguridad clínica

PRECISION NEUROSCIENCE (EEUU)

- Interfaces corticales ultrafinas
- Menor invasividad
- Alta resolución de señales

PARADROMICS (EEUU)

- Comunicación para parálisis severa
- Matrices de microelectrodos
- Decodificación precisa de señales

El desarrollo de las interfaces cerebro-computadora está profundamente vinculado al rol de la investigación académica. Universidades y centros de investigación desempeñan un papel fundamental en la generación de conocimiento, el desarrollo de nuevas tecnologías y la formación de talento especializado.

Entre los principales referentes se encuentra la Universidad Stanford, donde equipos de investigación han logrado avances significativos en la decodificación de señales neuronales para restaurar la comunicación en pacientes con parálisis. Estos desarrollos han demostrado la posibilidad de traducir actividad cerebral en texto o voz con velocidades cercanas a la comunicación natural.

El Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT por sus siglas en inglés) también desempeña un papel clave en el campo, con investigaciones que abarcan desde el desarrollo de sensores neuronales no invasivos hasta la integración de BCI con sistemas robóticos y de IA. Sus contribuciones han sido fundamentales para avanzar en la comprensión de la interacción entre cerebro y máquina.

En Europa, la École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Suiza, ha liderado proyectos pioneros en neurorrehabilitación, combinando interfaces cerebro-computadora con estimulación eléctrica y robótica para restaurar funciones motoras en pacientes con lesiones medulares. Estos estudios han demostrado avances concretos en la recuperación de movilidad, consolidando el potencial terapéutico de las BCI.

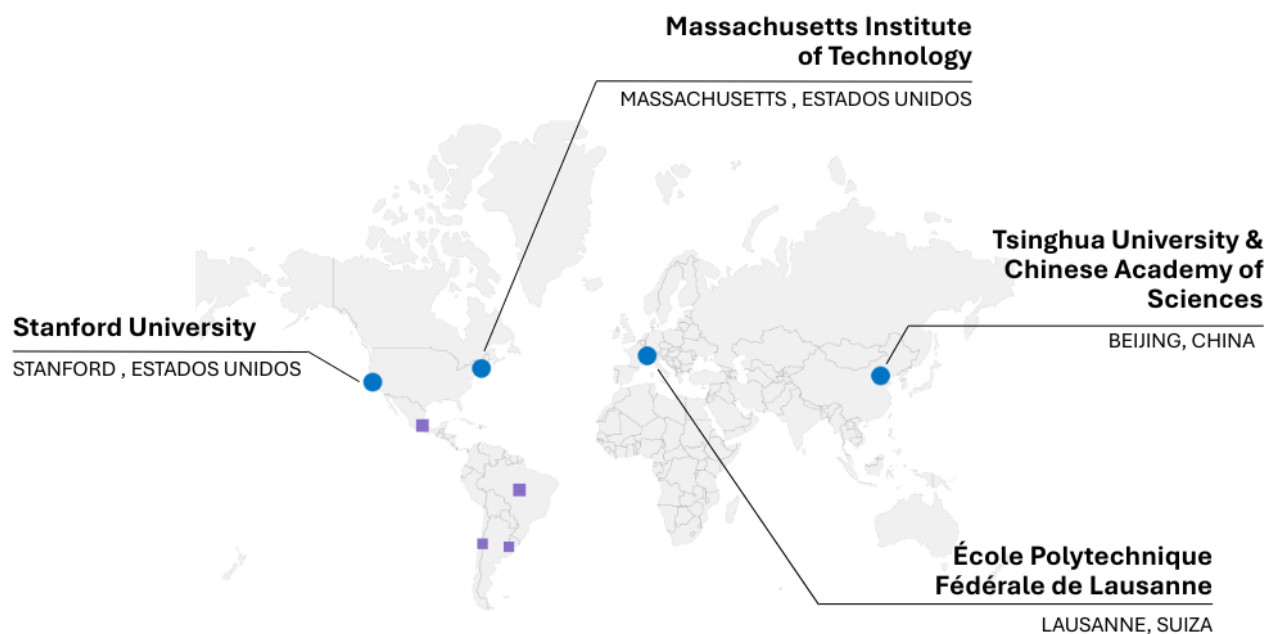
La interacción entre estos centros académicos y el sector privado es un rasgo distintivo del ecosistema de innovación en BCI. Muchas startups y empresas tecnológicas surgen a partir de investigaciones universitarias, lo que facilita la transferencia de conocimiento y acelera el desarrollo de aplicaciones prácticas.

En América Latina y el Caribe, si bien no existen aún centros con el mismo nivel de escala o financiamiento que los principales hubs globales, se observan capacidades académicas emergentes en neurociencia, bioingeniería y procesamiento de señales neuronales, constituyendo una base relevante para el desarrollo futuro de interfaces cerebro-computadora.

En Brasil, instituciones como la Universidad Federal de Río Grande del Norte y el Instituto Internacional de Neurociencias Edmond y Lily Safra han liderado investigaciones en neurorrehabilitación y control de dispositivos robóticos mediante señales cerebrales. Chile, por su parte, junto a grupos de la Universidad de Chile, han desarrollado aplicaciones de BCI no invasivas orientadas a la comunicación asistida y la rehabilitación neurológica. En México, la Universidad Nacional Autónoma de México y el Instituto

Politécnico Nacional trabajan en el desarrollo de sistemas basados en electroencefalografía para el control de interfaces humano-máquina. Por su parte, en Argentina, grupos vinculados al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas han contribuido al avance en neurociencia computacional y análisis de señales neuronales.

Aunque estas iniciativas se concentran mayormente en etapas de investigación temprana o prototipos experimentales, reflejan un ecosistema científico en consolidación, con creciente interdisciplinariedad y vínculos incipientes con aplicaciones clínicas. En este contexto, la cooperación internacional, el acceso a infraestructura avanzada y el fortalecimiento de mecanismos de transferencia tecnológica aparecen como factores clave para escalar estas capacidades y facilitar la inserción de la región en el ecosistema global de innovación en BCI.



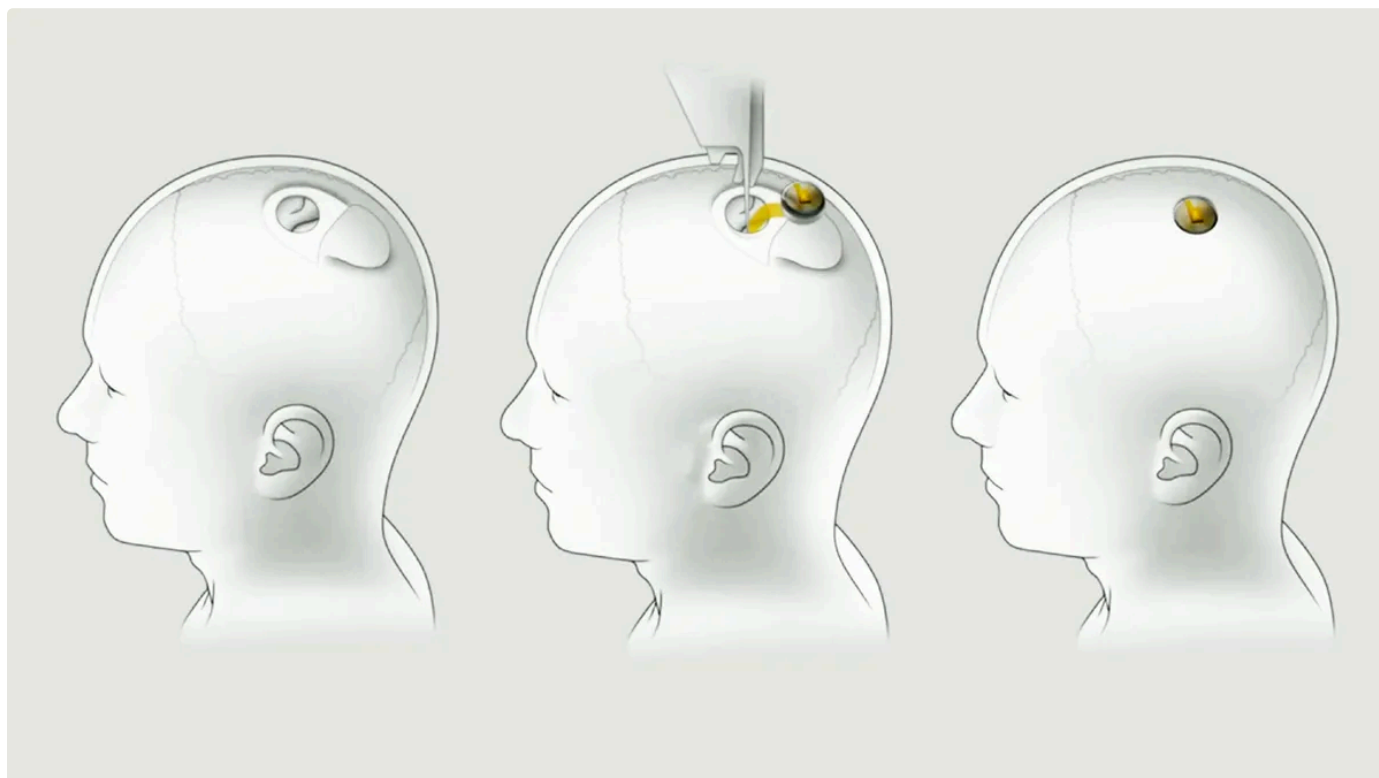
Principales Hubs (azul) y Centros emergentes en América Latina (violeta)

GEOPOLÍTICA DE LA NEURO TECNOLOGÍA

El desarrollo de las interfaces cerebro-computadora presenta una dimensión geopolítica relevante, dado que, como toda tecnología emergente, se inscribe en las capacidades de los países y las regiones en brindar una mayor o menor cantidad de recursos para estimular su desarrollo.

En este sentido, en la actualidad Estados Unidos mantiene el liderazgo global en el desarrollo de interfaces cerebro-computadora, particularmente en la traslación desde investigación hacia aplicaciones clínicas y comerciales. Este liderazgo se sustenta en la combinación de universidades de excelencia, un ecosistema dinámico de startups, inversión constante y un marco regulatorio activo que ha comenzado a habilitar ensayos en humanos.

Un hito reciente es el avance de ensayos clínicos con dispositivos implantables. En 2024, tras la autorización de la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA por sus siglas en inglés), Neuralink realizó [su primer implante en un paciente humano](#) como parte del estudio Precise Robotically Implanted Brain-Computer Interface (PRIME por sus siglas en inglés) el primer ensayo clínico en humanos aprobado por la FDA). Este dispositivo permitió al paciente controlar una computadora, incluyendo cursor, escritura y navegación, mediante señales cerebrales, marcando un punto de inflexión en la validación clínica de estas tecnologías.



La tecnología de interfaz cerebro-máquina de Neuralink inserta electrodos en el cerebro y luego utiliza un chip para comunicarse con computadoras situadas fuera del cráneo. Captura de pantalla de Stephen Shankland/CNET

A partir de este avance, el ecosistema ha evolucionado rápidamente hacia ensayos más complejos. En 2025 se lanzaron estudios de factibilidad para extender estas capacidades al control de dispositivos físicos, como brazos robóticos, [mediante interfaces neuronales implantables](#). En paralelo, [otras empresas norteamericanas](#) han avanzado en ensayos clínicos orientados a restaurar el habla en pacientes con parálisis severa, consolidando el enfoque en aplicaciones de alto impacto clínico.

China por su parte, ha emergido como un actor clave en el desarrollo de neuro tecnologías, con inversiones significativas en investigación y una estrategia estatal orientada a fortalecer su capacidad científica y tecnológica. El país ha avanzado tanto en investigación básica como en aplicaciones experimentales, consolidando su posición como competidor relevante en el campo de las BCI. Un hito reciente que ha apoyado este avance es la aprobación, en 2026, del [primer dispositivo de interfaz cerebro-computadora](#)

autorizado para uso clínico fuera de ensayos experimentales, destinado a restaurar el movimiento de la mano en pacientes con parálisis, lo que posiciona al país a la vanguardia en la transición hacia aplicaciones médicas comerciales.

En paralelo, China también ha avanzado en ensayos clínicos en humanos. Investigaciones lideradas por la [Academia China de Ciencias](#) han demostrado que pacientes con tetraplejía pueden controlar sillas de ruedas inteligentes o dispositivos robóticos mediante señales cerebrales, evidenciando progresos en aplicaciones funcionales de las BCI. A su vez, estudios reportados en [Nature](#) muestran que dispositivos implantables desarrollados en China han permitido a pacientes con discapacidades severas interactuar con entornos digitales, incluyendo el control de videojuegos, reflejando avances en interfaces de alta resolución y usabilidad.

Europa, por su parte, mantiene un rol destacado en la investigación científica, con un enfoque fuerte en aplicaciones clínicas, éticas y de regulación. Programas de investigación financiados por la Unión Europea han impulsado avances en neurociencia y tecnologías médicas, posicionando a la región como un referente en el desarrollo responsable de neuro tecnologías.

Adicionalmente, el bloque ha desempeñado un papel clave en la definición de marcos éticos y regulatorios para las neurotecnologías. La Unión Europea ha impulsado lineamientos sobre privacidad de datos neuronales, consentimiento informado y uso responsable de tecnologías emergentes, posicionándose como un referente global en gobernanza tecnológica.

En contraste a estos casos, aunque existen capacidades científicas considerables en países como Brasil, Chile, México y Argentina, la participación de América Latina y el Caribe en el área de BCI es aún incipiente. Estas capacidades se concentran principalmente en investigación académica y desarrollo experimental, con menor presencia en el ámbito empresarial y en la comercialización de tecnologías. No obstante, la creciente disponibilidad de talento científico y el fortalecimiento de ecosistemas de innovación abren oportunidades para una mayor integración de la región en el desarrollo global de las BCI.

La geopolítica de la neuro tecnología refleja una competencia creciente por liderar un campo que podría tener implicaciones significativas en salud, productividad e innovación. Para las economías en desarrollo, el desafío presente radica en fortalecer sus capacidades científicas, promover la colaboración internacional y diseñar políticas que faciliten la adopción responsable de estas tecnologías emergentes.

APLICACIONES ACTUALES Y EMERGENTES DE LAS BCI

El avance reciente de las interfaces cerebro-computadora ha permitido su transición desde entornos experimentales hacia aplicaciones clínicas y casos de uso funcionales, particularmente en salud, comunicación y control de dispositivos. Si bien muchas aplicaciones aún se encuentran en fases de validación, existe evidencia creciente de su impacto en pacientes y de su potencial para extenderse a otros sectores.

SALUD Y REHABILITACIÓN NEUROLÓGICA

El ámbito de la salud constituye el principal campo de aplicación de las BCI, especialmente en el tratamiento de condiciones neurológicas que afectan la movilidad, la comunicación y la autonomía.

En pacientes con parálisis severa, las BCI permiten recuperar funciones motoras mediante la decodificación de la intención de movimiento y su traducción en comandos para dispositivos externos. Ensayos clínicos recientes han demostrado que personas con cuadriplejía pueden controlar computadoras, cursores o dispositivos robóticos únicamente mediante señales cerebrales, lo que representa un avance significativo en términos de autonomía funcional.

En el caso de la esclerosis lateral amiotrófica (ELA), donde la pérdida progresiva del control muscular limita la capacidad de comunicación, las BCI han demostrado resultados particularmente relevantes. Estudios clínicos recientes han logrado que pacientes con ELA recuperen la capacidad de comunicarse mediante sistemas que traducen señales neuronales en texto o voz sintetizada, con [niveles de precisión cercanos al lenguaje natural](#).

En procesos de rehabilitación post-accidente cerebrovascular (ACV), las BCI están siendo utilizadas para estimular la neuroplasticidad. Mediante la detección de intención motora, estos sistemas pueden activar exoesqueletos o sistemas de estimulación eléctrica funcional, facilitando la reorganización de circuitos neuronales dañados y mejorando la recuperación motora.

Otro campo en expansión es el desarrollo de neuroprótesis, que combinan registro y estimulación neuronal para restaurar funciones sensoriales o motoras. Estas tecnologías permiten, por ejemplo, controlar brazos robóticos o recuperar parcialmente la sensibilidad táctil, lo que abre nuevas posibilidades en rehabilitación avanzada.

En conjunto, estas aplicaciones reflejan que las BCI están pasando de ser herramientas experimentales para prontamente convertirse en tecnologías clínicas con impacto directo en la calidad de vida.

COMUNICACIÓN AUMENTADA

Uno de los avances más disruptivos en el campo de las BCI se observa en la restauración de la comunicación, particularmente a través de la denominada decodificación de voz. Investigaciones recientes han demostrado la capacidad de las BCI para decodificar tanto el habla intentada como el habla interna directamente a partir de la actividad cerebral. En [estudios publicados en 2025](#), equipos de investigación lograron traducir en tiempo real las señales neuronales asociadas a palabras y frases completas en pacientes con parálisis. Este avance representa un cambio cualitativo respecto a sistemas anteriores, que dependían de interfaces más lentas o basadas en selección de caracteres.

En paralelo, se han desarrollado sistemas capaces de convertir señales cerebrales en voz sintetizada con entonación y ritmo, generando una experiencia [cercana a la conversación natural](#). Estos desarrollos reducen significativamente la latencia y mejoran la fluidez comunicativa, uno de los principales desafíos históricos de las BCI.

Otra línea relevante es la escritura mediante pensamiento, donde los usuarios pueden generar texto directamente a partir de señales neuronales. Ensayos clínicos han demostrado tasas de escritura cada vez más altas, acercándose progresivamente a velocidades comparables con la comunicación convencional.

Estas innovaciones posicionan a las BCI como una tecnología clave para restaurar la agencia comunicativa, con implicaciones profundas no solo en salud, sino también en inclusión social.

NEUROPSIQUIATRÍA Y SALUD MENTAL

En el caso de la neuropsiquiatría, el uso de interfaces cerebro-computadora también ha avanzado significativamente en los últimos años, particularmente en el desarrollo de sistemas de neuromodulación personalizada en lazo cerrado. [Un caso destacado](#) es el estudio clínico liderado por la Universidad de California, donde se implementó un sistema de estimulación cerebral profunda adaptativa para tratar depresión resistente. Este enfoque permitió ajustar la estimulación en tiempo real en función de biomarcadores neuronales específicos del paciente, logrando reducciones clínicamente significativas en los síntomas depresivos.

Asimismo, dispositivos desarrollados por la empresa [NeuroPace](#), originalmente aprobados para el tratamiento de epilepsia, están siendo explorados en aplicaciones psiquiátricas. Estos sistemas registran actividad cerebral y aplican estimulación solo cuando detectan patrones asociados a crisis o disfunciones, lo que constituye un ejemplo avanzado de medicina personalizada basada en datos neuronales.

En el ámbito del trastorno obsesivo-compulsivo (TOC) y la ansiedad, investigaciones financiadas por el Instituto Nacional de Salud de los Estados Unidos han explorado el uso de neurofeedback basado en BCI para modular circuitos neuronales asociados a la regulación emocional. Aunque estos desarrollos aún se encuentran en fases tempranas, evidencian una transición hacia tratamientos más precisos, adaptativos y menos invasivos.

INTERFACES HUMANO-MÁQUINA AVANZADAS

Las BCI están habilitando nuevas formas de interacción directa entre el cerebro humano y sistemas físicos o digitales, con aplicaciones que van más allá del ámbito clínico.

Un ejemplo relevante es el trabajo desarrollado en el MIT, donde investigadores presentaron una [interfaz no invasiva capaz de controlar en tiempo real dispositivos robóticos complejos](#), incluyendo *Spot*, el robot cuadrúpedo de Boston Dynamics. Este sistema combina electroencefalografía con algoritmos de aprendizaje automático para traducir intenciones motoras en comandos precisos, evidenciando avances en control robótico basado en señales neuronales.

En el campo de la rehabilitación avanzada, la EPFL [ha desarrollado sistemas integrados](#) que combinan BCI con estimulación eléctrica y exoesqueletos. Estos sistemas han permitido que pacientes con lesiones medulares recuperen funciones motoras básicas, como ponerse de pie o caminar con asistencia, demostrando la viabilidad de interfaces cerebro-máquina en entornos clínicos reales.

Por su parte, la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de Defensa (DARPA, por sus siglas en inglés) ha impulsado programas orientados al desarrollo de interfaces neuronales para el control de sistemas complejos en contextos operativos, incluyendo drones y plataformas autónomas. Estos programas reflejan el interés estratégico en interfaces de alta eficiencia cognitiva para entornos de alta demanda. En conjunto, estos casos evidencian una evolución hacia interfaces más naturales e intuitivas, donde la interacción con máquinas se basa directamente en la intención cognitiva.

Estas innovaciones posicionan a las BCI como una tecnología clave para restaurar la agencia comunicativa, con implicaciones profundas no solo en salud, sino también en inclusión social.

Más allá de sus aplicaciones actuales, las BCI comienzan a expandirse hacia nuevos ámbitos con un claro potencial transformador.

APLICACIONES EMERGENTES

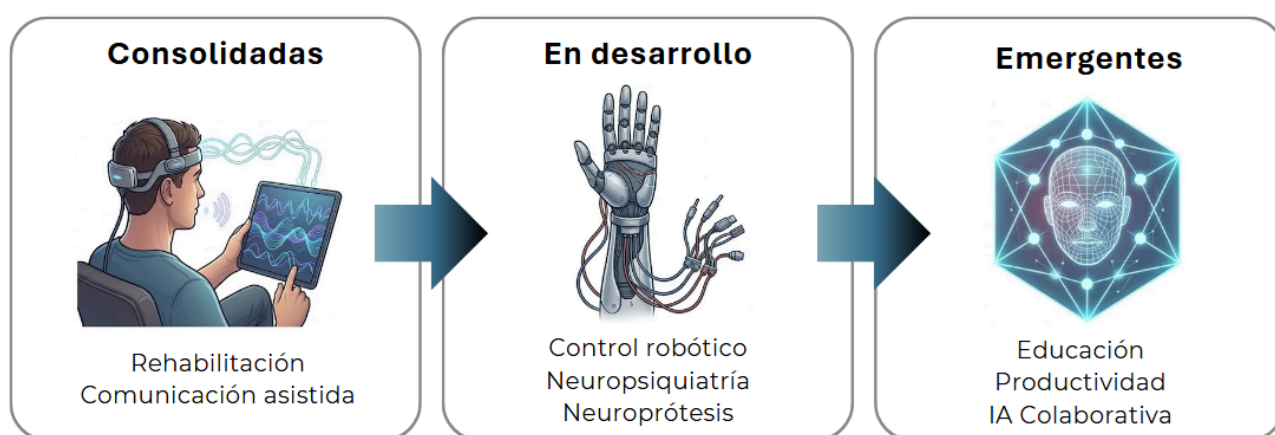
En el campo de la educación y el entrenamiento cognitivo, distintas investigaciones muestran que los sistemas de neurofeedback basados en BCI pueden mejorar la atención y el desempeño en tareas cognitivas complejas. Estos avances abren la posibilidad de desarrollar entornos educativos adaptativos, ajustados en tiempo real a partir de datos neuronales.

En el ámbito de la productividad y el monitoreo cognitivo, empresas como Neurable han desarrollado dispositivos no invasivos capaces de medir niveles de concentración y carga cognitiva en contextos laborales. A partir del uso de aprendizaje automático, estos sistemas identifican patrones de desempeño y permiten optimizar la productividad individual.

En el sector defensa y aeroespacial, programas de la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de Defensa han explorado el uso de BCI para mejorar la interacción humano-máquina en entornos complejos, incluyendo la coordinación de equipos y el control de sistemas autónomos. Estas aplicaciones buscan reducir la carga cognitiva y fortalecer la toma de decisiones en tiempo real.

Por último, uno de los desarrollos más relevantes es la convergencia entre BCI e IA. Iniciativas recientes, como las impulsadas por OpenAI junto a startups de neurotecnología como Merge Labs, apuntan al desarrollo de interfaces no invasivas que habiliten la interacción directa entre humanos y sistemas de IA mediante señales neuronales. Este enfoque podría redefinir el paradigma de la interacción humano-computadora, dando lugar a formas más directas, rápidas y naturales de vinculación con los sistemas digitales.

Espectro de Aplicaciones BCI



(Imágenes generadas con IA)

IMPLICACIONES PARA EL DESARROLLO Y OPORTUNIDADES PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Las BCI comienzan a perfilarse como una tecnología con potencial impacto en la agenda de desarrollo de América Latina y el Caribe, particularmente en áreas como inclusión social, salud, desarrollo científico y transformación productiva. Si bien, como fuera mencionado, la región no lidera actualmente la frontera tecnológica en este campo, cuenta con capacidades incipientes y espacios de oportunidad para una inserción estratégica, especialmente si se articulan políticas públicas, inversión en ciencia y cooperación internacional. En este contexto, el desafío no es solo adoptar la tecnología, sino orientar su desarrollo hacia prioridades regionales, maximizando su impacto social y económico.

INCLUSIÓN Y DISCAPACIDAD

Las BCI presentan un alto potencial como tecnologías asistivas orientadas a mejorar la calidad de vida de personas con discapacidad, en particular aquellas con limitaciones motoras o del habla. En América Latina y el Caribe, donde persisten brechas significativas en acceso a tecnologías de rehabilitación y dispositivos de asistencia, estas soluciones podrían contribuir a reducir desigualdades estructurales en autonomía y participación social.

En la región ya existen líneas de investigación orientadas al desarrollo de interfaces no invasivas basadas en electroencefalografía con aplicaciones en control de sillas de ruedas, interfaces de comunicación y sistemas de asistencia básica. Instituciones académicas en países como Brasil, Argentina, México y Chile han desarrollado prototipos funcionales en entornos de laboratorio, lo que evidencia una base tecnológica inicial sobre la cual construir.

No obstante, la adopción de estas tecnologías enfrenta desafíos relevantes, entre ellos el costo de los dispositivos, la disponibilidad limitada de servicios especializados y la necesidad de adaptar las soluciones a contextos socioeconómicos diversos.

En este sentido, resulta vital pensar el desarrollo de BCI en la región priorizando estratégicamente enfoques de accesibilidad, bajo costo y escalabilidad, alineados con las necesidades y coyunturas de los sistemas de protección social.

SISTEMAS DE SALUD

El potencial de las BCI en la región es particularmente relevante en el fortalecimiento de los sistemas de salud, especialmente en el ámbito de la rehabilitación neurológica. [La región de América Latina y el Caribe enfrenta una creciente carga de enfermedades neurológicas](#), incluyendo accidentes cerebrovasculares, lesiones medulares y enfermedades neurodegenerativas, que requieren intervenciones prolongadas y costosas.

Las BCI pueden contribuir a mejorar la efectividad de los procesos de rehabilitación mediante enfoques basados en neuroplasticidad y retroalimentación en tiempo real. En varios países de la región, grupos de investigación han comenzado a explorar el uso de interfaces cerebro-computadora en combinación con robótica y estimulación eléctrica funcional para apoyar la recuperación motora.

Aquí también, su incorporación efectiva en sistemas de salud requiere superar barreras estructurales, como la fragmentación de los servicios, la escasez de profesionales especializados y la escasez de infraestructura tecnológica. Asimismo, será necesario avanzar en marcos regulatorios claros para la evaluación y aprobación de dispositivos médicos avanzados, así como en esquemas de financiamiento que permitan su integración en sistemas públicos de salud.

ECOSISTEMAS DE INNOVACIÓN

El desarrollo de BCI ofrece una oportunidad para dinamizar los ecosistemas de innovación en América Latina y el Caribe, particularmente en la intersección entre salud, IA e ingeniería biomédica.

Si bien el número de startups en neurotecnología en la región es aún limitado, esta situación se inscribe en una tendencia más amplia: la baja densidad de emprendimientos deep tech en la región. Los ecosistemas de innovación regionales presentan una fuerte concentración en sectores digitales de rápida escalabilidad, mientras que áreas intensivas en ciencia, como la biotecnología, los dispositivos médicos y la neurotecnología, enfrentan mayores barreras de entrada asociadas a requerimientos de capital, infraestructura y plazos de desarrollo más extensos.

Países como Brasil, Chile y México han avanzado en la creación de programas de apoyo a emprendimientos de base científica, como el Programa de Innovación Tecnológica en Pequeñas Empresas (PIPE) en Brasil o Start-Up Chile, que podrían extenderse al ámbito de la neurotecnología. La consolidación de hubs de

innovación especializados, que integren capacidades en salud digital, IA y dispositivos médicos, podría acelerar la maduración de este sector en la región.

Para ello, resulta clave promover políticas que faciliten el acceso a financiamiento, incentiven la colaboración público-privada y reduzcan las barreras regulatorias para la experimentación y validación de nuevas tecnologías.

TALENTO CIENTÍFICO Y CAPACIDADES REGIONALES

El desarrollo de BCI depende de capacidades altamente interdisciplinarias, que combinan neurociencia, ingeniería, ciencia de datos y medicina. América Latina y el Caribe cuenta con una base de talento científico relevante en estas áreas, aunque distribuida de manera heterogénea entre países.

Universidades y centros de investigación de la región han desarrollado líneas de trabajo en neurociencia cognitiva, procesamiento de señales biomédicas e IA aplicada a la salud. Estas capacidades constituyen un punto de partida importante para el desarrollo de tecnologías BCI, aunque aún enfrentan limitaciones en términos de financiamiento, acceso a infraestructura avanzada y articulación con el sector productivo.

Uno de los principales desafíos es la formación de perfiles interdisciplinarios, capaces de integrar conocimientos técnicos y clínicos. Asimismo, la retención de talento sigue siendo un problema estructural, debido a la migración de investigadores hacia ecosistemas con mayores recursos.

Fortalecer estas capacidades requerirá inversiones en educación superior, programas de formación especializada y estrategias para fomentar la colaboración regional, permitiendo aprovechar economías de escala en investigación y desarrollo.

Para América Latina y el Caribe, comprender estas dinámicas será fundamental para orientar su desarrollo de manera inclusiva y sostenible.

Dado el carácter emergente y complejo de las BCI, la cooperación internacional representa un potencial central en el desarrollo de capacidades en América Latina y el Caribe. La articulación con redes globales de investigación, así como la participación en iniciativas internacionales, puede facilitar el acceso a conocimiento, infraestructura y buenas prácticas regulatorias.

En este contexto, organismos multilaterales, pueden desempeñar un papel estratégico en la promoción de agendas de innovación en neurotecnología. Esto incluye el financiamiento de proyectos piloto, el apoyo a ecosistemas de emprendimiento científico-tecnológico y la asistencia técnica para el diseño de marcos regulatorios.

Asimismo, la cooperación regional puede contribuir a reducir la fragmentación de esfuerzos y generar plataformas compartidas de investigación y desarrollo. Iniciativas que integren múltiples países permitirían avanzar hacia una masa crítica de capacidades, facilitando la adopción y adaptación de tecnologías como las BCI en contextos locales.

RIESGOS, REGULACIONES Y DESAFÍOS ÉTICOS

El desarrollo de BCI introduce desafíos que trascienden lo tecnológico, abarcando dimensiones regulatorias, éticas y de derechos humanos. A medida que estas tecnologías avanzan hacia potenciales aplicaciones clínicas y usos comerciales, se vuelve fundamental anticipar sus implicaciones y garantizar su desarrollo responsable.

En este contexto, la UNESCO ha emergido como uno de los principales referentes internacionales, impulsando [marcos normativos específicos](#) para la gobernanza de la neurotecnología, en tanto que otros organismos como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, han comenzado a delinear principios y marcos orientados a guiar el desarrollo responsable de la neurotecnología.

PRIVACIDAD Y DATOS NEURONALES

Uno de los desafíos más críticos asociados a las BCI es la gestión de los datos neuronales (neurodata). A diferencia de otros datos biométricos, estos pueden revelar información altamente sensible sobre pensamientos, emociones e intenciones.

La neurotecnología permite acceder a la actividad mental más íntima, lo que requiere mecanismos de protección reforzados frente a usos indebidos. En particular, el uso de datos neuronales con fines comerciales – como marketing o perfilamiento conductual – plantea riesgos significativos en términos de vigilancia y manipulación.

En este sentido, los marcos emergentes proponen reconocer los datos neuronales como una categoría diferenciada, sujeta a estándares más estrictos de consentimiento, almacenamiento y uso.

Las BCI también traen consigo nuevos riesgos en materia de ciberseguridad, especialmente en dispositivos conectados o implantables. La posibilidad de acceso no autorizado o interferencia externa en sistemas que interactúan directamente con el cerebro plantea desafíos sin precedentes.

La convergencia con sistemas de IA amplifica estos riesgos al incrementar la capacidad de decodificar, predecir y eventualmente modular patrones neuronales. A medida que los algoritmos se vuelven más precisos en la interpretación de señales cerebrales, también se expande el potencial de usos indebidos, incluyendo formas de influencia cognitiva o emocional, sesgos inducidos o alteraciones en la toma de decisiones. Esos escenarios no solo plantean desafíos técnicos, sino también éticos y regulatorios en torno a la autonomía mental y la privacidad neuronal.

En este contexto, resulta fundamental avanzar hacia enfoques de seguridad desde el diseño (*security by design*), integrando mecanismos de protección desde las etapas iniciales del desarrollo tecnológico. Esto implica, entre otros aspectos, el cifrado robusto de datos neuronales, la autenticación segura de dispositivos, la actualización continua de software, y la implementación de protocolos que garanticen la trazabilidad y el control del usuario sobre su información. Asimismo, será clave complementar estos desarrollos con marcos regulatorios específicos y estándares internacionales que acompañen la evolución de la tecnología y mitiguen sus riesgos emergentes.

Las BCI también plantean desafíos sustantivos para los marcos regulatorios tradicionales, al integrar dispositivos implantables, software avanzado e IA en sistemas altamente complejos. Si bien sus aplicaciones clínicas suelen estar sujetas a evaluación como dispositivos médicos, muchas de sus funcionalidades, particularmente aquellas basadas en software adaptativo o conectividad digital, exceden los esquemas regulatorios convencionales.

La [OMS](#) ha subrayado la necesidad de fortalecer los marcos regulatorios para tecnologías médicas avanzadas, destacando la importancia de garantizar estándares de seguridad, eficacia y monitoreo continuo a lo largo del ciclo de vida del dispositivo. En el caso de las BCI, esto implica ampliar el foco de evaluación: no solo el hardware implantable o los sensores, sino también los algoritmos que procesan señales neuronales, especialmente cuando estos pueden modificarse mediante aprendizaje automático. La validación de sistemas que evolucionan en el tiempo introduce desafíos adicionales en términos de

certificación, reproducibilidad y trazabilidad.

En este contexto, la convergencia entre dispositivos médicos y tecnologías digitales exige avanzar hacia enfoques regulatorios más dinámicos y adaptativos. Esto incluye mecanismos de aprobación progresiva o condicionada, esquemas robustos de vigilancia post-comercialización y marcos específicos para el software como dispositivo médico (SaMD). Asimismo, se vuelve clave incorporar auditorías algorítmicas, requisitos de explicabilidad y estándares de gobernanza de datos que permitan mitigar riesgos asociados a sesgos, fallas sistémicas o comportamientos no previstos.

En América Latina y el Caribe, estos desafíos se ven amplificados por la heterogeneidad de capacidades regulatorias y la fragmentación normativa. Fortalecer las agencias de salud, promover la armonización regional y desarrollar capacidades técnicas para evaluar tecnologías complejas serán condiciones necesarias para una adopción segura y efectiva de las BCI. A esto se suma la necesidad de generar marcos de cooperación internacional, impulsar espacios de experimentación regulatoria (como sandboxes) y articular al sector público con el ecosistema científico-tecnológico, de modo de acompañar el ritmo de la innovación sin comprometer la protección de los usuarios.

EQUIDAD Y ACCESO

El desarrollo de las BCI plantea riesgos significativos en términos de equidad y acceso, especialmente en regiones con desigualdades estructurales como América Latina y el Caribe. Dado su alto costo, complejidad tecnológica y dependencia de infraestructura especializada, existe el riesgo de que estas soluciones queden restringidas a segmentos limitados de la población.

La [Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos](#) ha advertido que las tecnologías emergentes intensivas en conocimiento, como la neurotecnología, tienden a concentrarse en contextos con mayores capacidades científicas y financieras, lo que puede profundizar las brechas existentes si no se implementan políticas públicas adecuadas.

En la misma línea, el [WEF](#) ha señalado que el acceso desigual a tecnologías capaces de mejorar capacidades cognitivas o funcionales podría generar nuevas formas de desigualdad, tanto entre países como dentro de ellos. En la misma línea, el WEF ha señalado que el acceso desigual a tecnologías capaces de mejorar capacidades cognitivas o funcionales podría generar nuevas formas de desigualdad, tanto entre países como dentro de ellos.

Para América Latina y el Caribe, este escenario exige un enfoque proactivo orientado a promover la innovación inclusiva. Esto implica incorporar criterios de accesibilidad y asequibilidad desde las etapas de diseño, desarrollar modelos de financiamiento que faciliten su integración en los sistemas públicos de salud y explorar mecanismos como compras públicas innovadoras o esquemas de cobertura progresiva. Asimismo, fortalecer capacidades locales, tanto en investigación, desarrollo, regulación y producción, resulta clave para reducir la dependencia tecnológica, participar en cadenas de valor emergentes y garantizar un acceso más equitativo y sostenible a estos avances.

AUTONOMÍA, CONSENTIMIENTO Y AGENCIA HUMANA

Las interfaces cerebro-computadora introducen desafíos fundamentales en relación con la autonomía individual, el consentimiento informado y la agencia humana, al habilitar formas de interacción directa con la actividad cerebral. Estas tecnologías no solo permiten registrar señales neuronales, sino que, en ciertos casos, pueden influir en ellas, lo que plantea interrogantes sobre los límites de la intervención tecnológica en la mente humana.

La [UNESCO](#) ha advertido que la neurotecnología puede impactar dimensiones esenciales como la libertad de pensamiento, la identidad personal y la integridad mental. En este sentido, subraya la necesidad de establecer salvaguardas específicas para proteger la denominada "esfera cognitiva", incorporando principios éticos que contemplen riesgos como la manipulación involuntaria, la extracción de información sensible o la erosión de la autonomía.

En la misma línea, la [OMS](#) destaca que, en el caso de tecnologías médicas avanzadas, el consentimiento informado debe adaptarse a contextos de alta complejidad técnica e incertidumbre. Esto implica no solo comunicar beneficios y riesgos inmediatos, sino también considerar efectos a largo plazo, posibles actualizaciones del sistema, cambios en el comportamiento del dispositivo y la gestión de los datos neuronales generados. Asimismo, se vuelve relevante contemplar mecanismos de consentimiento dinámico, que permitan a los usuarios mantener control continuo sobre el uso de la tecnología.

En este contexto, ha cobrado fuerza el concepto de neuroderechos, orientado a proteger la privacidad mental, la identidad personal, la autonomía y el libre albedrío frente a tecnologías capaces de acceder o influir en la actividad cerebral. Este enfoque impulsa la incorporación de nuevas categorías normativas – como la protección de los datos neuronales o la prohibición de interferencias cognitivas indebidas – y refleja la necesidad de actualizar los marcos éticos y jurídicos tradicionales para responder a los desafíos que plantea la convergencia entre neurociencia y tecnologías digitales.

El desarrollo de las BCI introduce una agenda emergente para las políticas públicas que combina dimensiones de salud, innovación, regulación y derechos humanos. En América Latina y el Caribe, estas implicaciones adquieren una relevancia particular, dado que la región enfrenta simultáneamente desafíos estructurales, como brechas en acceso a servicios de salud y capacidades tecnológicas, y oportunidades vinculadas a la incorporación de tecnologías de frontera.

Más que un proceso de adopción tecnológica lineal, las BCI requieren ser comprendidas como parte de una transformación más amplia en la relación entre ciencia, tecnología y desarrollo, donde la capacidad de anticipar riesgos, construir marcos institucionales adecuados y orientar la innovación hacia objetivos sociales será determinante. En este contexto, actores públicos y multilaterales tienen un rol clave en la configuración de esta agenda.

INVERSIÓN EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN NEUROTECNOLOGÍA

El avance de las BCI pone de relieve la importancia de contar con capacidades robustas en investigación y desarrollo (I+D), especialmente en ámbitos altamente interdisciplinarios que articulan neurociencia, ingeniería biomédica, ciencia de datos e IA. En América Latina y el Caribe, si bien existen núcleos de excelencia en estas áreas, las capacidades suelen presentarse de manera fragmentada, con limitaciones en financiamiento sostenido, infraestructura especializada y masa crítica de investigadores, lo que dificulta la consolidación de ecosistemas integrados.

Desde la perspectiva de política pública, la neurotecnología evidencia la necesidad de fortalecer los sistemas de ciencia, tecnología e innovación con una visión estratégica de largo plazo. Esto implica promover una mayor articulación entre investigación básica, desarrollo aplicado y transferencia tecnológica, así como diseñar instrumentos que acompañen todo el ciclo de innovación. La complejidad y el costo de estas tecnologías también subrayan la importancia de generar economías de escala, tanto a nivel nacional como regional, mediante consorcios de investigación, plataformas compartidas y esquemas de cooperación internacional.

Al mismo tiempo, este campo expone tensiones estructurales persistentes en los sistemas de I+D de la región. Entre ellas, la dificultad para sostener trayectorias de investigación en áreas de alto riesgo e incertidumbre, la limitada disponibilidad de financiamiento de largo plazo y la débil vinculación entre la producción científica y su aplicación en entornos productivos o clínicos. Superar estas brechas requerirá no solo mayores recursos, sino también mejoras en la gobernanza de los sistemas de innovación, incentivos adecuados para la colaboración público-privada y el desarrollo de capacidades institucionales orientadas a la adopción y escalamiento de tecnologías complejas.

CERTIFICACIÓN, REPRODUCIBILIDAD Y TRAZABILIDAD.

La emergencia de las BCI plantea interrogantes sobre la capacidad de los marcos regulatorios existentes para adaptarse a tecnologías que operan en la interfaz entre lo biológico y lo digital. En particular, los datos neuronales introducen una categoría de información que desafía las definiciones tradicionales de datos personales, al involucrar dimensiones íntimas de la actividad cognitiva.

En América Latina y el Caribe, donde los marcos de protección de datos han avanzado de manera desigual, la aparición de los neurodatos plantea la necesidad de revisar conceptos clave como consentimiento, propiedad de los datos y usos secundarios. Al mismo tiempo, la regulación de dispositivos médicos enfrenta el desafío de incorporar tecnologías que combinan hardware, software e IA en sistemas dinámicos y adaptativos.

Este escenario pone de relieve la importancia de avanzar hacia enfoques regulatorios más flexibles y anticipatorios, capaces de acompañar la innovación sin generar vacíos normativos. También destaca la necesidad de fortalecer las capacidades técnicas de las agencias reguladoras, que deberán evaluar tecnologías cada vez más complejas.

INTEGRACIÓN EN SISTEMAS DE SALUD Y EVIDENCIA CLÍNICA

Las aplicaciones más avanzadas de las BCI se concentran actualmente en el ámbito de la salud, en particular en la rehabilitación neurológica y la asistencia a personas con discapacidad. Su desarrollo plantea interrogantes concretos sobre la capacidad de los sistemas de salud de la región para incorporar tecnologías de alta complejidad, no solo desde el punto de vista técnico, sino también organizacional, financiero y regulatorio.

En América Latina y el Caribe, estos desafíos se ven acentuados por la fragmentación de los sistemas de salud, las brechas en el acceso y la limitada disponibilidad de servicios especializados. La incorporación de BCI requiere, además de infraestructura tecnológica, el desarrollo de capacidades clínicas específicas, la formación interdisciplinaria de profesionales y la adaptación de los modelos de atención para integrar este tipo de soluciones de manera efectiva. A esto se suma la necesidad de definir criterios de priorización y cobertura, considerando su alto costo y el potencial impacto en términos de calidad de vida.

En este contexto, la generación de evidencia local adquiere un rol central. Las condiciones epidemiológicas, institucionales y socioeconómicas de la región difieren de aquellas en las que se desarrollan y validan inicialmente estas tecnologías, lo que hace imprescindible evaluar su efectividad clínica, costo-efectividad

y viabilidad operativa en contextos específicos. Esto incluye el diseño de estudios clínicos regionales, el fortalecimiento de agencias de evaluación de tecnologías sanitarias y la incorporación de datos del mundo real para orientar la toma de decisiones.

En conjunto, estos elementos refuerzan la importancia de articular la investigación clínica con las políticas de salud, promoviendo una integración gradual y estratégica de las BCI dentro de sistemas sanitarios que ya enfrentan múltiples presiones. Más que una adopción aislada, se trata de incorporar estas tecnologías en el marco de estrategias más amplias de fortalecimiento del sistema, que contemplen sostenibilidad financiera, equidad en el acceso y mejora continua en la calidad de la atención.

ECOSISTEMAS DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO PRODUCTIVO

El desarrollo de las BCI pone de relieve el rol de los ecosistemas de innovación como espacios donde convergen capacidades científicas, emprendimiento y desarrollo productivo. En América Latina y el Caribe, estos ecosistemas presentan niveles heterogéneos de madurez: si bien se observan avances en sectores digitales, persisten rezagos en áreas intensivas en ciencia, como la neurotecnología, que requieren mayores inversiones, infraestructura especializada y articulación interdisciplinaria.

La naturaleza de las BCI tensiona los modelos tradicionales de emprendimiento en la región. Estas exigen desarrollos con ciclos largos, alta incertidumbre tecnológica y fuertes requerimientos de capital, lo que demanda instrumentos de financiamiento más sofisticados, como capital paciente, fondos público-privados o esquemas de coinversión, y marcos que faciliten la transferencia efectiva de conocimiento desde la academia hacia el sector productivo. Asimismo, la disponibilidad de entornos de prueba, capacidades regulatorias y acceso a mercados resulta clave para escalar este tipo de innovaciones.

Al mismo tiempo, este campo abre oportunidades para la diversificación productiva, al habilitar la emergencia de nuevas industrias vinculadas a la salud digital, los dispositivos médicos avanzados y la IA. La consolidación de estos sectores dependerá en gran medida de la capacidad de articular políticas de innovación con estrategias de desarrollo económico, promoviendo encadenamientos productivos, desarrollo de proveedores y la inserción en cadenas de valor globales.

ESTÁNDARES ÉTICOS Y GOBERNANZA REGIONAL

Las BCI plantean la necesidad de avanzar en marcos éticos y de gobernanza que trasciendan las fronteras nacionales. Dado el carácter global de la innovación tecnológica, la ausencia de estándares comunes puede derivar en fragmentación normativa, incertidumbre para los actores y riesgos en la protección de derechos fundamentales.

En América Latina y el Caribe, la construcción de enfoques regionales adquiere especial relevancia, tanto para fortalecer capacidades como para posicionar a la región en los debates internacionales sobre la gobernanza de la neurotecnología. Esto implica no solo adoptar estándares globales, sino también adaptarlos a los contextos locales, considerando particularidades institucionales, regulatorias y sociales.

Asimismo, la dimensión ética, incluyendo aspectos como la privacidad mental, la autonomía, la identidad y la equidad, requiere ser integrada de manera transversal en las políticas públicas. Avanzar en esta dirección supone pasar de enfoques reactivos a marcos anticipatorios, capaces de identificar riesgos emergentes y orientar el desarrollo tecnológico hacia objetivos socialmente deseables.

COOPERACIÓN INTERNACIONAL

El desarrollo de las BCI pone de relieve la importancia de la cooperación internacional como mecanismo para acceder a conocimiento, recursos y capacidades que difícilmente puedan desarrollarse de manera aislada. La complejidad técnica y el carácter interdisciplinario de estas tecnologías hacen que la colaboración entre países, instituciones y sectores sea un componente central para su avance.

Para América Latina y el Caribe, la cooperación representa no solo una vía de integración en redes globales de innovación, sino también una herramienta para reducir brechas y fortalecer capacidades endógenas. La participación en iniciativas internacionales puede facilitar el acceso a infraestructura de investigación, la formación de talento especializado y la transferencia de tecnología, así como el desarrollo de estándares comunes.

En este contexto, los organismos multilaterales desempeñan un rol estratégico en la articulación de agendas regionales, la movilización de recursos y la generación de conocimiento. Su capacidad para actuar como puente entre países, sectores y disciplinas resulta particularmente relevante en un campo emergente y altamente complejo como el de las interfaces cerebro-computadora, donde la coordinación y la cooperación son condiciones clave para un desarrollo equilibrado y sostenible.

Las interfaces cerebro-computadora (BCI) se consolidan como una de las tecnologías emergentes más relevantes en la intersección entre neurociencia, inteligencia artificial y sistemas digitales. A lo largo de este reporte se ha evidenciado que su desarrollo no solo implica avances técnicos significativos, sino también la apertura de una nueva capa de interacción entre los seres humanos y las tecnologías, con implicancias profundas para múltiples sectores.

En primer lugar, las BCI representan un salto cualitativo en la evolución de las interfaces humano-máquina, al permitir la traducción directa de la actividad neuronal en comandos digitales. Este cambio amplía el horizonte de lo posible en términos de interacción, superando las limitaciones de los canales tradicionales —como el teclado, la voz o el tacto— y habilitando nuevas formas de comunicación y control basadas en la actividad cerebral.

En segundo lugar, su impacto potencial en áreas críticas como la salud, la inclusión y la productividad es particularmente significativo. En el ámbito de la salud, las BCI ya están demostrando capacidad para mejorar la calidad de vida de personas con discapacidades neurológicas, facilitando la recuperación de funciones motoras, la comunicación en pacientes con parálisis y el tratamiento de trastornos neurológicos y psiquiátricos. Estas aplicaciones no solo tienen efectos clínicos, sino también sociales, al contribuir a una mayor autonomía e inclusión.

Más allá de la salud, las BCI comienzan a proyectarse hacia aplicaciones en productividad, educación e interacción con sistemas digitales avanzados. Si bien muchas de estas aplicaciones se encuentran aún en etapas tempranas, su desarrollo sugiere la posibilidad de entornos de trabajo más adaptativos, sistemas de aprendizaje personalizados y nuevas formas de colaboración entre humanos y sistemas de inteligencia artificial.

Sin embargo, este potencial transformador está acompañado de desafíos significativos. Como se ha analizado, las BCI introducen riesgos en materia de privacidad, seguridad, regulación y equidad, que requieren respuestas anticipatorias desde las políticas públicas y los marcos de gobernanza. La gestión de datos neuronales, la protección de la autonomía individual y la garantía de acceso equitativo se perfilan como aspectos centrales en la agenda futura de esta tecnología.

En este contexto, el rol de América Latina y el Caribe se define en un equilibrio entre desafíos estructurales y oportunidades emergentes. Por un lado, la región enfrenta limitaciones en términos de capacidades científicas, financiamiento e infraestructura tecnológica. Por otro, cuenta con activos relevantes —como sistemas académicos en desarrollo, experiencia en salud pública y ecosistemas de innovación en expansión— que pueden constituir una base para su participación en este campo.

Más que posicionarse únicamente como adoptante de tecnologías desarrolladas en otros contextos, la región tiene la oportunidad de definir un enfoque propio, orientado a aprovechar las BCI en función de sus prioridades de desarrollo. Esto implica no solo incorporar estas tecnologías en sistemas de salud y políticas de inclusión, sino también fortalecer capacidades locales, promover la investigación y participar en la construcción de marcos regulatorios y éticos a nivel internacional.

Asimismo, el papel de organismos multilaterales como el Banco Interamericano de Desarrollo resulta clave para articular esfuerzos, movilizar recursos y generar conocimiento que permita orientar el desarrollo de la neurotecnología en la región. Su capacidad para integrar perspectivas sectoriales —salud, innovación, regulación— posiciona a estos actores como facilitadores de una agenda regional coherente y sostenible.

En perspectiva, las interfaces cerebro-computadora no deben entenderse únicamente como una tecnología emergente, sino como parte de una transformación más amplia en la relación entre lo humano y lo digital. Su evolución dependerá no solo de avances científicos y tecnológicos, sino también de las decisiones que se adopten en materia de políticas públicas, regulación y gobernanza.

En este sentido, el desafío para América Latina y el Caribe no es solo acompañar esta transformación, sino participar activamente en su configuración, asegurando que el desarrollo de las BCI contribuya a objetivos de inclusión, bienestar y desarrollo sostenible.

- 1** Alcaide, A. (2023). Ethical implications of brain-computer interfaces. *Journal of Neural Engineering*.
- 2** BrainGate Consortium. (2021). High-performance brain-to-text communication via handwriting decoding. *Nature*. <https://www.nature.com/articles/s41586-021-03506-2>
- 3** Foro Económico Mundial (2023). Neurotechnology: Transforming brain data into insights. <https://www.weforum.org/agenda/2023/11/neurotechnology-brain-data-ethics/>
- 4** Foro Económico Mundial (2026). How can we achieve the responsible development of brain-computer interfaces. <https://www.weforum.org/stories/2026/01/how-we-can-achieve-the-responsible-development-of-brain-computer-interfaces/>
- 5** Organización Mundial de la Salud (2021). Global strategy on digital health 2020–2025. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240029200>
- 6** Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (2019). Recommendation on Responsible Innovation in Neurotechnology. <https://www.oecd.org/science/recommendation-on-responsible-innovation-in-neurotechnology.htm>
- 7** UNESCO (2021). Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137>
- 8** UNESCO (2023). Ethics of Neurotechnology: UNESCO adopts first global standard. <https://www.unesco.org/en/articles/ethics-neurotechnology-unesco-adopts-first-global-standard-cutting-edge-technology>
- 9** Massachusetts Institute of Technology (MIT). (2024). Non-invasive brain-computer interface enables control of robotic systems. <https://news.mit.edu/>
- 10** Tsinghua University. (2023). Hybrid EEG-fNIRS system for detection of consciousness. *Science Advances*.
- 11** University of California, San Francisco (UCSF). (2022). Closed-loop brain stimulation for depression. *Nature Medicine*. <https://www.nature.com/articles/s41591-021-01635-6>
- 12** Zhejiang University. (2020). Brain-computer interface enables tetraplegic patient to control robotic arms. *Science Robotics*.
- 13** Blackrock Neurotech. (2024). Clinical applications of brain-computer interfaces. <https://blackrockneurotech.com>
- 14** Neuralink. (2023–2025). Clinical trials and regulatory approvals. <https://neuralink.com>
- 15** Synchron. (2022–2024). Stentrode clinical studies and FDA approvals. <https://synchron.com>
- 16** Precision Neuroscience. (2025). Layer 7 cortical interface and FDA clearance. <https://precisionneuro.io>
- 17** Paradromics. (2025). Connexus brain-computer interface clinical milestone. <https://paradromics.com>
- 18** OpenAI & Merge Labs. (2026). Investment in non-invasive brain-computer interfaces. Financial press coverage.
- 19** ScienceDirect. (2023). Advances in brain-computer interfaces and clinical translation. <https://www.sciencedirect.com>
- 20** IONOS Digital Guide. (2023). Brain-computer interfaces: Function and applications. <https://www.ionos.com/digitalguide/websites/web-development/brain-computer-interface/>
- 21** École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). (2024). Walking naturally after spinal cord injury using a brain-spine interface. *Nature*. <https://www.nature.com/articles/s41586-023-06094-5>
- 22** Stanford University. (2023). Brain-computer interface enables rapid speech decoding in paralyzed patients. <https://med.stanford.edu/news>

