

Modelo computacional del proceso de impresión 3D por extrusión de constructos 3D complejos del material gelatina/siloxano

Computational model of the 3D printing process by extrusion of complex 3D constructs of the gelatin/siloxane material

MARCOS BRYAN VALENZUELA REYES^{a*} , CARLOS ALBERTO MARTÍNEZ PÉREZ^b, ESMERALDA SARAI ZÚÑIGA AGUILAR^a 

^a{Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación, ...}, ^b{Departamento de Física y Matemáticas, ...}, ... Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México

*Autor de correspondencia. Correo electrónico: marcos.valenzuela@uacj.mx

N.º de resumen	Formato
9CP25-6	Cartel
Tema	Presentador
Ingeniería y tecnología de los materiales	Marcos Bryan Valenzuela Reyes
Fecha de la presentación	Estatus
Mayo 22, 2025	Estudio en curso

Resumen

Los constructos 3D complejos fueron desarrollados como andamios para replicar tejidos sintéticos, utilizando una bioimpresora BIO X con un núcleo de válvulas cardíacas de gelatina/siloxano embebido en una matriz de sacrificio de gelatina/PEG. Se realizó una simulación multifásica mediante el método de elementos finitos (MEF) en SolidWorks para estudiar el comportamiento del sistema bajo condiciones de incubación (37 °C y 20 % de humedad). La simulación estimó una degradación del 55.95 % de masa y una deformación del 39.96 % en 21 días, centrada en la matriz. Experimentalmente, se confirmó la deformación, pero la pérdida de masa fue menor (30.94 wt%), lo cual se atribuyó a diferencias entre mediciones volumétricas y gravimétricas. El volumen del constructo aumentó a 7.6 ml, provocando el colapso de la matriz entre los días 22 y 23. El núcleo estructural se mantuvo intacto, mostrando degradación hidrolítica y térmica. Se observó una disminución del pH que favorece la proliferación celular. Además, se desarrolló una red neuronal convolucional binaria para optimizar los parámetros de impresión. El mejor desempeño (86 % de exactitud) se logró con 250 imágenes de entrenamiento y parámetros de impresión de 17 kPa, 10 mm/s y boquilla de 27 G. Esto demuestra el potencial para imprimir estructuras cardíacas más complejas.

Palabras clave: ingeniería de tejidos; impresión 3D; constructo 3D; complejo gelatina/siloxano.

Abstract

Complex 3D constructs were developed as scaffolds to replicate synthetic tissues using a BIO X bioprinter with a gelatin/siloxane heart valve core embedded in a gelatin/PEG sacrificial matrix. A multiphase finite element method (FEM) simulation in SolidWorks was performed to study the system behavior under incubation conditions (37 °C and 20% humidity). The simulation estimated a 55.95% mass degradation and 39.96% deformation in 21 days, centered on the matrix. Experimentally, deformation was confirmed, but the mass loss was lower (30.94 wt%), which was attributed to differences between volumetric and gravimetric measurements. The construct volume increased to 7.6 ml, causing the matrix to collapse between days 22 and 23. The structural core remained intact, showing hydrolytic and thermal degradation. A decrease in pH was observed, favoring cell proliferation. Furthermore, a binary convolutional neural network was developed to optimize printing parameters. The best performance (86% accuracy) was achieved with 250 training images and printing parameters of 17 kPa, 10 mm/s, and a 27 G nozzle. This demonstrates the potential for printing more complex cardiac structures.

Keywords: tissue engineering; 3D printing; 3D construct; gelatin/siloxane complex.

Entidad legal responsable del estudio

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Financiamiento

Sin financiamiento.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.



COLOQUIO DE POSGRADOS
DEL IIT
19 AL 22 DE MAYO

UACJ INSPIRA EL FUTURO
IIT
Ciencia y Tecnología

Mayo 22, 2025

Modelo computacional del proceso de impresión 3D por extrusión de constructos 3D complejos del material gelatina/siloxano

Marcos Bryan Valenzuela Reyes^{1*}, Carlos Alberto Martínez Perez¹, Esmeralda Sarai Zúñiga Aguilar¹.

¹ Departamento de Física y Matemáticas. Instituto de Ingeniería y Tecnología. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México.

Resumen

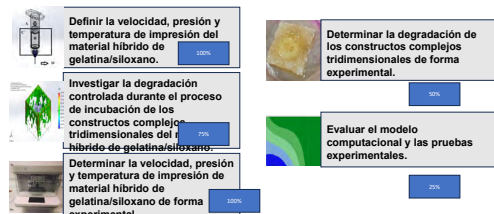
Los constructos 3D complejos fueron desarrollados como andamios para replicar tejidos sintéticos, utilizando una bioimpresora BIO X con un núcleo de válvulas cardíacas de gelatina/siloxano embebido en una matriz de sacrificio de gelatina/PEG. Se realizó una simulación multifásica mediante el método de elementos finitos (MEF) en SolidWorks para estudiar el comportamiento del sistema bajo condiciones de incubación (37 °C y 20 % de humedad). La simulación estimó una degradación del 55.95 % de masa y una deformación del 39.96 % en 21 días, centrada en la matriz. Experimentalmente, se confirmó la deformación, pero la pérdida de masa fue menor (30.94 wt%), lo cual se atribuyó a diferencias entre mediciones volumétricas y gravimétricas. El volumen del constructo aumentó a 7.6 ml, provocando el colapso de la matriz entre los días 22 y 23. El núcleo estructural se mantuvo intacto, mostrando degradación hidrolítica y térmica. Se observó una disminución del pH que favorece la proliferación celular. Además, se desarrolló una red neuronal convolucional binaria para optimizar los parámetros de impresión. El mejor desempeño (86 % de exactitud) se logró con 250 imágenes de entrenamiento y parámetros de impresión de 170 kPa, 10 mm/s y boquilla de 27 G. Esto demuestra el potencial para imprimir estructuras cardíacas más complejas.

Introducción:

La bioimpresión 3D ha emergido como una tecnología clave en la ingeniería de tejidos, permitiendo la fabricación precisa de constructos que imitan estructuras biológicas complejas. Estos andamios tridimensionales no solo deben replicar la forma de los órganos, sino también ofrecer un entorno propicio para la adhesión, proliferación y diferenciación celular. Para lograrlo, es fundamental controlar propiedades como la resistencia mecánica, la degradación programada y las condiciones fisicoquímicas internas durante procesos como la incubación. En esta investigación, se desarrollaron constructos 3D con geometría inspirada en válvulas cardíacas humanas, bioimpresos con un material híbrido de gelatina/siloxano embebido en una matriz de sacrificio de gelatina/PEG. A través de simulaciones multifísicas y pruebas experimentales, se evaluó su comportamiento estructural, degradativo y de pH durante incubación. Además, se implementó un modelo de aprendizaje automático para optimizar los parámetros de impresión con base en imágenes de constructos reales, mejorando la fidelidad respecto al diseño original. Los resultados obtenidos aportan evidencia del potencial de estos sistemas bioimpresos para aplicaciones en medicina regenerativa, destacando su viabilidad estructural y funcional en entornos biológicos simulados.

Objetivo general:

- Desarrollar un modelo computacional del proceso de bioimpresión por extrusión de constructos complejos tridimensionales del material híbrido de gelatina/siloxano.



Metodología:

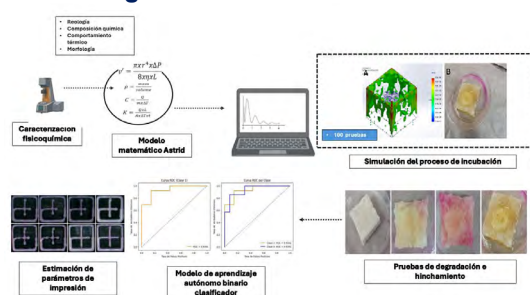


Figura 1. Metodología del proyecto.

Resultados:

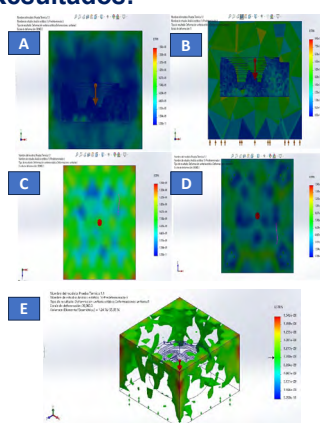


Figura 2. Simulación por MEF del proceso de incubación de los constructos 3D complejos.

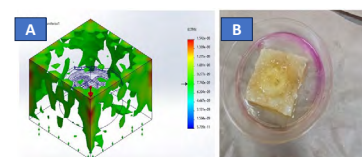


Figura 4. Comparativa entre la simulación y experimentación de la incubación de los constructos 3D complejos.



Figura 5. Pruebas de degradación e hinchamiento de los constructos 3D complejos.

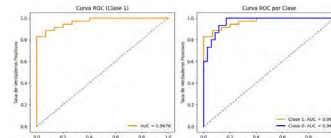


Figura 6. Métricas de evaluación del modelo de aprendizaje automático binario clasificador.

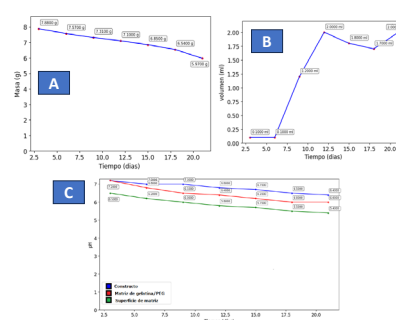


Figura 3. Pruebas de degradación e hinchamiento de los constructos 3D complejos.

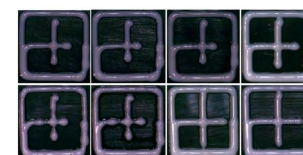


Figura 7. Parámetros estimados por el modelo de aprendizaje automático para la optimización del proceso de impresión.

Conclusiones:

Viabilidad estructural y funcional de los constructos: Los constructos bioimpresos mantuvieron su integridad estructural durante la incubación, demostrando su potencial como andamios viables para aplicaciones en ingeniería de tejidos cardíacos.

Concordancia entre simulación y experimentación: El modelo de simulación multifísica predijo con precisión la deformación de los constructos, aunque requiere ajustes para reducir discrepancias en la estimación de pérdida de masa.

Optimización del proceso de impresión mediante IA: El uso de redes neuronales convolucionales permitió optimizar los parámetros de impresión, mejorando la fidelidad de los constructos respecto al diseño original y habilitando la fabricación de estructuras más complejas.

Referencias:

- P. Wojciechowska et al. "Gelatin – siloxane hybrid monoliths as novel heavy metal adsorbents", *Applied Sciences*, vol. 12(3), pp 1258, (2022).
- Kallivokas S. et al. "A combined Computational and Experimental Analysis of PLA and PCL Hybrid Nanocomposites 3D Printed Scaffolds for Bone Regeneration" *Biomedicine*, vol. 12(2), 2020.
- Soufivand A. et al "Prediction of mechanical behavior of 3D bioprinted tissue-engineered scaffolds using finite element method (FEM) analysis" *Additive Manufacturing*, vol. 33, 2020.
- J Shin et al. "Optimized 3D Bioprinting Technology Based on Machine Learning: A review of Recent Trends and Advances", *Micromachines*, vol. 13, p 363, 2022.