

# APLICACIÓN DE LAS NEUROTECNOLOGÍAS A LA COGNICIÓN Y EL COMPORTAMIENTO SOCIAL

● Carolina Gutiérrez de Piñeres Botero\*  
Jairo Alberto Díaz Perdomo\*\*

\* Doctora en Psicología con Orientación en Neurociencia Cognitiva Aplicada. Magister en Psicología Jurídica. Psicóloga y neuropsicóloga forense. Presidenta y miembro fundadora de la FNAD.  
Correo: carolinagtzdepineresb@gmail.com

\*\* Licenciado en Administración e Ingeniería. Especialista en Gerencia de Tecnología. Magister en Gestión Organizacional y doctor en Ciencias Empresariales. Es miembro fundador de la FNAD. Actualmente se desempeña como consultor e investigador de organismos privados y públicos en Latinoamérica.  
Correo: jairoa.diazp@gmail.com

# PALABRAS CLAVE

# KEYWORDS

- CBI
- BCI
- Salud mental
- Mejora cognitiva

*CBI*

*BCI*

*Mental health*

*Cognitive enhancement*

- Fecha de recepción: 17 de julio de 2023
- Fecha de aceptación: 19 de julio de 2023
- DOI: 10.57042/rmcp.v7i21.676

**Resumen:** En esta revisión se propone realizar una exploración sobre las neurotecnologías que se han desarrollado o que están en curso de desarrollo en seres humanos, en el marco de las neurociencias cognitivas, sociales y afectivas para conocer, analizar e influir sobre las regiones del cerebro involucradas en la cognición y el comportamiento social, como los simuladores de modelos neuronales, las tecnologías para analizar la actividad cerebral, el desarrollo de drogas y tecnología para el diagnóstico de patologías que afectan el funcionamiento del cerebro; neurotecnologías que permiten influir y manipular la actividad cerebral, así como los *hardware* y *software* para estudiar el cerebro.

**Abstract:** In this review it is proposed to explore the neurotechnologies that have been developed or are in the process of being developed in humans, within the framework of cognitive, social and affective neurosciences, in order to understand, analyze and influence the brain regions involved in cognition and social behavior, such as neural model simulators; technologies to analyze brain activity; the development of drugs and technology for the diagnosis of pathologies that affect the functioning of the brain; neurotechnologies that make it possible to influence and manipulate brain activity; as well as the hardware and software to study the brain.

## SUMARIO:

**I. Introducción. II. Importancia del estudio del comportamiento y la cognición social en la era de las neurotecnologías. III. Neurotecnologías para el estudio, observación y análisis de la actividad cerebral durante las interacciones sociales. IV. Aplicaciones de las tecnologías de la neurociencia para la mejora y el aumento de las capacidades humanas. V. Consideraciones éticas en el uso de las neurotecnologías aplicadas a la cognición social. VI. Conclusiones. VII. Fuentes de consulta.**

---

## I. INTRODUCCIÓN

En el campo de la salud mental, los avances en neurociencia han impulsado la aplicación de tecnologías innovadoras para observar o influir la actividad cerebral. Un número significativo de estudios se ha enfocado en investigar el potencial de las neurotecnologías para analizar e influir sobre el funcionamiento de la memoria, la atención, la planeación, la toma de decisiones individuales, el aprendizaje, entre otras funciones cognitivas básicas y avanzadas (Ienca y Andorno, 2017; Pedro, 2012; Lynch, 2004).

Menos investigaciones se han llevado a cabo en seres humanos sobre otro conjunto de funciones que son relevantes para el funcionamiento de las personas en un mundo social (Meenan y Lindsay, 2002), como la capacidad de formar vínculos, la toma de decisiones sociales, la comunicación social y la empatía, y gran parte de la información que se tiene hoy en día en este campo proviene del estudio de animales que llevan a cabo comportamientos sociales, o de estudios en humanos donde se investigan las bases neuronales de los individuos que interactúan, pero estudiando los cerebros de forma aislada y la cognición social desde el punto de vista de un observador, en lugar de estudiarla desde el punto de vista de las personas que interactúan (Pfeiffer, Timmermans, Vogeley, Frith y Schilbach, 2013).

Si bien, las funciones cognitivas básicas y avanzadas son importantes para los seres humanos, las funciones de cognición social parecen imprescindibles para dar sentido a un mundo dinámico y constantemente cambiante (Yeshurun, Nguyen y Hasson, 2021), para el bienestar y la calidad de vida de las personas, derivada de su estrecha relación con las necesidades básicas de autonomía, competencia y relación (Chan, Zhang, Lee y Hagger, 2020; Ryan y Deci, 2013; Andersen, Chen y Carter, 2000).

Por lo tanto, ampliar el conocimiento y la neurotecnología en este aspecto podría tener un impacto significativo para el campo de la criminología, el derecho penal, la psiquiatría, la psicología y la neurología (Borbón y Muñoz, 2023).

En tanto, un significativo número de psicopatologías y afectaciones a la salud mental involucran deficiencias o fallos en uno o varios de los subdominios de la cognición social, lo cual afecta significativamente su capacidad de autodeterminación (Kekäläinen *et al.*, 2022; Conner y Norman, 2015; Andersen, Chen y Carter, 2000) y la capacidad para integrar información que proviene del mundo externo con el conocimiento previo para sentir, percibir e interpretar lo que está sucediendo en el mundo, lo que sucedió antes en el mundo y lo que somos frente a esa información (Yeshurun, Nguyen y Hasson, 2021), lo que hace que el mundo sea incontrolable, impredecible y caótico (Feldman y Shenhav, 2019), así como para tomar decisiones en las que se deben ponderar diferentes derechos propios y de otros, o regular conductas impulsivas que afecten el bienestar de las personas con quienes se interactúa (Bland *et al.*, 2016; Cotter, Granger, Backx, Hobbs, Looi y Barnett, 2018).

En primer lugar, discutimos la importancia del estudio del comportamiento y la cognición social en la era de las neurotecnologías. En segundo lugar, presentamos las principales tecnologías invasivas y no invasivas de la neurociencia utilizadas para estudiar, observar y analizar la actividad cerebral durante las interacciones sociales. En tercer lugar, exponemos las principales neurotecnologías diseñadas pensando en el aumento o mejoramiento cognitivo y comportamental social humano. Al final se presentará una breve discusión sobre las implicaciones éticas de estas neurotecnologías.

Generalmente, los estudios que buscan describir el funcionamiento cerebral de dos o más participantes con el uso de las interfaces cerebro-computadora (BCI, por sus siglas en inglés), y de interfaces computadora-cerebro no invasivas (CBI), también describen cómo las neurotecnologías pueden aumentar o mejorar el rendimiento cognitivo y comportamental social humano; por ello, algunos de los estudios serán presentados en los apartados segundo y tercero de este artículo para una mayor comprensión y un mejor análisis.

## II. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO Y LA COGNICIÓN SOCIAL EN LA ERA DE LAS NEUROTECNOLOGÍAS

Somos seres sociales y la pandemia por COVID-19 puso en evidencia el gran impacto que tienen las interacciones sociales y el aislamiento social sobre la salud física y mental (Bzdok y Dunbar, 2022).

La teoría de la autodeterminación (SDT) de Deci y Ryan (2000), que enfatiza sobre las necesidades humanas básicas de autonomía, competencia y relación como un factor clave del comportamiento motivado, señala que las motivaciones por las cuales las personas pueden actuar puede estar influenciada por factores intrínsecos y extrínsecos, ambos con implicaciones para el desempeño y el bienestar de los seres humanos. Dentro de los factores extrínsecos, los contextos sociales, tanto proximales como distales, respaldan las necesidades psicológicas básicas y crean entornos que conducen a una mayor percepción de la satisfacción de las necesidades, y por ello, a una mayor percepción de bienestar. Pero estos contextos no simplemente nos suceden, sino que también son construidos por nosotros mismos, gracias a que los seres humanos tenemos competencias cognitivas que nos permiten la construcción y el mantenimiento de lazos sociales (Brewer y Caporael, 2006), con el fin de que los seres humanos podamos actuar con y en nombre de los demás (Tomasello, 2009; Wu y Su, 2014).

Por ello, un funcionamiento intacto y adecuado de los procesos de cognición social garantiza nuestras posibilidades de autonomía, competencia y relación (Ryan y Deci, 2013; Andersen, Chen y Carter, 2000), así como una óptima calidad del apoyo social a través del desarrollo de comportamientos prosociales, como garantía de nuestra supervivencia por especie y de nuestra realización personal (Ryan, Huta y Deci, 2008).

Por lo tanto, si existe un interés en influir en la mejora cognitiva de los seres humanos, debería existir una mayor preocupación por influir en la mejora cognitiva social, sin dejar de lado las implicaciones éticas que ello podría generar, como lo han señalado Borbón y Muñoz (2023).

### III. NEUROTECNOLOGÍAS PARA EL ESTUDIO, OBSERVACIÓN Y ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD CEREBRAL DURANTE LAS INTERACCIONES SOCIALES

Las neurociencias tradicionalmente han estado interesadas en el estudio de las funciones cognitivas individuales básicas y avanzadas como la memoria, las funciones ejecutivas y la atención. Con la emergencia de las neurociencias social y afectiva, se ha ampliado el interés por comprender la comunicación cerebro a cerebro, cómo el cerebro regula el comportamiento social y cómo dichos comportamientos, a su vez, influyen en el cerebro y la biología. Estas investigaciones abordan temas como la agresión (Lasko, Dagher, West y Chester, 2022); el apareamiento, la formación de vínculos sociales (Nair y Chang, 2022); la cognición social (Kelsen, Sumich, Kasabov, Liang y Wang, 2022); la cooperación y el altruismo (Güroğlu y Veenstra, 2021).

Las principales aplicaciones de las neurotecnologías para el estudio, observación y análisis de la actividad cerebral durante las interacciones sociales derivan del uso de BCI y CBI. La BCI combina neurotecnologías e inteligencia artificial (IA), permite un canal de comunicación directo entre un cerebro y un dispositivo externo o la comunicación cerebro a cerebro (Cinell, Valeriani y Poli, 2019; Wang y Jung, 2011). Recientemente, comienzan a involucrarse técnicas de hiperescaneo que pueden actuar como un nuevo enfoque para responder preguntas sobre el cerebro social (Babiloni y Astolfi, 2014; Misaki *et al.*, 2021; Kelsen, Sumich, Kasabov, Liang y Wang, 2022).

Wang y Jung (2011) llevaron a cabo un experimento de planificación de movimiento utilizando el método de votación, emplearon BCI colaborativo mediante la integración de información de múltiples usuarios, con el fin de comparar las precisiones de clasificación de la BCI colaborativa y de un solo usuario aplicada a los datos del EEG recopilados de 20 participantes. Encontraron que la precisión de la clasificación para predecir direcciones de movimiento aumentó en la medida en que se incrementó el número de participantes.

Sus resultados sugieren que una BCI colaborativa puede reunir datos de forma eficaz sobre las actividades cerebrales de varios participantes, con el fin de obtener un promedio de potenciales relacionados con eventos (ERP), concatenación de características y votación. Además, observaron que probablemente existe una mayor participación de la corteza parietal posterior

(PPC) en la decisión de alcanzar la dirección entre 100 y 250 ms antes de la respuesta motora real del sujeto al decodificar las actividades ERP, relacionadas con el procesamiento de la transmisión visomotora.

Yoo *et al.* (2013) desarrollaron el primer sistema no invasivo para la comunicación de cerebro a cerebro, con potencial en aplicaciones terapéuticas, utilizando BCI basado en una ráfaga de ultrasonido transcraneal a través de frecuencia de ultrasonido (FUS) para establecer de manera no invasiva un vínculo funcional entre los cerebros de diferentes especies (humanos y ratas Sprague-Dawley), creando así una interfaz cerebro a cerebro (BBI). La intención del participante humano se midió con el grado de sincronización en los potenciales evocados visuales de estado estacionario electroencefalográfico (SSVEP).

Rao (2013) presentó la primera interfaz no invasiva que combinaba electroencefalografía (EEG) y estimulación magnética transcraneal (TMS). En el 2014, Rao *et al.* describieron la primera interfaz directa de cerebro a cerebro en humanos para llevar a cabo una tarea visomotora cooperativa, y posteriormente describir la forma en la que se decodifican señales en un remitente y cómo se genera una respuesta motora en un receptor, posterior a una estimulación. A través de una tarea visomotora, dos participantes debían cooperar a través de una comunicación directa de cerebro a cerebro para lograr un objetivo deseado en un juego de computadora. La interfaz de cerebro a cerebro detecta imágenes motoras en señales EEG registradas de un participante remitente, y transmite esta información a través de Internet a la región de la corteza motora de un receptor, con el fin de lograr la respuesta motora de pulsación en un panel táctil a través de TMS. Estos resultados aportan evidencia sobre la forma en la que se transmite información de un cerebro humano a otro utilizando medios no invasivos.

De otro lado, Grau *et al.* (2014) usaron BCI, CBI y EEG para estudiar la hiperinteracción en la comunicación de cerebro a cerebro en humanos (B2B). Demostraron la transmisión consciente de información entre cerebros humanos a través del cuero cabelludo intacto y sin intervención de sistemas sensoriales periféricos o motores. Sus resultados proporcionan una demostración fundamental de prueba de principio para el desarrollo de tecnologías de comunicación B2B conscientes, que pueden tener un impacto significativo en nuevas vías de investigación en neurociencia cognitiva, social y clínica, así como en el estudio científico de la conciencia.

BrainNet fue una de las primeras interfaces directas de cerebro a cerebro no invasiva para estudiar la interacción de más de dos personas en la

resolución colaborativa de problemas. Esta interfaz combina electroencefalografía (EEG) y estimulación magnética transcraneal (TMS) para evaluar, en diferentes rondas de juego, la forma en que los participantes colaboran para resolver un juego similar al de Tetris.

En esta interfaz se miden con EEG las señales cerebrales en tiempo real de dos de los tres participantes, denominados “remitentes”, a quienes se les asigna la tarea de rotar un bloque en un juego tipo Tetris antes de que se suelte para llenar una línea. Las decisiones de los remitentes se transmiten a través de Internet, con estimulación magnética de la corteza occipital del tercer participante, llamado “receptor”, que no puede ver la pantalla del juego. Este participante debe integrar la información recibida de los dos remitentes y a través de una interfaz EEG se mide la decisión sobre girar el bloque o mantenerlo en la misma orientación. En una segunda ronda, quienes remiten la información pueden enviar comentarios al cerebro del receptor con el fin de que rectifique cuando la decisión tomada en la primera ronda fue incorrecta.

Los resultados de este estudio antes descrito sirven de base para el diseño de futuras interfaces de cerebro a cerebro, donde se estudie la resolución cooperativa de problemas por parte de los humanos utilizando una “red social” de cerebros conectados (Jiang *et al.*, 2019).

Babiloni y Astolfi (2014) revisaron las metodologías de hiperescaneo utilizando modalidades hemodinámicas o neuroeléctricas y describieron varios de los paradigmas experimentales para obtener información sobre lo que ocurría en el cerebro durante las interacciones humanas.

El hiperescaneo es una técnica que permite el registro simultáneo de la actividad cerebral de diferentes personas, así como el estudio de las correlaciones intercerebrales entre la actividad cerebral de un grupo de personas que interactúan como un sistema único. Uno de los aspectos más novedosos de estas metodologías es la inclusión de una perspectiva ecológica en el diseño de los experimentos, que permite tener mayor claridad de lo que ocurre fuera del laboratorio en las interacciones sociales de la vida real.

## IV. APLICACIONES DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA NEUROCIENCIA PARA LA MEJORA Y EL AUMENTO DE LAS CAPACIDADES HUMANAS

En este apartado se presentan los resultados de algunas neurotecnologías que pueden mejorar las capacidades cognitivas cuando se involucran dos o más participantes, a través de la fusión de información de múltiples mentes con un modo estático y unidireccional, sin interacción de información, guía de aprendizaje entre múltiples agentes y objetivos visuales dinámicos.

A través de este tipo de estudios, los investigadores evalúan las posibilidades que ofrecen las BCI colaborativas, integrando experiencias perceptivas, intenciones y decisiones de múltiples participantes que, sin comunicarse directamente, logran un rendimiento conjunto mejorado en comparación con los sistemas de un solo usuario. Estos estudios evidencian que la integración neuronal colectiva muestra ahorros de tiempo de decisión superiores a los individuales, así como una mejora del rendimiento. Aún faltan estudios sobre cómo estas interfaces pueden mejorar la cognición social y el comportamiento prosocial. Eckstein *et al.* (2012), sostuvieron que

... las decisiones grupales e incluso la agregación de múltiples opiniones conducen a una mayor precisión en las decisiones, un fenómeno conocido como sabiduría colectiva... La actividad neuronal relacionada con los sentidos puede predecir las elecciones colectivas alcanzadas al agregar opiniones individuales, resultados... confianza en la decisión con tanta precisión como la actividad neuronal relacionada con los componentes de la decisión. La estimación del potencial del colectivo para ejecutar decisiones rápidas mediante la combinación de información en numerosos cerebros, una estrategia que prevalece en muchos animales, muestra un gran ahorro de tiempo. (p. 94)

La cognición aumentada, la mejora cognitiva o la neuromejora cognitiva, muy debatida en diferentes ámbitos (Graf *et al.*, 2013), se define como el uso de drogas estimulantes o de neurotecnologías, como la estimulación magnética transcraneal y las interfaces cerebro-computadora, para potenciar o mejorar el funcionamiento cognitivo (Farahany *et al.*, 2018), a veces más allá del rango humano existente (Moore, 2008), en personas con un funcionamiento cognitivo normal o saludable (Farah, 2015), aprovechando las herramientas y los hallazgos de las neurociencias.

Las principales aplicaciones de las neurotecnologías para el aumento cognitivo humano provienen de la neuroergonomía y las interfaces cerebro-computadora (BCI). La primera explora los mecanismos neuronales y cognitivos relacionados con el desempeño humano en el lugar de trabajo y en tareas cotidianas, con el fin de diseñar sistemas que permitan un desempeño más seguro y eficiente, y se ha utilizado principalmente para la rehabilitación. De otro lado, la interfaz cerebro-computadora (BCI por sus siglas en inglés), en la que se combinan neurotecnologías e inteligencia artificial (IA), permite un canal de comunicación directo entre un cerebro y un dispositivo externo, o entre dos o más cerebros, y se utilizan para compensar la funcionalidad que se ha perdido o que no se tiene, y sobre todo para mejorar la toma de decisiones en personas con discapacidad (Cinell, Valeriani y Poli, 2019).

El experimento de Wang y Jung (2011), explicado en el apartado anterior, también llevó a la conclusión de que una BCI colaborativa puede reunir datos de forma eficaz, sobre las actividades cerebrales de varios participantes, con el fin de mejorar el rendimiento general del comportamiento humano natural.

Eckstein *et al.* (2012) usaron EEG y computación multicerebral con 20 participantes humanos que desconocían el propósito del estudio, debían llevar a cabo una tarea visual. El objetivo era demostrar que la combinación de la actividad neuronal en los cerebros humanos, que participa conjuntamente en una tarea de toma de decisiones, aumenta la precisión de las decisiones.

Song *et al.* (2022) realizaron un estudio usando un experimento de detección visual dinámica de objetivos basada en BCI, a través de una red de adaptación de dominio de aprendizaje mutuo (MLDANet) con interacción de información, aprendizaje dinámico, habilidades de transferencia individuales y toma de decisiones colaborativa en el nivel de decisión neuronal.

A un total de 29 participantes se les presentaron cuatro módulos, con proyección de videos de vehículos aéreos no tripulados (UAV) que sirvieron como estímulos; adquisición sincrónica que recopiló las señales EEG de los participantes con sincronización de tiempo; procesamiento de datos para obtener épocas de EEG filtradas y libres de artefactos para ensayos de objetivo y no objetivo; y clasificación, como el núcleo del marco CBCI, donde se propone una red de adaptación de dominio de aprendizaje mutuo (MLDANet) para mejorar el rendimiento de detección de grupos. Los resultados

mostraron que se puede mejorar el rendimiento de detección de grupo y la capacidad de detección de redes individuales. Este experimento acaba con el modo de colaboración multimente tradicional y exhibe un rendimiento de detección de grupo superior de objetivos visuales dinámicos.

Salvatore, Valeriani, Piccialli y Bianchi (2022) llevaron a cabo uno de los primeros estudios para la aplicación de BCI colaborativas óptimas en escenarios realistas caracterizados por equipos estables. Recopilaron datos neuronales y de comportamiento mientras 10 participantes sanos realizaban una tarea de toma de decisiones de reconocimiento facial, con el fin de maximizar el rendimiento de la decisión grupal, adaptando los decodificadores de confianza EEG a la composición del grupo. A través de BCI colaborativas optimizadas, se ponderaron las decisiones de cada participante, de acuerdo con la actividad neuronal individual y la composición del grupo. Los resultados evidencian que las BCI colaborativas óptimas mejoraron significativamente el rendimiento del equipo sobre otras BCI, así como la equidad dentro del grupo, lo cual podría tener un beneficio sobre la dinámica de grupos.

Chen, W. J. y Lin, Y. P. (2023) cuantificaron el rendimiento de BCI en escenarios colaborativos y del cerebro de un solo participante, aplicando información recopilada durante diez días del cerebro de tres participantes, aplicando hiperescaneo del electroencefalograma (EEG), personalizada y de bajo costo, con una tarea de diferenciación de objetivo-distractor. Mostraron que esta técnica puede mejorar la tasa de transferencia de información (ITR), y mostró cómo la decisión de cBCI aumentó el tiempo real de pulsación de botón. Estos resultados sugieren que una infraestructura de hiperescaneo personalizada y de bajo costo puede tener beneficios sobre las aplicaciones de múltiples cerebros en un grupo más grande.

Weekes y Eskridge (2022) diseñaron un prototipo funcional para probar supuestos y realizar una evaluación integral del diseño, usando como metodología el pensamiento de diseño. Incorporaron una interfaz de usuario gamificada con elementos visuales, prestaciones y una experiencia humana-IA coherente. Este diseño tenía como objetivo que con el prototipo se pudiera probar que se podía mejorar el rendimiento del flujo y el bienestar cognitivo de los trabajadores del conocimiento (*knowledge workers* [KW], por sus siglas en inglés o trabajadores, cuyo principal capital es el conocimiento), a través de una mentalidad que favorecía la empatía, la confianza creativa y la ambigüedad para descubrir y definir los problemas que enfrentan los KW.

## V. CONSIDERACIONES ÉTICAS EN EL USO DE LAS NEUROTECNOLOGÍAS APLICADAS A LA COGNICIÓN SOCIAL

Borbón y Muñoz (2023) plantean un debate sobre la equidad en el acceso inclusivo y democrático a las neurotecnologías de mejora cognitiva y se preguntan si: “¿Agregar habilidades o aumentar cuantitativamente una habilidad específica existente traerá beneficios reales a las vidas individuales y las relaciones interpersonales entre los ciudadanos mejorados, o se debe usar la EN para la modificación, no para el aumento de habilidades?” (p. 1094).

Si consideramos que la cognición social tiene un impacto generalmente positivo para el funcionamiento social de las personas, así como para la construcción de relaciones sociales, en tanto influyen en los comportamientos prosociales, como ayudar, consolar, agradecer y compartir (Dovidio, Piliavin, Schroeder y Penner, 2017), lo que repercute sin lugar a dudas sobre su bienestar personal y social (Hui, Ng, Berzaghi, Cunningham-Amos y Kogan, 2020; Weinstein y Ryan, 2010), el uso de neurotecnologías que favorezcan una mejora de la cognición social, seguramente repercutirá en muchos aspectos de la vida social y de las interacciones sociales.

No obstante, como presentamos en esta revisión, la investigación sobre neurotecnologías aplicadas a la cognición social y a la comprensión de cómo funcionan los cerebros cuando interactúan entre sí es muy incipiente —entre otros factores— porque solo recientemente se están diseñando herramientas que permitan estudiar lo que ocurre en el cerebro cuando interactúan dos o más cerebros, cuando dos o más cerebros interactúan con un ordenador y cuando dos o más cerebros interactúan con dos o más ordenadores, lo que es significativamente diferente cuando se tratan de estudiar las funciones cognitivas y el mejoramiento cognitivo en individuos que no interactúan entre sí, sino que usan sus funciones cognitivas, como la memoria o las funciones ejecutivas para resolver un problema (Gao, Wang, Chen y Gao, 2021; Valeriani, Cinel y Poli, 2019).

Por ende, el debate ético por ahora debe centrarse en los estándares éticos que deben cumplir las investigaciones orientadas a estudiar cómo las neurotecnologías pueden aportarnos conocimientos sobre la cognición social, si estas tienen el potencial de una mejora de la cognición social, así como anticipar los problemas éticos que supondrá la aplicación de estas neurotecnologías en la práctica médica y de salud mental.

## VI. CONCLUSIONES

Si bien el uso de la neurotecnología plantea varios debates a nivel ético, lo cierto es que falta mucha evidencia para comprender empíricamente los efectos positivos o negativos que favorecen la mejora cognitiva fuera del laboratorio y más aún cuando se trata de la mejora cognitiva y comportamental social.

Estudiar la cognición y el comportamiento social supone diversos retos que aún no se superan, aunque es importante señalar que los estudios seleccionados para esta exploración incluyeron el punto de vista de los interactores, lo que supone un avance en la forma en la que se estudia lo que ocurre en el cerebro de las personas durante una interacción social, y que existen diferencias cuando las personas están activamente comprometidas con otras en una interacción social.

Generalmente, las investigaciones de los fenómenos tradicionales estudiados por las neurociencias se llevan a cabo en un solo nivel, pero los constructos relacionados con la cognición social suelen identificarse en más de un nivel y ocurrir de forma simultánea (Ochsner y Lieberman, 2001); las interacciones humanas pueden llevarse a cabo en encuentros cara a cara o a distancia a través de métodos de comunicación interpersonal remota, como videollamadas y redes sociales (Sjølie, Espenes y Buø, 2022); los estímulos no sociales se procesan de forma diferente a los estímulos sociales; la cognición social puede variar dependiendo de las interacciones que se establecen en situaciones particulares (Padilla-Coreano, Tye y Zelikowsky, 2022); los procesos de cognición social se vuelven más complejos a medida que incrementa el número de personas que están involucradas en una interacción (Ren, Stavrova y Loh, 2022). En consecuencia, muchos estudios pueden perder validez ecológica, limitando el progreso de los avances de la neurotecnología aplicada a la cognición social.

En la revisión llevada a cabo por Roelfsema, Denys y Klink (2018), se describieron los usos, alcances y límites de algunos de los métodos invasivos y no invasivos para obtener información sobre el proceso de la teoría de la mente (TDM), como la electroencefalografía (EEG), la resonancia magnética funcional (fMRI) y la espectroscopía de infrarrojo cercano. Los resultados de esta revisión señalan el reto que supone la mejora cognitiva en procesos como la lectura de la mente, usando BCI, pero aún falta mayor investigación en otros de los subdominios de la cognición social.

De las técnicas exploradas, una de las que tiene mayor potencial para estudiar con mayor profundidad el uso de las neurotecnologías aplicadas a la cognición social es el hiperescaneado. Esta técnica permite la obtención de registros neuronales simultáneos en situaciones interactivas donde participan varias personas (Montage *et al.*, 2002). Adicionalmente, la posibilidad de combinarse con electroencefalografía (EEG) permite explorar el cerebro en situaciones de interacción con una alta resolución temporal. Pero aún están en investigación y desarrollo dispositivos de hiperescaneo de EEG específicos, los pocos estudios publicados apenas se han centrado en dos fenómenos clave de la interacción social: el gesto imitación y atención conjunta (Liu *et al.*, 2018); existen varios problemas en el diseño de los paradigmas para estudiar el cerebro de seres humanos que interactúan en ambientes controlados; y aún existen varias limitaciones asociadas con el estudio de la cognición y el comportamiento social en entornos naturales (Montage *et al.*, 2002).

Finalmente, esta es una de las primeras publicaciones en las que se revisa la relación entre las neurotecnologías y la cognición social. Se espera que este campo se aborde con mayor profundidad debido a la relevancia que tiene la cognición social para el ser humano, especialmente en el campo de la salud mental.

---

## VII. FUENTES DE CONSULTA

- Andersen, S. M., Chen, S. y Carter, C. (2000). "Fundamental human needs: Making social cognition relevant". *Psychological Inquiry*, 11(4), 269-275.
- Babiloni, F. y Astolfi, L. (2014). "Social neuroscience and hyperscanning techniques: past, present and future". *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 44, 76-93.
- Bland, A. R., Roiser, J. P., Mehta, M. A., Schei, T., Boland, H., Campbell-Meiklejohn, D. K. y Elliott, R. (2016). "EMOTICOM: a neuropsychological test battery to evaluate emotion, motivation, impulsivity, and social cognition". *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 10, 25.
- Borbón, D. y Muñoz, J. M. (2023). "Equal access to mental augmentation: Should it be a fundamental right?". *Brain Stimulation: Basic, Translational, and Clinical Research in Neuromodulation*.
- Brewer, M. B. y Caporael, L. R. (2006). "An evolutionary perspective on social identity: Revisiting groups". *Evolution and Social Psychology*, 143, 161.

- Bzdok, D. y Dunbar, R. I. (2022). “Social isolation and the brain in the pandemic Era”. *Nature Human Behaviour*, 6(10), 1333-1343.
- Chan, D. K. C., Zhang, L., Lee, A. S. Y. y Hagger, M. S. (2020). “Reciprocal relations between autonomous motivation from self-determination theory and social cognition constructs from the theory of planned behavior: A cross-lagged panel design in sport injury prevention”. *Psychology of Sport and Exercise*, 48, 101660.
- Chen, W. J. y Lin, Y. P. (2023). “Event-Related Potential-Based Collaborative Brain-Computer Interface for Augmenting Human Performance Using a Low-Cost, Custom Electroencephalogram Hyperscanning Infrastructure”. *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*. Doi: 10.1109/TCDS.2023.3245048
- Cinell, C., Valeriani, D. y Poli, R. (2019). “Neurotechnologies for human cognitive augmentation: current state of the art and future prospects”. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13, 13.
- Conner, M. y Norman, P. (2015). *Predicting and changing health behaviour: research and practice with social cognition models*. 3rd. Edition. McGraw-hill education (UK).
- Cotter, J., Granger, K., Backx, R., Hobbs, M., Looi, C. Y. y Barnett, J. H. (2018). Social cognitive dysfunction as a clinical marker: A systematic review of meta-analyses across 30 clinical conditions. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 84, 92-99.
- Dovidio, J. F., Piliavin, J. A., Schroeder, D. A. y Penner, L. A. (2017). *The Social Psychology of Prosocial Behavior*. NY: Psychology Press.
- Eckstein, M. P., Das, K., Pham, B. T., Peterson, M. F., Abbey, C. K., Sy, J. L. y Giesbrecht, B. (2012). “Neural decoding of collective wisdom with multi-brain computing”. *NeuroImage*, 59(1), 94-108.
- Farah, M. J. (2015). “The unknowns of cognitive enhancement”. *Science*, 350(6259), 379-380.
- Farahany, N. A., Greely, H. T., Hyman, S., Koch, C., Grady, C., Paşca, S. P. Y Song, H. (2018). “The ethics of experimenting with human brain tissue”. *Nature* 556, 429-432. Doi: <https://doi.org/10.1038/d41586-018-04813-x>
- FeldmanHall, O. y Shenhav, A. (2019). “Resolving uncertainty in a social world”. *Nature Human Behaviour*, 3(5), 426-435.
- Gao, X., Wang, Y., Chen, X. y Gao, S. (2021). “Interface, interaction, and intelligence in generalized brain-computer interfaces”. *Trends in Cognitive Sciences*, 25(8), 671-684.

- Graf, W. D., Nagel, S. K., Epstein, L. G., Miller, G., Nass, R. y Larriviere, D. (2013). Pediatric neuroenhancement: ethical, legal, social, and neurodevelopmental implications. *Neurology*, 80(13), 1251-1260.
- Güroğlu, B. y Veenstra, R. (2021). “Neural underpinnings of peer experiences and interactions: A review of social neuroscience research”. *Merrill-Palmer Quarterly*, 67(4), 416-456.
- Hui, B. P., Ng, J. C., Berzaghi, E., Cunningham-Amos, L. A. y Kogan, A. (2020). “Rewards of kindness? A meta-analysis of the link between prosociality and well-being”. *Psychological Bulletin*, 146(12), 1084.
- Ienca, M. y Andorno, R. (2017). “Towards new human rights in the age of neuroscience and neurotechnology”. *Life Sciences, Society and Policy*, 13(1), 1-27.
- Jiang, L., Stocco, A., Losey, D. M., Abernethy, J. A., Prat, C. S. y Rao, R. P. (2019). “BrainNet: a multi-person brain-to-brain interface for direct collaboration between brains”. *Scientific Reports*, 9(1), 6115.
- Kekäläinen, T., Tammelin, T. H., Hagger, M. S., Lintunen, T., Hyvärinen, M., Kujala, U. M. y Kokko, K. (2022). “Personality, motivational, and social cognition predictors of leisure-time physical activity”. *Psychology of Sport and Exercise*, 60, 102135.
- Kelsen, B. A., Sumich, A., Kasabov, N., Liang, S. H. y Wang, G. Y. (2022). “What has social neuroscience learned from hyperscanning studies of spoken communication? A systematic review”. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 132, 1249-1262.
- Lasko, E. N., Dagher, A. C., West, S. J. y Chester, D. S. (2022). “Neural mechanisms of intergroup exclusion and retaliatory aggression”. *Social Neuroscience*, 17(4), 339-351.
- Liu, D., Liu, S., Liu, X., Zhang, C., Li, A., Jin, C. y Zhang, X. (2018). “Interactive brain activity: review and progress on EEG-based hyperscanning in social interactions”. *Frontiers in psychology*, 9, 1862.
- Lynch, Z. (2004). “Neurotechnology and society (2010–2060). *Annals of the New York Academy of Sciences*”, 1013(1), 229-233.
- Meenan, S. y Lindsay, R. (2002). “Planning and the neurotechnology of social behaviour”. *International Journal of Cognition and Technology*, 1(2), 233-274.
- Misaki, M., Kerr, K. L., Ratliff, E. L., Cosgrove, K. T., Simmons, W. K., Morris, A. S. y Bodurka, J. (2021). “Beyond synchrony: the capacity of fMRI hyperscanning for the study of human social interaction”. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 16(1-2), 84-92.

- Montague, P. R., Berns, G. S., Cohen, J. D., McClure, S. M., Pagnoni, G., Dhamala, M., y Fisher, R. E. (2002). "Hyperscanning: simultaneous fMRI during linked social interactions". *Neuroimage*, 16(4), 1159-1164.
- Moreno-Duarte, I., Gebodh, N., Schestatsky, P., Guleyupoglu, B., Reato, D., Bikson, M. y Fregni, F. (2014). "Transcranial electrical stimulation: Transcranial direct current stimulation (tDCS), transcranial alternating current stimulation (tACS), transcranial pulsed current stimulation (tPCS), and transcranial random noise stimulation (trNS)". *The Stimulated Brain* (pp. 35-59). Academic Press.
- Nair, A. R y Chang, S. W. (2022). "Social neuroscience: Staying bonded over oxytocin and endocannabinoids". *Current Biology*, 32(5), R228-R231.
- Ochsner, K. N. y Lieberman, M. D. (2001). "The emergence of social cognitive neuroscience". *American Psychologist*, 56(9), 717.
- Padilla-Coreano, N., Tye, K. M. y Zelikowsky, M. (2022). "Dynamic influences on the neural encoding of social valence". *Nature Reviews Neuroscience*, 23(9), 535-550.
- Pedro, A. V. (2012). "Coping with Brain Disorders using Neurotechnology". *The Malaysian Journal of Medical Sciences: MJMS*, 19(1), 1-3.
- Pfeiffer, U. J., Timmermans, B., Vogeley, K., Frith, C. D. y Schilbach, L. (2013). "Towards a neuroscience of social interaction". *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 22.
- Rao, R. P. (2013). *Brain-computer Interfacing: an Introduction*. Cambridge University Press.
- Rao, R. P., Stocco, A., Bryan, M., Sarma, D., Youngquist, T. M., Wu, J., y Prat, C. S. (2014). "A direct brain-to-brain interface in humans". *PLoS one*, 9(11), e111332.
- Ren, D., Stavrova, O. y Loh, W. W. (2022). "Nonlinear effect of social interaction quantity on psychological well-being: Diminishing returns or inverted U?". *Journal of Personality and Social Psychology*, 122(6), 1056.
- Roelfsema, P. R., Denys, D. y Klink, P. C. (2018). "Mind Reading and Writing: The Future of Neurotechnology". *Trends in Cognitive Sciences*, 22(7), 598-610.
- Ryan, R. M., Huta, V., y Deci, E. L. (2008). "Living well: A self-determination theory perspective on eudaimonia". *Journal of Happiness Studies*, 9, 139-170.
- Ryan, R. M., y Deci, E. L. (2013). "Toward a Social Psychology of Assimilation: Self-Determination Theory in Cognitive". *Self-regulation and Autonomy: Social and Developmental Dimensions of Human Conduct*, 40, 191.

- Salvatore, C., Valeriani, D., Piccialli, V. y Bianchi, L. (2022). “Optimized Collaborative Brain-Computer Interfaces for Enhancing Face Recognition”. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 30, 1223-1232.
- Song, X., Zeng, Y., Tong, L., Shu, J., Yang, Q., Kou, J. y Yan, B. (2022). “A collaborative brain-computer interface framework for enhancing group detection performance of dynamic visual targets”. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022.
- Sjølie, E., Espenes, T. C. y Buø, R. (2022). “Social interaction and agency in self-organizing student teams during their transition from face-to-face to online learning”. *Computers & Education*, 189, 104580.
- Tomasello, M. (2009). *Why We Cooperate*. Cambridge: MIT Press.
- Valeriani, D., Cinel, C. y Poli, R. (2019). “Brain-computer interfaces for human augmentation”. *Brain Sciences*, 9(2), 22.
- Weekes, T. y Eskridge, T. (2022). “Design Thinking the Human-AI Experience of Neurotechnology for Knowledge Workers”. In *International Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 527-545). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Wang, Y. y Jung, T. P. (2011). “A collaborative brain-computer interface for improving human performance”. *PloS one*, 6(5), e20422.
- Weinstein, N. y Ryan, R. M. (2010). “When helping helps: autonomous motivation for prosocial behavior and its influence on well-being for the helper and recipient”. *Journal of Personality and Social Psychology*, 98(2), 222.
- Wu, Z. y Su, Y. (2014). “How do preschoolers’ sharing behaviors relate to their theory of mind understanding? ”. *Journal of Experimental Child Psychology*, 120, 73-86.
- Yoo, S. S., Kim, H., Filandrianos, E., Taghados, S. J. y Park, S. (2013). “Non-invasive brain-to-brain interface (BBI): establishing functional links between two brains”. *PloS one*, 8(4), e60410.
- Yeshurun, Y., Nguyen, M. y Hasson, U. (2021). “The default mode network: where the idiosyncratic self meets the shared social world”. *Nature Reviews Neuroscience*, 22(3), 181-192.