

Análisis De Estructuras Biomiméticas Para Su Aplicación En Andamios Para Regeneración Ósea

Alessa Arias-Rodríguez
Universidad modelo
alessitaarias@gmail.com

Resumen. Este trabajo se enfoca en analizar la viabilidad del uso de andamios elaborados con poliláctico (PLA) mediante manufactura aditiva (impresión 3D) para su posible aplicación en la regeneración de tejido óseo. Se investigará la respuesta mecánica de diversas estructuras diseñadas para optimizar su comportamiento frente a compresión, simulando las condiciones que enfrentarían como implantes óseos. Además, se evaluará la viabilidad celular en estos andamios para determinar su capacidad de promover la adhesión y proliferación de osteoblastos, lo que es crucial para la integración en el tejido óseo.

Palabras Clave: manufactura aditiva, andamio óseo, PLA, compresión mecánica.

Abstract. This work focuses on analysing the feasibility of the use of scaffolds made of poly lactic acid (PLA) by additive manufacturing (3D printing) for their possible application in bone tissue regeneration. The mechanical response of various structures designed to optimise their behaviour under compression will be investigated, simulating the conditions they would face as bone implants. In addition, the cell viability of these scaffolds will be evaluated to determine their ability to promote osteoblast adhesion and proliferation, which is crucial for integration into bone tissue.

Keywords: additive manufacturing, bone scaffold, PLA, mechanical compression.

I. INTRODUCCIÓN

La pérdida de tejido óseo representa un desafío a la salud de gran importancia. En la actualidad se utilizan sustituciones como implantes metálicos o cerámicos, estos enfrentan limitaciones significativas al presentar incompatibilidad mecánica con el hueso nativo, riesgo de rechazo inmunológico y dificultades al momento de adhesión con el tejido circundante. Ante este escenario emerge la alternativa de los andamios óseos, una estructura capaz de ser degradada por el cuerpo humano y guiar la regeneración ósea.

El ácido poliláctico (PLA) destaca por su biocompatibilidad con el cuerpo humano, sin embargo, su aplicación como sustituto óseo requiere superar dos retos críticos: replicar las propiedades mecánicas del hueso y garantizar una arquitectura que promueva la adhesión celular. La manufactura aditiva ofrece ventaja al momento de impresión, ya que los diseños con estructuras geométricas complejas pueden realizarse, optimizando la resistencia a la compresión y la biocompatibilidad.

Este trabajo propone un enfoque diverso para resolver estas limitaciones. Primero, se analizarán las distintas estructuras de poro y se seleccionarán las que mejores resultados hayan obtenido previamente. Posteriormente se fabricarán los andamios por medio de manufactura aditiva, empleando PLA como material base. Se evaluará su respuesta mecánica a la compresión, y de igual manera se determinará su viabilidad celular por medio de cultivos in vitro con osteoblastos. Finalmente se correlacionarán los datos de diseño geométrico, el desempeño mecánico y la adherencia de osteoblastos.

II. METODOLOGÍA

1. Investigación y diseño de andamios

Se diseñaron andamios de PLA con tres estructuras específicas: panal de abeja, auxética y Voronoi. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica sobre la manufactura aditiva aplicada a andamios de PLA, enfocándose en sus propiedades mecánicas y biocompatibilidad, además de analizar estudios previos sobre las estructuras geométricas mencionadas.

2. Manufactura de andamios

Para la elaboración de los andamios se seleccionó la tecnología de impresión 3D más adecuada, y se eligió un filamento de PLA por sus propiedades mecánicas y biocompatibilidad. En la etapa de preparación, se configuraron parámetros clave de impresión, como temperatura, velocidad, altura de capa y porcentaje de relleno, además de realizar impresiones de prueba para garantizar la calidad dimensional. Finalmente, se procedió a la fabricación de los andamios con cada una de las tres

estructuras, documentando el tiempo de fabricación y el consumo de material.



Figura 1. Impresión andamio panal de abeja. Fuente: Elaboración propia.

3. Pruebas mecánicas

Las pruebas de compresión se llevaron a cabo utilizando una máquina de pruebas universales, registrando parámetros clave como la fuerza máxima, el módulo elástico y la deformación máxima. Posteriormente, se analizaron los datos obtenidos, comparando los resultados entre las tres estructuras e identificando patrones de falla mecánica y su correlación con la geometría de cada diseño.

4. Pruebas de viabilidad celular

Se llevó a cabo la esterilización de los andamios mediante radiación UV y se procedió a sembrar osteoblastos en cada muestra. Las pruebas de viabilidad celular se realizaron mediante un ensayo de resazaurinas, complementadas con la evaluación de la adhesión celular y finalmente, se recopilaron y analizaron los datos, comparando la viabilidad celular entre las distintas estructuras y evaluando el impacto de la geometría en la proliferación y adhesión celular.

5. Análisis y comparación de resultados

Se realizó un análisis comparativo para relacionar el comportamiento mecánico con la viabilidad celular en cada estructura, identificando las ventajas y desventajas de cada diseño. Posteriormente, se interpretaron los resultados, discutiendo sus implicaciones en la aplicación de los andamios como sustitutos óseos y contrastándolos con la información disponible en la literatura revisada.

III. RESULTADOS

Hasta el momento, se han desarrollado dos modelos tridimensionales de andamios con geometrías diferenciadas: uno con estructura de poro tipo panal de abeja y otro con diseño auxético. Estos modelos fueron diseñados para evaluar cómo distintas configuraciones geométricas pueden influir en las propiedades mecánicas y biológicas de los andamios destinados a la regeneración ósea. La estructura de panal de abeja se caracteriza por su alta estabilidad y distribución eficiente de cargas, mientras que la estructura auxética presenta un comportamiento mecánico poco convencional, expandiéndose lateralmente cuando se somete a tensión, lo que podría favorecer una

mejor absorción de impactos y una respuesta mecánica más adaptable al entorno óseo.

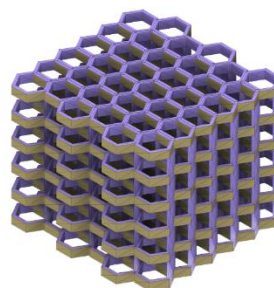


Figura 2. Ejemplo de figura panal de abeja. Fuente: Elaboración propia.

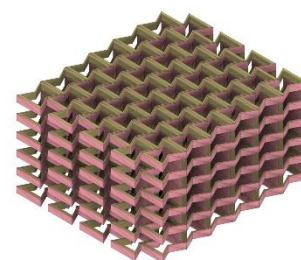


Figura 3. Ejemplo de figura auxética. Fuente: Elaboración propia.

IV. DISCUSIÓN

El desarrollo de dos modelos tridimensionales de andamios con geometrías de poro tipo panal de abeja y auxético representa un avance significativo en la búsqueda de estructuras óptimas para la regeneración ósea mediante manufactura aditiva. La elección de estas configuraciones responde a la necesidad de replicar no solo la porosidad necesaria para la adhesión y proliferación celular, sino también las propiedades mecánicas específicas del tejido óseo nativo, que es anisotrópico y sometido a cargas dinámicas complejas.

La estructura de panal de abeja, reconocida por su eficiencia en la distribución de cargas y estabilidad mecánica, podría ofrecer una base sólida para soportar las fuerzas de compresión típicas del hueso esponjoso. Sin embargo, su comportamiento mecánico es relativamente convencional y puede presentar limitaciones en términos de adaptabilidad a deformaciones complejas. Por otro lado, la estructura auxética, con su capacidad única de expandirse lateralmente bajo tensión, podría aportar una ventaja funcional al mejorar la absorción de impactos y la distribución de esfuerzos, lo que potencialmente favorece la activación de mecanismos de mecanotransducción celular.

V. CONCLUSIONES

La elección de las estructuras de poro tipo panal de abeja y auxético para el diseño de andamios representa un enfoque prometedor para replicar las propiedades mecánicas y biológicas del tejido óseo nativo. Mientras que el panal de abeja ofrece una distribución eficiente de cargas y estabilidad mecánica, la estructura auxética aporta una capacidad única de deformación que puede mejorar la absorción de impactos y favorecer la activación de mecanismos celulares relacionados con la

mecanotransducción. Estas características sugieren que los andamios auxéticos podrían potenciar la respuesta celular y la integración tisular, lo cual es fundamental para la regeneración ósea efectiva. Por tanto, ambos diseños constituyen bases sólidas para continuar con evaluaciones experimentales que permitan validar su desempeño mecánico y biológico en aplicaciones clínicas.

REFERENCIAS

- Admin, & Admin. (2021, 28 mayo). Desarrollan andamios moleculares para regenerar hueso y tejido. Gaceta UNAM. <https://www.gaceta.unam.mx/desarrollan-andamios-moleculares-para-regenerar-hueso-y-tejido/>
- Álvarez Barreto, J. F. (2009). Regeneración ósea a través de la ingeniería de tejidos: una introducción. RET. Revista de Estudios Transdisciplinarios, 1(2), 98-109.
- Barillas, M. (2019). Materiales auxéticos: una breve descripción y avances en la reducción de la concentración de esfuerzos. Congreso de Ingeniería y Arquitectura. <http://repositorio.uca.edu.sv/jspui/bitstream/11674/3812/1/Revista%20CONIA%202019%202020-04-N11.pdf>
- Barón Cangrejo, D. A. (2016). Análisis por elementos finitos de la respuesta de estructuras auxéticas hexaquirales y re-entrantes con coeficiente de Poisson negativo bajo carga uniaxial en el plano xy [Proyecto curricular de ingeniería mecánica, Facultad Tecnológica, Bogotá D.C.]. <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/36dfbcb2-7ecb-41de-b380-06f21477ca1c/content>
- Fernández-Tresguerres-Hernández-Gil, I., Alobera Gracia, M. A., del Canto Pingarrón, M., & Blanco Jerez, L. (2006). Physiological bases of bone regeneration I. Histology and physiology of bone tissue. Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal.
- Martínez Bordes, G., & Serandour, G. (2024). Andamios de PLA fabricados mediante técnicas de impresión 3D: Metodología para desarrollar un modelo de comportamiento ortotrópico del material. Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica, 28(1), 13-24. <https://revistas.uned.es/index.php/RIBIM/article/download/41704/29901/120798>
- NIH. (s. f.). Ingeniería de Tejidos y Medicina Regenerativa. Recuperado 29 de agosto de 2024, de <https://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/ingenier%C3%ADa-de-tejidos-y-medicina-regenerativa-0>
- Ortiz, D. A. (2024, 22 enero). Manufactura aditiva: la impresión 3D está cambiando a la industria. TecScience. <https://tecscience.tec.mx/es/negocios-innovacion/manufactura-aditiva/>
- Toro Toro, L. (2024). Diseño de la estructura interna de un andamio (scaffold) para tejido óseo. Universidad Nacional de Colombia.
- Viera, A. (2020). Elaboración de andamios mediante electrohilado e impresión en tres dimensiones con potencial uso en regeneración ósea [Tesis de maestría]. Centro de Investigación Científica de Yucatán.