

BioHack CCM 2026 | Extensión del reto - Salir del paciente ideal | Opcional

El desarrollo de soluciones biomédicas para personas con paraplejia completa suele partir de un supuesto implícito: el diseño para un usuario adulto en condiciones fisiológicas ideales, sin comorbilidades significativas y con capacidades funcionales relativamente estables. Sin embargo, este enfoque simplificado dista considerablemente de la realidad clínica. La evidencia contemporánea muestra que la lesión medular no es una condición aislada, sino un detonante de múltiples alteraciones sistémicas que evolucionan a lo largo del tiempo.

Estudios recientes han demostrado que las personas con lesión medular presentan un riesgo significativamente elevado de desarrollar enfermedades crónicas multisistémicas, incluyendo afecciones cardiovasculares, metabólicas y neurológicas, incluso en ausencia de condiciones previas (Mashlah et al., 2025). Estas comorbilidades no solo incrementan la mortalidad, sino que transforman de manera sustancial las condiciones bajo las cuales cualquier solución biomédica debe operar.

Dentro de este panorama, las enfermedades cardiovasculares destacan como uno de los principales factores de riesgo y mortalidad en esta población. La evidencia más reciente indica que las personas con lesión medular presentan un incremento significativo en el riesgo de eventos cardiovasculares mayores, incluyendo infarto de miocardio, insuficiencia cardíaca y arritmias, con riesgos hasta más del doble en comparación con la población general (Yoo et al., 2024). Asimismo, meta-análisis recientes han reportado un aumento de aproximadamente 1.5 veces en el riesgo global de enfermedad cardiovascular, así como incrementos específicos en eventos como accidente cerebrovascular (hasta 2.38 veces) (Zhang et al., 2024).

Este incremento en el riesgo cardiovascular no se explica únicamente por la falta de movilidad. La lesión medular induce alteraciones profundas en el sistema nervioso autónomo, afectando la regulación de variables críticas como la frecuencia cardíaca, la presión arterial y la perfusión tisular. Estudios recientes han demostrado que las personas con lesión medular presentan disfunción autonómica persistente, caracterizada por alteraciones en la variabilidad de la frecuencia cardíaca y en la regulación hemodinámica, lo que constituye un factor independiente de riesgo cardiovascular (Hedlund et al., 2024).

En este contexto, el sistema cardiovascular de una persona con paraplejia no responde de manera convencional a estímulos fisiológicos. Esto implica que incluso actividades de baja intensidad pueden representar una carga significativa para el organismo, lo que limita la aplicabilidad de soluciones que dependen de la participación activa del usuario o de un gasto energético sostenido.

Esta problemática adquiere una dimensión aún más compleja cuando se considera la población pediátrica. A diferencia de los adultos, los niños y adolescentes con paraplejia experimentan esta condición durante etapas críticas del desarrollo fisiológico. La evidencia reciente sugiere que la lesión medular en etapas tempranas se asocia con un mayor riesgo de desarrollar enfermedades crónicas a lo largo de la vida, con trayectorias de comorbilidad que pueden iniciar desde edades tempranas (Mashlah et al., 2025).

Durante la infancia y adolescencia, los sistemas cardiovascular, musculoesquelético y neurológico se encuentran en constante desarrollo y adaptación. La ausencia de actividad física, junto con la disfunción autonómica, puede generar un desacondicionamiento cardiovascular temprano, caracterizado por una disminución de la capacidad aeróbica, alteraciones en la función cardíaca y una menor eficiencia en la respuesta fisiológica al esfuerzo. Este fenómeno no solo afecta la funcionalidad inmediata del paciente, sino que condiciona su estado de salud a lo largo de toda su vida.

Adicionalmente, la interacción entre sistemas en desarrollo implica que las alteraciones cardiovasculares pueden influir en otros dominios, incluyendo el desarrollo cognitivo, la regulación térmica y la estabilidad hemodinámica. Esto convierte al paciente pediátrico con paraplejia en un sistema biológico altamente dinámico, en el que las soluciones biomédicas deben ser no solo funcionales, sino también adaptativas y seguras en un contexto de cambio continuo.

En este sentido, resulta evidente que el diseño de soluciones biomédicas no puede limitarse a escenarios ideales. Por el contrario, debe incorporar la complejidad fisiológica, las comorbilidades y las condiciones reales en las que viven los pacientes. Esta extensión de reto tiene como objetivo desafiar a los equipos a cambiar la perspectiva, pensar fuera del usuario ideal y enfrentarse a un panorama clínico más representativo, en el que la ingeniería biomédica debe responder a sistemas biológicos complejos, dinámicos y, en muchos casos, comprometidos desde etapas tempranas de la vida.

CASO CLÍNICO (EJEMPLO)

Nota: El siguiente caso clínico es únicamente ilustrativo y tiene como finalidad ejemplificar el tipo de condiciones adicionales que pueden influir en el desarrollo de la solución. No es obligatorio resolver este caso específico.

Paciente masculino de 12 años con diagnóstico de paraplejia completa secundaria a lesión medular traumática a nivel torácico. El paciente presenta signos de disfunción autonómica, incluyendo alteraciones en la regulación de la presión arterial y variabilidad en la frecuencia cardíaca.

Asimismo, presenta baja tolerancia al esfuerzo físico y fatiga ante actividades de baja intensidad, asociadas a desacondicionamiento cardiovascular. Debido a estas condiciones, el paciente tiene un riesgo elevado de desarrollar enfermedad cardiovascular a lo largo de su vida, incluyendo eventos como insuficiencia cardíaca, arritmias y enfermedad cerebrovascular.

El paciente se encuentra en una etapa activa de crecimiento, en la que los sistemas musculoesqueléticos y cardiovasculares continúan en desarrollo. La ausencia de actividad física y la alteración en la regulación autonómica representan un riesgo adicional para su desarrollo fisiológico integral.

El entorno del paciente incluye acceso limitado a programas especializados de rehabilitación y dependencia parcial de cuidadores para actividades de la vida diaria.

Se espera que cualquier solución diseñada bajo este contexto considere:

- La limitada capacidad cardiovascular del usuario

- El riesgo elevado de eventos cardiovasculares
- La necesidad de minimizar el gasto energético
- La adaptabilidad a cambios fisiológicos asociados al crecimiento
- La seguridad en presencia de disfunción autonómica
- La integración en un entorno cotidiano con recursos limitados

Entregable

Para la extensión de reto, los equipos deberán presentar un documento escrito en formato tipo ensayo en el que desarrollen de manera clara, estructurada y fundamentada su propuesta de solución. El texto deberá integrar la justificación del problema abordado, la descripción del sistema propuesto, su principio de funcionamiento y la forma en que responde a las condiciones adicionales planteadas en el reto. Se espera un enfoque técnico con sustento en principios de ingeniería biomédica, así como una argumentación basada en evidencia científica. El documento deberá elaborarse con una extensión máxima de dos cuartillas, cuidando la claridad, coherencia y solidez de la propuesta. Es importante señalar que el caso clínico presentado tiene únicamente fines ilustrativos para tangibilizar la problemática; sin embargo, la complejidad de la extensión del reto no radica en resolver dicho caso específico, sino en generar una propuesta aplicable a un conjunto amplio de escenarios relacionados con la condición planteada.

Asimismo, todas las afirmaciones, decisiones de diseño y antecedentes deberán estar respaldados por fuentes verídicas y confiables, correctamente citadas en formato APA (7ª edición) o IEEE. En caso de utilizar herramientas de inteligencia artificial como apoyo para la investigación o generación de contenido, esto deberá declararse explícitamente en la sección de referencias, indicando la herramienta utilizada y la forma en que contribuyó al desarrollo del trabajo, siguiendo las recomendaciones actuales de citación para este tipo de recursos; en caso de no declarar su uso, no se tomará en cuenta el entregable para obtener la insignia. La resolución de la extensión del reto es completamente opcional y no representa sanción ni ventaja para el podio general del evento; sin embargo, su cumplimiento otorga la posibilidad de obtener una insignia especial asociada a esta categoría.

Formato de entrega: PDF.

- Portada con nombre del equipo, nombres de integrantes y universidad de procedencia
- Tipografía: Arial, tamaño 11 o Times New Roman 10
- Interlineado: Sencillo.
- Formato: a doble columna (IEEE) o columna sencilla (APA)
- Alineación: texto justificado.
- Logo de *BioHack CCM* centrado en el encabezado de cada página (utilizando este documento como referencia).
- Logo de la *Escuela de Ingeniería y Ciencias del Tecnológico de Monterrey* como marca de agua en el fondo del documento.
- Extensión MÁXIMA: dos cuartillas. No se toman en cuenta referencias como parte de la extensión

Será entregado a la par del entregable final. No se debe descuidar la solución principal para poder centrarse en la solución del reto extra.

Referencias

1. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2021). *Encuesta nacional de la dinámica demográfica 2020: Resultados sobre discapacidad y limitación en la actividad*. INEGI.
<https://www.inegi.org.mx/programas/enadid/2020/>
2. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2023). *Estadísticas a propósito del día internacional de las personas con discapacidad*. INEGI.
<https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2023/discapacidad2023.pdf>
3. Secretaría de Salud. Instituto Nacional de Rehabilitación Luis Guillermo Ibarra Ibarra. (2018). *Lesión medular traumática: Diagnóstico, tratamiento y rehabilitación*. Secretaría de Salud.
<https://www.gob.mx/salud/inr>
4. Revista Investigación en Discapacidad. (s. f.). *Artículos sobre lesión medular y rehabilitación*. Instituto Nacional de Rehabilitación.
<https://dsm.inr.gob.mx/indiscap/index.php/INDISCAP>
5. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2023). *Ley general para la inclusión de las personas con discapacidad*. Diario Oficial de la Federación.
<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGIPD.pdf>
6. Instituto Mexicano del Seguro Social. (2023). *Programa de rehabilitación y movilidad urbana para personas con discapacidad motriz*. IMSS.
<https://www.imss.gob.mx>
7. World Health Organization. (2011). *World report on disability*. World Health Organization.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789241564182>
8. Post, M. W. M., & van Leeuwen, C. M. C. (2012). *Psychosocial issues in spinal cord injury: A review*. *Spinal Cord*, 50(5), 382–389.
<https://doi.org/10.1038/sc.2011.182>
9. World Health Organization. (2016). *Priority assistive products list*. World Health Organization.
<https://www.who.int/publications/i/item/WHO-EMP-IAU->
10. Hedlund, M., et al. (2024). Cardiovascular autonomic function in individuals with spinal cord injury. *Journal of Spinal Cord Medicine*. {
11. Mashlah, A., et al. (2025). Traumatic spinal cord injury and subsequent risk of developing chronic cardiovascular, neurologic, psychiatric, and endocrine disorders. *JAMA Network Open*.
<https://jamanetwork.com/journals/jamanetworkopen/fullarticle/2840897?utm>
12. Yoo, J. E., Kim, M., Kim, B., et al. (2024). Increased risk of myocardial infarction, heart failure, and atrial fibrillation after spinal cord injury. *Journal of the American College of Cardiology*.
<https://www.acc.org/latest-in-cardiology/journal-scans/2024/02/14/14/12/increased-risk-of-myocardial?utm>

13. Zhang, Y., et al. (2024). Spinal cord injury and risk of overall and type-specific cardiovascular diseases: A meta-analysis. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39466767/>
14. Farkas, G. J., et al. (2025). Cardiometabolic risk in chronic spinal cord injury: A systematic review with meta-analysis. *Journal of Clinical Medicine*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40363903/>

Agradecimientos

Agradecemos al Colegio de Ingenieros Biomédicos (CIB) y al Dr. Isaac Pérez Sanpablo, presidente del consejo de innovación tecnológica, por su valiosa ayuda en el planteamiento de este reto.