

estimulación central – central stimulation

Authored by
memjavad

November 13, 2025

RECOMMENDED CITATION

memjavad (2025). *estimulación central – central stimulation*. Spanish Psychological Databases. Retrieved from <https://spanish.arabpsychology.com/?p=4214>

Estimulación Central

Primary Disciplinary Field(s): Neurociencia, Fisiología, Medicina

1. Definición Central

La estimulación central se define como el conjunto de técnicas, tanto invasivas como no invasivas, diseñadas para modular directamente la actividad eléctrica o química del **Sistema Nervioso Central (SNC)**, incluyendo el encéfalo y la médula espinal. El objetivo primordial de esta modulación es alterar los patrones de descarga neuronal o la liberación de neurotransmisores para corregir disfunciones patológicas, investigar procesos cognitivos o inducir **plasticidad neuronal**. A diferencia de la estimulación periférica, que se enfoca en nervios o músculos fuera del SNC, la estimulación central requiere una penetración, ya sea física (con electrodos) o energética (con campos magnéticos o corrientes), de las barreras protectoras del cerebro para alcanzar las redes neuronales profundas o corticales.

Este concepto abarca una variedad de métodos que explotan la naturaleza **electroquímica** de la comunicación neuronal. Al aplicar un estímulo exógeno (eléctrico, magnético o químico) en una región específica, se puede lograr la excitación (aumento de la probabilidad de disparo del potencial de acción) o la inhibición (reducción de la excitabilidad) de las poblaciones neuronales objetivo. La precisión en la entrega del estímulo es crítica, ya que el SNC es una estructura altamente organizada donde la activación de un grupo neuronal puede tener efectos en cascada complejos y a menudo impredecibles en redes distantes. Por lo tanto, el desarrollo de la estimulación central ha estado intrínsecamente ligado al avance de las técnicas de neuroimagen que permiten una localización anatómica precisa del objetivo.

La relevancia de la estimulación central radica en su capacidad para actuar como una herramienta de **neuromodulación**, ofreciendo una alternativa a los tratamientos farmacológicos sistémicos. Mientras que los fármacos a menudo afectan múltiples sistemas y presentan efectos secundarios amplios, la estimulación central, especialmente en sus formas más focalizadas, permite una intervención dirigida a circuitos específicos que se consideran responsables de la sintomatología de diversas enfermedades neurológicas y psiquiátricas. Esta focalización no solo mejora la especificidad del tratamiento, sino que también abre puertas a la comprensión fundamental de cómo funcionan y cómo se desregulan los circuitos cerebrales en condiciones patológicas.

2. Mecanismos Fisiológicos de Acción

Los mecanismos subyacentes a la estimulación central varían según la modalidad utilizada, pero todos convergen en la alteración del potencial de membrana de las neuronas. En el caso de la estimulación eléctrica directa, como la utilizada en la Estimulación Cerebral Profunda (ECP), la

aplicación de corriente en el tejido neural genera un campo eléctrico que despolariza o hiperpolariza los axones y los somas neuronales cercanos. Se cree que la ECP, aplicada generalmente a frecuencias altas (superiores a 100 Hz), no solo excita directamente las fibras de paso, sino que también puede inducir un bloqueo funcional o una inhibición de la liberación de neurotransmisores en las terminales presinápticas, un fenómeno a menudo denominado "lesión funcional reversible". Esta modulación de la actividad rítmica patológica es esencial para el alivio de síntomas motores en enfermedades como el [Parkinson](#).

Por otro lado, las técnicas que emplean campos energéticos externos, como la Estimulación Magnética Transcraneal (EMT), operan bajo el principio de la inducción electromagnética. Una bobina colocada sobre el cuero cabelludo genera un potente campo magnético pulsado que atraviesa el cráneo y el tejido cerebral sin atenuación significativa. Este cambio rápido en el campo magnético induce, según la ley de Faraday, una corriente eléctrica transitoria dentro del tejido cortical. Si esta corriente inducida alcanza el umbral de excitabilidad de las neuronas corticales, desencadena un potencial de acción. La EMT puede ser utilizada en modo de pulso único para mapear la función cortical o en modo repetitivo (EMTr) para inducir cambios plásticos duraderos, ya sea excitando (alta frecuencia) o inhibiendo (baja frecuencia) la corteza.

La modulación de la plasticidad es quizás el mecanismo más profundo y duradero de la estimulación central. Técnicas como la Estimulación Transcraneal por Corriente Directa (ETCD) no provocan directamente potenciales de acción, sino que alteran sutilmente el potencial de reposo de la membrana, haciendo que las neuronas sean más fáciles (anódica) o más difíciles (catódica) de disparar en respuesta a estímulos endógenos. Este efecto subumbral facilita o dificulta la potenciación a largo plazo (PLP) y la depresión a largo plazo (DLP), los mecanismos celulares fundamentales del aprendizaje y la memoria. Al modular estos procesos plásticos, la estimulación central busca "reentrenar" los circuitos cerebrales desregulados, permitiendo una recuperación funcional que persiste más allá del periodo de estimulación activa.

3. Desarrollo Histórico y Neuroingeniería

Los orígenes de la estimulación central se remontan a los experimentos pioneros de la electrofisiología. Ya en el siglo XVIII, figuras como Luigi Galvani demostraron que la electricidad podía modular la función biológica, sentando las bases para la comprensión de la excitabilidad neural. Sin embargo, la aplicación clínica directa al cerebro humano comenzó a ganar tracción en el siglo XX. Los primeros intentos de estimulación cerebral directa se realizaron en el contexto de la neurocirugía, donde se utilizaban electrodos para mapear funciones corticales antes de la resección de tumores o focos epilépticos, como popularizaron los trabajos de Wilder Penfield en Canadá. Estos mapeos intraoperatorios confirmaron la correlación directa entre la estimulación eléctrica focal y la generación de sensaciones, movimientos o recuerdos específicos.

El desarrollo de la Estimulación Cerebral Profunda (ECP) en las décadas de 1980 y 1990 marcó la transición de la estimulación como herramienta de mapeo a una terapia crónica de neuromodulación. Inicialmente aplicada para el tratamiento del dolor crónico y los trastornos del movimiento, la ECP se convirtió en un tratamiento estándar para la enfermedad de Parkinson refractaria a fármacos. Este avance fue posible gracias a la convergencia de la neuroimagen de alta resolución (resonancia magnética) y la [neurocirugía estereotáctica](#), que permitieron la colocación precisa de electrodos en estructuras profundas como el núcleo subtalámico. La ECP demostró que la alteración eléctrica continua de un circuito neural específico podía restablecer el equilibrio funcional perdido.

Paralelamente a los avances invasivos, el desarrollo de la Estimulación Magnética Transcraneal (EMT) en la década de 1980 por Anthony Barker introdujo la posibilidad de la estimulación central no invasiva. La EMT permitió a los investigadores estudiar la excitabilidad cortical y las vías motoras sin necesidad de cirugía, revolucionando la neurociencia cognitiva y clínica. Más recientemente, la neuroingeniería ha impulsado la creación de sistemas de [circuito cerrado](#) (closed-loop systems), donde la estimulación es adaptativa. En lugar de aplicar una estimulación constante, estos dispositivos monitorizan la actividad cerebral (por ejemplo, ondas cerebrales anormales en la epilepsia) y solo administran el pulso de estimulación cuando se detecta una actividad patológica específica. Esta respuesta en tiempo real representa el futuro de la estimulación central personalizada y eficiente.

4. Modalidades Clave de Estimulación Central

La diversidad de técnicas de estimulación central se clasifica generalmente según su grado de invasividad, lo que influye directamente en su riesgo, precisión y potencial terapéutico. Las técnicas invasivas ofrecen la máxima precisión y penetración, siendo ideales para trastornos graves y crónicos, mientras que las no invasivas son preferidas para la investigación, el mapeo y el tratamiento de condiciones menos severas o como terapias de primera línea.

Estimulación Cerebral Profunda (ECP): Es la modalidad invasiva más establecida. Implica la implantación quirúrgica de electrodos en el cerebro profundo (e.g., tálamo, globo pálido, núcleo subtalámico), conectados a un generador de pulsos implantado subcutáneamente (similar a un marcapasos). Su principal ventaja es la modulación continua y altamente focalizada de circuitos clave en el movimiento y el estado de ánimo.

Estimulación Cortical Directa (ECD): Utilizada principalmente de forma temporal durante procedimientos neuroquirúrgicos (estimulación electrocorticográfica) o, en casos experimentales, mediante la implantación de matrices de electrodos sobre la superficie cortical. Es crucial para el mapeo funcional y para el tratamiento de la epilepsia refractaria, permitiendo la detección y supresión de focos epilépticos.

Estimulación Magnética Transcraneal (EMT/EMTr): Técnica no invasiva que utiliza campos

magnéticos para inducir corrientes eléctricas focales en la corteza. La EMT de pulso único mide la excitabilidad, mientras que la EMT repetitiva (EMTr) se utiliza terapéuticamente para inducir cambios plásticos duraderos en trastornos como la depresión mayor y el dolor neuropático.

Estimulación Transcraneal por Corriente Directa (ETCD): Modalidad no invasiva que aplica una corriente eléctrica muy débil y constante (típicamente 1-2 mA) a través de electrodos de esponja colocados en el cuero cabelludo. Actúa modulando la excitabilidad cortical de manera sutil, sin inducir potenciales de acción, y se utiliza ampliamente en investigación cognitiva y en ensayos clínicos para la rehabilitación y el tratamiento de la depresión.

Estimulación del Nervio Vago (ENV): Aunque el nervio vago es periférico, su estimulación se considera una forma de estimulación central indirecta debido a las amplias proyecciones del vago al tronco encefálico y a estructuras límbicas y corticales. Se utiliza para tratar la epilepsia y la depresión mayor resistente al tratamiento.

5. Aplicaciones Terapéuticas

Las aplicaciones clínicas de la estimulación central han crecido exponencialmente desde su adopción, estableciéndose como tratamientos de vanguardia para una variedad de trastornos neurológicos y psiquiátricos. La aplicación más exitosa y conocida es el tratamiento de los [trastornos del movimiento](#). La ECP en el núcleo subtalámico (NST) o el globo pálido interno (GPi) ofrece una mejora espectacular en los síntomas cardinales del Parkinson avanzado, incluyendo el temblor, la rigidez y la bradicinesia, permitiendo a los pacientes reducir significativamente su dependencia de la medicación dopaminérgica. De manera similar, la ECP es efectiva para el tratamiento del temblor esencial y la distonía.

En el ámbito de la psiquiatría, la estimulación central ha proporcionado nuevas esperanzas para los pacientes con trastornos resistentes a los tratamientos convencionales. La EMTr ha sido aprobada por múltiples agencias reguladoras para el tratamiento de la [depresión mayor](#) refractaria, enfocándose típicamente en la modulación de la actividad en la corteza prefrontal dorsolateral. Además, se están investigando activamente otras modalidades de estimulación, incluyendo la ECP, para trastornos psiquiátricos severos como el trastorno obsesivo-compulsivo (TOC) y el síndrome de Tourette, apuntando a circuitos específicos como el núcleo accumbens o el brazo anterior de la cápsula interna.

Otras áreas significativas de aplicación incluyen el tratamiento del dolor crónico neuropático, donde la estimulación de la médula espinal (una forma de estimulación central) o la estimulación cortical motora pueden interrumpir las vías de dolor aberrantes. En el campo de la rehabilitación neurocognitiva, la ETCD y la EMTr se utilizan de forma experimental para mejorar la recuperación motora y del lenguaje después de un [accidente cerebrovascular](#) (ACV). Al aplicar estimulación para aumentar la excitabilidad en el hemisferio no lesionado o para reducir la inhibición interhemisférica, se busca facilitar la reorganización funcional y la recuperación de funciones

perdidas.

6. Riesgos y Consideraciones Éticas

La implementación de la estimulación central, especialmente en sus formas invasivas, conlleva riesgos inherentes que deben sopesarse cuidadosamente frente a los beneficios terapéuticos. Los riesgos asociados a la ECP incluyen complicaciones quirúrgicas como hemorragia intracraneal, infección y el riesgo anestésico general. Incluso después de una cirugía exitosa, existe el riesgo de efectos secundarios relacionados con la estimulación en sí, tales como disartria, parestesias, cambios en el estado de ánimo o impulsividad, que a menudo requieren un ajuste meticuloso de los parámetros del dispositivo.

Desde una perspectiva ética, la estimulación central plantea interrogantes profundos, particularmente en el contexto de los trastornos psiquiátricos. La **neuroética** se ocupa de la posibilidad de que la modulación de circuitos cerebrales implicados en la identidad, la voluntad y la moralidad pueda alterar la personalidad o la agencia del paciente. Los pacientes con ECP, por ejemplo, a veces reportan sentimientos de "no ser ellos mismos" o experimentan cambios en su comportamiento impulsivo. Es fundamental garantizar que el consentimiento informado refleje la complejidad de estos posibles cambios en la identidad, asegurando que los pacientes comprendan que el tratamiento no solo afecta los síntomas, sino potencialmente el núcleo de su ser.

Además, existen consideraciones de accesibilidad y justicia. Las técnicas invasivas como la ECP son costosas y requieren equipos multidisciplinarios altamente especializados, lo que limita su disponibilidad en muchas regiones. Esto crea una disparidad en el acceso a terapias de neuromodulación avanzada. Las técnicas no invasivas (EMT, ETCD) son generalmente más seguras y accesibles, pero sus efectos terapéuticos son a menudo menos potentes o duraderos que los de los métodos invasivos, lo que subraya la necesidad de investigación continua para mejorar la eficacia y reducir los efectos adversos en todas las modalidades.

7. Direcciones Futuras

El futuro de la estimulación central apunta hacia una mayor precisión, adaptabilidad y una menor invasividad. Un área clave de desarrollo es la implementación de sistemas de estimulación adaptativa o de **círculo cerrado** (closed-loop). Estos sistemas utilizan biosensores avanzados para registrar biomarcadores neurales específicos (por ejemplo, oscilaciones beta en Parkinson o actividad ictal en epilepsia) y administran la estimulación solo cuando la actividad cerebral patológica está presente. Esto no solo conserva la batería del dispositivo, sino que también minimiza los efectos secundarios al evitar la sobreestimulación innecesaria, prometiendo una terapia mucho más eficiente y personalizada que la estimulación de circuito abierto actual.

Otra dirección prometedora es la integración de nuevas tecnologías de neuromodulación. La **optogenética**, aunque actualmente limitada a la investigación preclínica, ofrece la posibilidad de controlar neuronas genéticamente modificadas con una precisión sin precedentes mediante luz. Si bien su aplicación clínica en humanos es compleja debido a los desafíos de la entrega génica, los avances en técnicas de estimulación acústica o de ultrasonido focalizado (FUS) están ofreciendo alternativas no invasivas con la capacidad de alcanzar estructuras profundas del cerebro sin cirugía, lo que podría revolucionar el tratamiento de la ECP al eliminar la necesidad de implantación de electrodos.

Finalmente, la estimulación central se está moviendo hacia la medicina personalizada y la conectómica. En lugar de basarse únicamente en objetivos anatómicos fijos, los futuros protocolos de estimulación utilizarán mapas de conectividad cerebral individualizados (obtenidos mediante resonancia magnética funcional o de difusión) para identificar los nodos neurales más críticos para la disfunción de un paciente específico. Al modular las redes funcionales en lugar de solo las estructuras anatómicas, se espera maximizar la eficacia terapéutica y expandir el alcance de la estimulación central a trastornos complejos como el Alzheimer, los déficits cognitivos y las adicciones.

8. Lectura Adicional

[Sistema Nervioso Central \(SNC\) - Wikipedia](#)

[Estimulación Cerebral Profunda \(ECP\) - Wikipedia](#)

[Estimulación Magnética Transcraneal \(EMT\) - Wikipedia](#)

[Neurociencia Computacional - Wikipedia](#)