

---

## Tecnologías emergentes. Neuroestimulación y neuromodulación

### *Emerging technologies. Neurostimulation and neuromodulation*

---

<https://doi.org/10.23938/ASSN.0923>

I.G. de Gurtubay

---

La revolución tecnológica está creando oportunidades y desafíos sin precedentes en el campo de la medicina y cuidados de la salud. Los continuos avances tecnológicos están cambiando la estructura, la organización y la forma de trabajar, y ello es aún más notable en especialidades como la Neurofisiología, cuya práctica clínica se fundamenta en la tecnología. En esta disciplina médica se utilizan aparatos que registran o producen actividad eléctrica o magnética para explorar funcionalmente el sistema nervioso con fines diagnósticos, pronósticos y terapéuticos. Estas técnicas son claves para el ejercicio de un amplio abanico de especialidades<sup>1</sup>.

Se puede afirmar que la práctica totalidad de las exploraciones clásicas de la neurofisiología, han experimentado avances sustanciales gracias a la transferencia de la innovación tecnológica a la práctica clínica diaria. Algunas de dichas técnicas se han desarrollado tanto que han generado super-especialidades como la Monitorización Neurofisiológica Intra-Operatoria, que permite hitos como operar del cerebro a un paciente despierto<sup>2,3</sup>. Otras se han integrado o solapado con otras áreas de la medicina como la actividad que se realiza en las unidades multidisciplinares de Trastornos del Sueño. Algunas de estos métodos han traspasado el campo de las neurociencias y han sido adoptados por diversas especialidades. Por último, hay técnicas que se han simplificado tanto que se han convertido en dispositivos médicos portátiles de uso extra-hospitalario, siendo algunos de ellos de libre acceso a la población general.

Las técnicas de neuroestimulación son un claro ejemplo de innovación tecnológica y aplicación en salud. En ellas se administran estímulos de forma superficial o invasiva sobre músculos, nervios, o sus vías, con el fin de activar o inhibir determinadas funciones fisiológicas. Cuando esto se realiza de forma continuada a lo largo del tiempo, los

Servicio de Neurofisiología Clínica. Complejo Hospitalario de Navarra. Pamplona. Instituto de Investigación Sanitaria de Navarra (IdiSNA).

**Correspondencia:**

Dr Iñaki García de Gurtubay Gállego  
Servicio de Neurofisiología Clínica  
Complejo Hospitalario de Navarra  
C/ Irunlarrea, 4  
31008 Pamplona / Iruña  
E-mail: igarciag@cfnavarra.es

sistemas estimulados pueden modularse y conseguir cambios funcionales duraderos, conociéndose como técnicas de neuromodulación. Los aparatos más extendidos son probablemente los estimuladores eléctricos transcutáneos (TENS) para terapia del dolor que se utilizan con eficacia desde los años 60. Desde entonces, los clústeres tecnológicos que los desarrollan han conseguido probarlos con eficacia en muchas otras patologías hasta el punto de que, en los últimos 50 años y en el área de neurociencias, los dispositivos de neuroestimulación y neuromodulación son los que más patentes de alto rendimiento han generado<sup>4</sup>.

En el presente número de la revista *Anales del Sistema Sanitario de Navarra* se publican tres artículos que tienen como nexo común el uso de estos sistemas. De Miguel y col<sup>5</sup> muestran los resultados de una serie amplia de pacientes que, tras no responder a tratamiento conservador, se benefician de un neuroestimulador implantado en glúteo que administra pulsos de corriente en raíces sacras y que no solo resulta eficaz para tratar la incontinencia fecal grave sino que, consecuentemente, mejora la calidad de vida. Hernández-Rodríguez y Pérez- de la Cruz<sup>6</sup> realizan una revisión sobre el uso de neuromodulación, electroacupuntura, electroestimulación, *neurofeedback* o sus combinaciones, para tratar la disfunción de suelo pélvico en lesionados medulares. Catorce de los quince artículos revisados tienen fecha de publicación posterior a 2011, lo que pone en evidencia lo novedoso de dichas terapias. Por último, Casal-Beloy y col<sup>7</sup> muestran un caso pediátrico de vejiga hiperactiva refractaria con repuesta eficaz a neuromodulación sacra en su modalidad transcutánea, técnica de reciente descripción cuya eficacia en niños alcanza el 90%. Los artículos citados no son mas que un ejemplo de aplicación de estos sistemas en diversas patologías. El desarrollo tecnológico ha permitido miniaturizar los dispositivos, sus chips y sus baterías, lo que es especialmente importante cuando son implantados, así como desarrollar software de control y comunicación inalámbrico que permite una programación sencilla del aparato para que especialistas de diversas áreas apliquen estas técnicas en su campo de conocimiento.

En el uso de estos dispositivos, y para evitar efectos no deseados, es sumamente importante la ubicación correcta de los electrodos de estimulación sobre los puntos diana donde se desea focalizar el efecto de la corriente, pudiendo precisar para ello de cirugía. La estimulación cerebral eléctrica profunda en la que se aplica corriente mediante electrodos implantados en el cerebro es útil en el tratamiento de síntomas de enfermedad de Parkinson, temblor, distonía o epilepsia, pero el hecho de ser una técnica invasiva y agresiva limita su utilidad. La opción de aplicar corriente eléctrica directamente sobre el cráneo (tDCS) es menos efectiva porque para que alcance áreas profundas requiere intensidades de corriente elevadas que producen dolor. De nuevo la innovación ha solventado este problema, desarrollando la estimulación magnética transcraneal repetitiva (rTMS) como técnica de neuromodulación<sup>8</sup>. En ella se aplican pulsos electromagnéticos indoloros en el cuero cabelludo que permiten realizar de manera no invasiva estimulación cerebral profunda de forma difusa. Se aplica de forma continuada durante varios minutos u horas, varios días a la semana, durante varios meses. Su eficacia está probada en el tratamiento de la depresión y otros trastornos, en su mayoría psiquiátricos<sup>9</sup>. Recientemente su uso

se ha extendido a pacientes con perfiles muy seleccionados que han sufrido un ictus, dado que puede mejorar la recuperación funcional del sistema motor<sup>10</sup>.

Una modalidad de neuroestimulación-neuromodulación realmente prometedora consiste en estimular el nervio vago y obtener efectos a distancia aprovechando su gran distribución anatómica y conexión con el sistema nervioso central y periférico, incluyendo sus ramas viscerales que se proyectan por diferentes órganos. La estimulación directa del vago (VNS) en su forma invasiva reduce las crisis epilépticas pero está limitada por ser una técnica cruenta que precisa implantar el electrodo estimulador rodeando el nervio en su trayecto cervical. En los cinco últimos años se han desarrollado dispositivos VNS no invasivos o transcutáneos que, en función de los diferentes parámetros de estimulación y posología utilizada, tienen efectos antinociceptivos, antidepressivos, antiepilépticos y antimigrañosos, mejoran los acúfenos, la plasticidad neuronal, la memoria, la cognición, la ansiedad y el estrés, e incluso pueden modular el síndrome metabólico, la inflamación y el sistema cardiovascular. Algunas de estas indicaciones están aprobadas por la *US-Food and Drug Administration* (FDA) o la Comunidad Europea (CE); otras, en cambio, están aún en estudio o son meramente especulativas.

La potencial utilidad de estos sistemas es tan amplia como el daño que pueden producir por un uso inadecuado. La estimulación eléctrica transcutánea que se administraba hace dos décadas para tratar la parálisis facial ya no se realiza, no solo por falta de eficacia sino porque se considera contraproducente. Más recientemente, en 2013, las evidencias de que la estimulación craneal con corriente eléctrica mejoraba la capacidad cognitiva tuvieron tanta repercusión, que desde entonces se fabrican dispositivos caseros de estimulación cerebral utilizados sin control. A pesar de las publicaciones que alertan de los efectos adversos de dicha práctica<sup>11,12</sup>, *brain hacking*, esta aún persiste. Hoy en día se puede adquirir en la red un dispositivo de estas características o un kit para fabricarlo, y es en los foros de adeptos donde los propios usuarios se dan consejos sobre seguridad. Por todo ello, las diversas sociedades científicas, así como los organismos gubernamentales que regulan el uso de la estimulación eléctrica o magnética en aplicaciones biomédicas, intentan poner orden en esta avalancha tecnológica con el objetivo de definir y regular el uso de las técnicas de neuroestimulación medular<sup>13</sup>, tDCS<sup>14</sup>, rTMS<sup>9</sup> y VNS<sup>15,16</sup> según las evidencias existentes.

Los profesionales de la salud debemos conocer estos sistemas y ponderar su uso y utilidad en su justa medida para no generar expectativas irreales en nuestros pacientes. La tecnología no es buena ni mala, solo depende de cómo se aplique.

## BIBLIOGRAFÍA

1. MORALES G, ARTIEDA J. La neurofisiología clínica: pasado, presente y futuro. *An Sist Sanit Navar* 2009; 32 (Suppl 3): 5-8. <https://doi.org/10.23938/ASSN.0153>
2. CORTÉS DOÑATE VE, PÉREZ LORENSU PJ, GARCÍA GARCÍA A. Monitorización neurofisiológica intraoperatoria en España: inicios, situación actual y perspectivas de futuro. *Rev Neurol* 2018; 66: 531-532. <https://doi.org/10.33588/rn.6609.2018004>

3. URRIZA J, IMIRIZALDU L, PABÓN RM, OLAZIREGI O, GARCÍA DE GURTUBAY I. Monitorización neurofisiológica intraoperatoria: métodos en neurocirugía. *An Sist Sanit Navar* 2009; 32 (Suppl 3): 115-124. <https://doi.org/10.23938/ASSN.0144>
4. MARCUS HJ, HUGHES-HALLETT A, Kwasnicki RM, DARZI A, YANG GZ, D PHIL DN. Technological innovation in neurosurgery: a quantitative study. *J Neurosurg* 2015; 123: 174-181. <https://doi.org/10.3171/2014.12.JNS141422>
5. DE MIGUEL VALENCIA, GONZÁLEZ ÁLVAREZ G, OTEIZA MARTÍNEZ F, ALBERDI IBÁÑEZ I, CIGA LOZANO MA, DE MIGUEL VELASCO M. Neuroestimulación de raíces sacras en el tratamiento de la incontinencia fecal grave: resultados de calidad de vida y funcionales a largo plazo. *An Sist Sanit Navar* 2020; 43: 347-358. <https://doi.org/10.23938/ASSN.0922>
6. HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ D, PÉREZ- DE LA CRUZ S. Tratamiento del suelo pélvico en varones con lesión medular incompleta: revisión sistemática. *An Sist Sanit Navar* 2020; 43: 385-396. <https://doi.org/10.23938/ASSN.0868>
7. CASAL-BELOY I, GARCÍA-NOVOA MA, CASAL BELOY T, GARCÍA GONZÁLEZ M, SOMOZA ARGIBAY I. Neuroestimulación eléctrica sacra en la vejiga hiperactiva pediátrica refractaria. *An Sist Sanit Navar* 2020; 43: 421-425. <https://doi.org/10.23938/ASSN.0879>
8. FINNINGAN S. Evidence check for Australian Ministry of Health on new and emerging technologies in neurophysiology and operating theatres 2018. <https://www.saxinstitute.org.au/wp-content/uploads/Technology-in-neurophysiology-and-operating-theatres.pdf>
9. LEFAUCHEUR JP, ANDRE-OBADIA N, ANTAL A, AYACHE SS, BAEKEN C, BENNINGER DH et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS). *Clin Neurophysiol* 2014; 125: 2150-2206. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2014.05.021>
10. LEÓN RUIZ M, RODRÍGUEZ SARASA ML, SANJUÁN RODRÍGUEZ L, BENITO-LEÓN J, GARCÍA-ALBEA RISTOL E, ARCE ARCE S. Evidencias actuales sobre la estimulación magnética transcraneal y su utilidad potencial en la neurorrehabilitación post ictus: Ampliando horizontes en el tratamiento de la enfermedad cerebrovascular. *Neurología* 2018; 33: 459-472. <https://doi.org/10.1016/j.nrl.2016.03.008>
11. BIKSON M, BESTMAN S, EDWARDS D. Transcranial devices are not playthings. *Nature* 2013; 501: 167. <https://doi.org/10.1038/501167b>
12. IUCULANO T, COHEN KADOSH R. The mental cost of cognitive enhancement. *J Neurosci* 2013; 33: 4482-4486. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4927-12.2013>
13. DEER TR, MEKHAIL N, PROVENZANO D, POPE J, KRAMES E, LEONG M et al. The appropriate use of neurostimulation of the spinal cord and peripheral nervous system for the treatment of chronic pain and ischemic diseases: the neuro-modulation appropriateness consensus committee. *Neuromodulation* 2014; 17: 515-550. <https://doi.org/10.1111/ner.12208>
14. LEFAUCHEUR JP, ANTAL A, AYACHE SS, BENNINGER DH, BRUNELIN J, COGIAMANIAN F et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of transcranial direct current stimulation (tDCS). *Clin Neurophysiol* 2017; 128: 56-92. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2016.10.087>
15. KANIUSAS E, KAMPUSCH S, TITTEMEYER M, PANETSOS F, FERNANDEZ R, PAPA M et al. Current directions in the auricular vagus nerve stimulation I – A physiological perspective. *Front Neurosci* 2019; 13: 854. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00854>
16. KANIUSAS E, KAMPUSCH S, TITTEMEYER M, PANETSOS F, GINES RF, PAPA M et al. Current directions in the auricular vagus nerve stimulation II – An engineering perspective. *Front Neurosci* 2019; 13: 772. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00772>