

CARTA AL EDITOR

Bioingeniería de tejidos: ¿Solución viable para las lesiones medulares?

Tissue bioengineering: A viable solution for spinal cord injuries?

Shania Naranjo-Lima¹ * , Adriel Herrero-Díaz² , Ariadna Ramos-Castro³ 

¹ Facultad de Ciencias Médicas de Matanzas. Universidad de Ciencias Médicas de Matanzas. Matanzas, Cuba.

² Facultad de Ciencias Médicas de Sagua la Grande. Universidad de Ciencias Médicas de Villa Clara. Villa Clara, Cuba.

³ Hospital Faustino Pérez Hernández. Matanzas, Cuba.

*Autor para la correspondencia: naranjolimashania@gmail.com

Recibido: 19 de junio de 2025

Aprobado: 2 de septiembre de 2025

Cómo citar este artículo:

Naranjo-Lima S, Herrero-Díaz A, Ramos-Catro A. Bioingeniería de tejidos: ¿Solución viable para las lesiones medulares?. Gac Med Est [Internet]. 2025 [citado día mes año]; 6(1):e652. Disponible en: <http://www.revgacetaestudiantil.sld.cu/index.php/gme/article/view/652>

Estimado editor:

La capacidad de regeneración axonal difiere de forma notable entre el sistema nervioso central (SNC) y el periférico (SNP). En el SNP es posible la regeneración axonal a larga distancia e incluso la recuperación funcional, mientras que en el SNC la mayoría de los axones dañados no logran regenerarse. Este último es el caso de la médula espinal de los mamíferos adultos, que muestra escasa capacidad regenerativa después de una lesión.

La lesión de médula espinal (LME) con frecuencia resulta en la pérdida parcial o completa de las funciones sensoriales, autonómicas y motoras por debajo del nivel de lesión, además de una pérdida de control de los esfínteres y disfunción eréctil. Para determinar el pronóstico de recuperación, es fundamental llevar a cabo una valoración exacta de la lesión, conforme a los criterios internacionales. El aspecto más importante es la ubicación de la lesión y el nivel de discapacidad según la escala de ASIA. ⁽¹⁾

En este sentido, preocupan las limitadas opciones de recuperación funcional completa de que dispone la práctica médica actual. Aunque las intervenciones quirúrgicas tempranas, como la descompresión medular, son cruciales para reducir el daño secundario por inflamación o isquemia, no logran revertir el déficit neurológico ya establecido. En cuanto a los tratamientos experimentales, el uso de células madre, biomateriales o la estimulación eléctrica permiten, en algunos casos, recuperar cierto grado de sensibilidad o movimiento voluntario, pero distan mucho de restaurar la función completa. Además, su eficacia varía según la gravedad y el nivel de la lesión, sin garantizar resultados consistentes en todos los pacientes.

Las intervenciones clínicas actuales, como la estabilización quirúrgica, la administración de corticosteroides y las terapias de rehabilitación, tienen como objetivo mitigar el daño secundario y preservar la función residual. Sin embargo, no abordan los desafíos centrales de la regeneración neuronal; como el microambiente inflamatorio hostil, la formación de cicatrices gliales inhibitorias y la ausencia de orientación estructural para el recrecimiento axonal. Incluso las terapias celulares emergentes, aunque prometedoras, se enfrentan a limitaciones como las bajas tasas de supervivencia celular, la diferenciación incontrolada y el rechazo inmunitario. ⁽²⁾

El mecanismo fisiopatológico en la LME difiere para las lesiones primarias y secundarias. Las primeras ocurren cuando un trauma físico causa compresión medular, hemorragia, isquemia y daño neuronal directo, con inflamación aguda y edema que generan déficits neurológicos inmediatos; mientras que las segundas se desarrollan por etapas (aguda, subaguda, crónica), caracterizándose por isquemia, inflamación exacerbada, desmielinización, formación de cicatriz glial rica en CSPG y degeneración axonal, que perpetúan la disfunción. ⁽³⁾

Del estudio del mecanismo fisiopatológico de lesión medular se puede comprender que la búsqueda de tratamientos eficaces debe centrarse en modular la cicatrización glial y la inflamación perilesional, dado su papel inhibitorio en la reparación de los axones. Es así que, con la ingeniería de tejidos, se introdujo una nueva solución para mejorar y tratar la LME: los andamios de biomateriales. Esta es una nueva y atractiva opción para reparar los tejidos nerviosos dañados pues, a través de estos, se puede administrar fármacos y monitorear la carga celular, al tiempo que modulan la respuesta inflamatoria del microambiente. Sin embargo, aunque el potencial es inmenso, es crucial abordar estos avances con optimismo mesurado al tener en cuenta las limitaciones persistentes.

Los andamios de biomateriales óptimos necesitan ofrecer soporte estructural para que las neuronas migren, se adhieran, proliferen y se diferencien; además, deben replicar las



características mecánicas del tejido natural de la médula espinal. Estos andamios deben promover el desarrollo de los axones y la neurogénesis al proporcionar una topografía adaptable que permita mejorar la efectividad del tratamiento y el pronóstico de la lesión en la médula espinal.

Aunque existe una amplia variedad de biomateriales, solo algunos de ellos cuentan con las propiedades adecuadas para el sistema nervioso. Además, para poder ser aplicados a LME deben brindar soporte a las células, así como ayudar en la liberación de factores tróficos o fármacos que contribuyan a controlar la respuesta inflamatoria.

La mayoría de los biomateriales naturales, como colágeno, gelatina, matriz acelular y polisacárido son blandos, fáciles de preparar y rellenan eficazmente la cavidad de la lesión de la LME. Además, en su mayoría tienen buenas propiedades de adhesión. Por otra parte, se explora la combinación de diferentes biomateriales con funciones sinérgicas en la reparación de la médula espinal.

Si bien los biomateriales naturales y sus derivados poseen una excelente biocompatibilidad, biodegradabilidad y baja citotoxicidad, la falta de rigidez de estos y la discrepancia entre las velocidades a las que se degradan y regeneran los tejidos limitan su potencial para aplicaciones médicas. Por otro lado, los andamios sintéticos exhiben excelentes propiedades mecánicas y una estabilidad significativa. Sin embargo, en comparación con la realizada con biomateriales naturales, se requiere más exploración para comprender completamente la biocompatibilidad de los biomateriales poliméricos sintéticos.⁽³⁾

Los andamios obtenidos por métodos clásicos como la lixiviación de partículas o la impregnación de espuma orgánica, etc., suelen tener un tamaño de poro incontrolado, alta resistencia mecánica inadecuada, así como geometría de poros y conexiones deficientes. Por el contrario, los andamios producidos con impresoras 3D tienen sus propiedades mecánicas controladas por la estructura de los poros, y su actividad biológica y degradación están reguladas por la composición química.⁽⁴⁾

La implantación de estos andamios cumple la doble función de salvaguardar la lesión y minimizar el desarrollo de tejido cicatricial, a la vez que demuestran excelente compatibilidad y adhesión celular al promover interacciones célula-material y célula-célula que aceleran la integración tisular y la vascularización. Además, modifican el microambiente inflamatorio y reducen barreras físicas, lo que potencia la regeneración axonal y mejora, por tanto, la recuperación de las fibras nerviosas y la funcionalidad del tejido dañado.



Aunque la bioingeniería de tejidos como terapia para lograr la rehabilitación neurológica avanza a un ritmo acelerado, cabe destacar que muchos biomateriales requieren evaluación a largo plazo para determinar su eficacia clínica definitiva en el tratamiento de la lesión medular. Por ello, resulta crucial su aplicación fuera del laboratorio, donde podrán demostrar su verdadero potencial terapéutico en la práctica médica.

Al aumentar la evidencia científica se podrá potenciar y motivar inversiones financieras que facilitarían la explotación de estas tecnologías. Cabe resaltar que su uso depende de infraestructura costosa, personal especializado y años de desarrollo, inaccesibles para la mayoría de centros médicos, sobre todo en regiones con recursos limitados como Latinoamérica. Además, el proceso de traslación clínica avanza con lentitud: de cientos de terapias experimentales, solo unas pocas alcanzan fases avanzadas de ensayos. Es así que su aplicación clínica se enmarca en un ciclo interminable de inversiones e innovación.

Para superar estos obstáculos, es imperativo priorizar la investigación con modelos más fieles a la condición humana, asegurar financiamiento a largo plazo y diseñar terapias combinadas que abarquen tanto neuroprotección y rehabilitación como regeneración, sin olvidar la accesibilidad para evitar que estos avances beneficien solo a una minoría. El optimismo, por tanto, debe equilibrarse con la comprensión de que la cura total aún es distante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arena RJ, Iarossi NJ, Obando Ulloa MA. Calidad de vida en personas con lesión medular traumática [Internet] [Tesis]. Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias de la Salud y Trabajo Social; 2024 [citado 24 de julio de 2025]. Disponible en: <http://kimelu.mdpu.edu.ar/xmlui/handle/123456789/952>
2. Zhu S, Diao S, Liu X, Zhang Z, Liu F, Chen W, Lu X, Luo H, Cheng X, Liao Q, Li Z, Chen J. Biomaterial-based strategies: a new era in spinal cord injury treatment. *Neural Regen Res* [Internet]. 2025 [citado 9 de junio de 2025];20(12):3476-3500. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11974648/#sec1-3>
3. Zhao Y, Aili A, Jia Z, Wen T, Muheremu A. Novel Tissue Engineering Scaffolds in the Treatment of Spinal Cord Injury—A Bibliometric Study. *Bioengineering* [Internet]. 2025 [citado 9 de junio de 2025];12(4):347. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC12025192/>
4. Khaledian S, Mohammadi G, Abdoli M, Fatahian A, Fatahian A, Fatahian R. Recent Advances in Implantable 3D-Printed Scaffolds for Repair of Spinal Cord Injury. *Adv Pharm*



Bull [Internet]. 2024 [citado 9 de junio de 2025];14(2):331-345. Disponible en:
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11347741/>

Declaración de conflictos de intereses:

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

SNL: conceptualización, investigación, metodología, administración del proyecto, redacción del borrador original, redacción, revisión y edición.

AHD: investigación, metodología, administración del proyecto, validación, redacción, revisión y edición.

ARC: investigación, metodología, administración del proyecto, validación, redacción, revisión y edición.

Financiación:

No se recibió financiación para el desarrollo del presente artículo.

