

Interfase Neurona-material: Del Implante Rígido a la Bioelectrónica Blanda

Neuron-material Interface: From Rigid Implants to Soft Bioelectronics

Sebastián A. Correa

Señora Editora:

La lesión medular continúa representando uno de los mayores desafíos terapéuticos en Neurología, no solo por la complejidad del daño inicial, sino por las limitaciones persistentes en la recuperación funcional a largo plazo. A pesar de avances en rehabilitación, estimulación eléctrica y estrategias farmacológicas, los resultados clínicos siguen siendo modestos. En este contexto, resulta cada vez más evidente que uno de los principales cuellos de botella no reside exclusivamente en la regeneración neuronal per se, sino en la interfase entre el tejido neural y los materiales utilizados para su reparación o estimulación.

Históricamente, los enfoques en ingeniería de tejidos para lesión medular se han centrado en el uso de andamios pasivos, biomateriales estructurales y factores de crecimiento. Sin embargo, muchos de estos sistemas fracasan a mediano y largo plazo debido a una interfase neurona-material inadecuada, caracterizada por desajustes mecánicos, respuesta inflamatoria crónica, encapsulamiento glial y pérdida progresiva de funcionalidad eléctrica. Estas limitaciones han impulsado un cambio conceptual relevante: desde materiales inertes hacia interfaces bioelectrónicas activas capaces de interactuar dinámicamente con el tejido nervioso.¹

Desde una perspectiva de diseño de interfases funcionales, los polímeros conductores han emergido como plataformas particularmente prometedoras. Materiales como PEDOT:PSS, polipirrol, polianilina y, más recientemente, hidrogeles conductores híbridos, ofrecen propiedades que

resultan difíciles de alcanzar con biomateriales convencionales. Entre ellas destacan su conductividad eléctrica ajustable, su compatibilidad mecánica con tejidos blandos, la reducción de impedancia en interfaces neuronales y la posibilidad de integrar estimulación eléctrica, registro de señales y liberación controlada de moléculas bioactivas en un mismo sistema.²

La lesión medular constituye un caso paradigmático para evaluar estas tecnologías. El entorno post-lesional combina inflamación persistente, formación de cicatriz glial y pérdida de conectividad funcional, lo que exige soluciones que no solo promuevan el crecimiento axonal, sino que faciliten una comunicación bidireccional estable entre neuronas y dispositivos terapéuticos. En este sentido, los polímeros conductores permiten concebir la interfase neurona-material no como una frontera pasiva, sino como una zona funcional de acoplamiento electroquímico, capaz de modular la actividad neuronal y favorecer procesos de reorganización y plasticidad.³

Desde una perspectiva neurológica, este enfoque tiene implicancias directas para el futuro de la neuromodulación, las neuroprótesis y las estrategias de rehabilitación asistida. La integración de criterios de diseño de interfase bioelectrónica podría mejorar la eficacia y durabilidad de intervenciones como la estimulación medular, así como abrir nuevas oportunidades en terapias combinadas que integren estimulación, regeneración y rehabilitación funcional.

¹Universidad Bernardo O'Higgins (UBO), Escuela de Química y Farmacia y Centro de Estudios e Investigaciones en Salud y Sociedad, Facultad de Ciencias Médicas, Santiago, Chile.

Correspondencia:
Dr. Sebastián A. Correa
Profesor Asociado, Facultad de Ciencias Médicas, UBO
Avda Viel #1497, Santiago, Chile.
E-mail: sebastian.correa@ubo.cl

Referencias

1. Boufidis D, Garg R, Angelopoulos E, Cullen DK, Vitale F. Bio-inspired electronics: Soft, biohybrid, and “living” neural interfaces. *Nat Commun.* 2025;16:1861. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-57016-0>
2. Xue XY, Han L, Cai HQ, Zhang K, Sun ZC, Liu RP, et al. Conductive hydrogel-based neural interfaces: From fabrication methods, properties, to applications. *Small Struct.* 2025;6(8):2400696. <https://doi.org/10.1002/sstr.202400696>
3. Cheng S, Zhu R, Xu X. Hydrogels for next generation neural interfaces. *Commun Mater.* 2024;5:99. <https://doi.org/10.1038/s43246-024-00541-0>

Palabras clave: *interfase neurona-material, lesión medular, bioelectrónica blanda*

Keywords: *neuron-material interface, spinal cord injury, soft bioelectronics*