Transdigital®

revista científica

Volumen 7, Número 14: Julio-Diciembre 2026
ISSN: 2683-328X
Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S. C.

La revista Transdigital es una publicación semestral bajo el modelo de publicación continua, editada por la Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S.C. Hasta ahora, la revista ha sido indizada en: Latindex, Dialnet, ERIHPLUS, REDIB, EuroPub, LivRe, AURA, Portal de Periódicos da CAPES, MIAR, OpenAire-Explore, Refseek, Jisc, Elektronische Zeitschriftenbibliothek, ZDB Zeitschriften Datenbank, WorldCat, Dimensions, The University of Liverpool, Discovery, Erasmus University Rotterdam, Mir@bel, REBIUN, DARDO, UOCI, LatinRev, International Standard Serial Number, Google Scholar, Crossref, Scite, Lens, Internet Archive, BASE, OpenAlex, Semantic Scholar, ScienceOpen, Simon Fraser University Library, University at Buffalo, Radford University y Anderson University. Dirección oficial: Circuito Altos Juriquilla 1132, C.P. 76230, Querétaro, México. Tel. +52 (442) 301-3238. Página web oficial: http://www.revista.transdigital.mx. Correo electrónico: revista@transdigital.mx. Editor en jefe: Alexandro Escudero-Nahón (ORCID: 0000-0001-8245-0838). Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2022-020912091600-102. International Standard Serial Number (ISSN): 2683-328X — ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (México). Responsable de la última actualización: Editor en jefe Alexandro Escudero-Nahón. Todos los artículos de la revista Transdigital están licenciados bajo la Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

Transdigital®
revista científica

Ingeniería de tejidos: Una revisión sistemática sobre aplicaciones de impresión 3D en la mejora de andamiajes cardíacos, viabilidad celular y control de porosidad

Tissue engineering: A systematic review about 3D printing applications in cardiac scaffold improvement, cell viability, and porosity control

Fabrizio Lavanderos-Aguilera
Universidad Autónoma de Querétaro, México
ORCID: 0009-0009-4411-1339

Yesenia Mendoza-Burguete*
Universidad Autónoma de Querétaro, México
ORCID: 0000-0003-4097-833X

Ricardo Chaparro-Sánchez
Universidad Autónoma de Querétaro, México
ORCID: 0000-0002-6842-2360

Sección: Artículo de investigación

Autora de correspondencia*

Fecha de recepción: 13/04/2026

Fecha de aceptación: 26/07/2026

Transdigital®
revista científica

Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S.C. | ISSN: 2683-328X

Ingeniería de tejidos: una revisión sistemática sobre aplicaciones de impresión 3D en la mejora de andamiajes cardíacos, viabilidad celular y control de porosidad

Tissue engineering: a systematic review about 3D printing applications in cardiac scaffold improvement, cell viability, and porosity control

Resumen

Este estudio analizó el impacto de la bioimpresión 3D en la ingeniería de tejidos cardíacos, centrándose en estrategias para optimizar la viabilidad celular, el diseño estructural y la vascularización funcional. Se llevó a cabo una revisión sistemática siguiendo la metodología *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*, seleccionando artículos recientes (2020-2025) de bases de datos como *PubMed* y *Google Scholar*. Los resultados destacaron que el uso de biotintas compuestas, como alginato y gelatina, mantuvo una alta viabilidad celular mayor o igual al 99%, mientras que las biotintas híbridas mostraron una dependencia fuerte de la concentración del hidrogel. Asimismo, se demostró que el diseño geométrico, especialmente la arquitectura angular, influye de manera significativa en las propiedades mecánicas, permitiendo replicar la anisotropía del miocardio. La estrategia de prevascularización mediante fragmentos microvasculares resultó mayor para la integración y la supervivencia del injerto *in vivo*. Se concluyó que la bioimpresión 3D ofrece un control preciso sobre las propiedades biológicas y mecánicas de los tejidos impresos, aunque se mantienen los desafíos relacionados con la maduración celular completa y la escalabilidad para aplicaciones clínicas. Se recomienda enfocar futuras investigaciones en la integración de redes vasculares complejas y sistemas de liberación controlada para mejorar la funcionalidad a largo plazo.

Palabras clave: bioimpresión 3D, ingeniería de tejidos cardíacos, viabilidad celular, andamiajes, vascularización

Abstract

This study analyzed the impact of 3D bioprinting on cardiac tissue engineering, focusing on strategies to optimize cell viability, structural design, and functional vascularization. A systematic review was conducted following the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses methodology, selecting recent articles (2020-2025) from databases such as *PubMed* and *Google Scholar*. The results highlighted that the use of composite bioinks, such as alginate and gelatin, maintained high cell viability of 99% or higher, while hybrid bioinks showed a strong dependence on hydrogel concentration. Furthermore, it was demonstrated that geometric design—particularly angular architecture—significantly influences mechanical properties, allowing for the replication of myocardial anisotropy. The prevascularization strategy using microvascular fragments proved superior for graft integration and survival *in vivo*. It was concluded that 3D bioprinting offers precise control over the biological and mechanical properties of printed tissues, although challenges related to complete cellular maturation and scalability for clinical applications remain. It is recommended that future research focus on the integration of complex vascular networks and controlled-release systems to improve long-term functionality.

Keywords: 3D bioprinting, cardiac tissue engineering, cell viability, scaffolds, vascularization

Lavanderos-Aguilera, F., Mendoza-Burguete, Y., & Chaparro-Sánchez, R. (2026). Ingeniería de tejidos: una revisión sistemática sobre aplicaciones de impresión 3D en la mejora de andamiajes cardíacos, viabilidad celular y control de porosidad. *Transdigital, 7*(13), e626. https://doi.org/10.56162/transdigital626

Transdigital®
revista científica

Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S.C. | ISSN: 2683-328X

1. Introducción

El corazón es un órgano extremadamente complejo, capaz de latir de manera constante durante toda la vida (Bliley et al., 2024). Sin embargo, cuando el corazón sufre una lesión grave, la capacidad que tiene para regenerarse está limitada debido a la pérdida de cardiomiocitos (Spedicati et al., 2024; Bliley et al., 2024). En este sentido, la falta de una reparación natural causa insuficiencia cardiaca, condición que afecta a millones de personas en el mundo (Pourchet et al., 2025; Bar et al., 2025).

Al respecto, la ingeniería de tejidos cardíacos ofrece una solución a este problema mediante el desarrollo de parches (Spedicati et al., 2024) o la impresión completa del órgano pudiendo reemplazar el tejido dañado y restaurar la función del corazón. Para lograr esto se necesita una tecnología capaz de construir estructuras vivas con precisión (Zhang et al., 2024), ahí es donde entra la bioimpresión en tercera dimensión (3D).

La bioimpresión 3D crea andamiajes de manera personalizada utilizando materiales biológicos y células vivas (Mayoral et al., 2022). Se colocan capa por capa para recrear la forma y la función del tejido cardíaco (Ketabat et al., 2023; Bliley et al., 2024). Esta técnica no solo permite reproducir la forma del corazón, sino también controlar características importantes para que las células se comporten de forma adecuada, por ejemplo, porosidad, rigidez y orientación de las fibras (Spedicati et al., 2024; Ketabat et al., 2023). Esta revisión se enfocó en tres puntos clave que están siendo tomados en cuenta gracias a la impresión 3D (Tabla 1).

Tabla 1
Puntos clave de la revisión sistemática

Punto clave	Descripción
Viabilidad celular y microambiente biomimético	Para que las células sobrevivan al proceso de impresión, es necesario utilizar biotintas que las protejan del estrés mecánico (Ketabat et al., 2023). Esta es una fuerza interna que provoca que las partículas resistan el cambio (Mayoral et al., 2022).
Control de porosidad y arquitectura del andamiaje	Un andamiaje que realmente surta efecto debe parecerse al tejido cardíaco real. El uso de impresión 3D permite diseñar partes con porosidad ajustada y fibras alineadas (Ketabat et al., 2023). Esto influye directamente en cómo las células se van a distribuir y cómo van a funcionar dentro del parche u órgano (Zhang et al., 2024).
Vascularización y mejora funcional	Lograr que los tejidos impresos tengan vasos sanguíneos que lo mantengan vivo es un gran reto (Pourchet et al., 2025). En este sentido, se desarrollan estrategias que facilitan la integración del parche con el sistema circulatorio del paciente.

Transdigital®
revista científica

Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S.C. | ISSN: 2683-328X

Estos avances mostraron cómo la impresión 3D cambia la forma en que se diseñan soluciones para reparar el corazón. Aunque actualmente todavía hay desafíos que no se han resuelto, el hecho de que haya progreso en este campo es evidencia de que se está dando un gran paso para futuras aplicaciones clínicas.

2. Método de investigación

Se aplicó el método *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA).

2.1. Fase 1: Objetivo, herramientas, criterios y enfoque

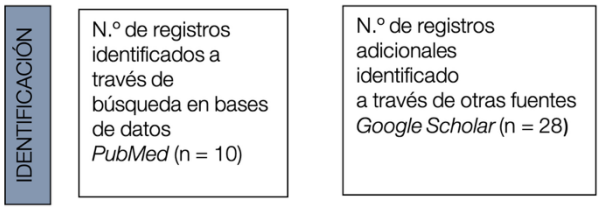
2.1.1. Objetivo principal

Se analizó cómo la bioimpresión 3D está siendo utilizada en la ingeniería de tejidos cardíacos, enfocándose en las estrategias para crear una mejora en la viabilidad celular, el diseño estructural del andamio y la vascularización funcional, con el fin de desarrollar parches o estructuras que puedan restaurar la función del músculo cardíaco dañado.

2.1.2. Fuentes y herramientas utilizadas

Para la recolección y el manejo de la información se utilizaron bases de datos científicas como *PubMed* y *Google Scholar*. Posteriormente, se seleccionaron artículos importantes mediante la plataforma *Rayyan*, donde se aplicaron filtros para evitar duplicados (Figura 1).

Figura 1
Criterios de búsqueda para PubMed y Google Scholar



2.1.3. Criterio de inclusión y exclusión

Se consideraron artículos publicados entre 2020 y 2025, en inglés, que abordaran resultados experimentales y teóricos sobre la bioimpresión 3D aplicada a los tejidos cardíacos.

Transdigital®
revista científica

Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S.C. | ISSN: 2683-328X

2.1.4. Área de enfoque

Esta revisión se centró en los avances relacionados con la bioimpresión de parches para el corazón y estructuras 3D que imitan el tejido del corazón. Esto permitió evaluar cómo diferentes técnicas, materiales y diseños influyen en la funcionalidad y supervivencia de las células.

2.2. Fase 2: Extracción de datos

Para el análisis se recopiló información de investigaciones publicadas que describen el uso de bioimpresión 3D aplicada al corazón. Los datos fueron extraídos considerando criterios técnicos y biológicos (Tabla 2).

Tabla 2
Términos técnicos y biológicos evaluados

Término	Descripción
Técnica de impresión	Método utilizado como lo son extrusión, *Freeform Reversible Embedding of Suspended Hydrogels* (FRESH), inyección, etc. Y la precisión estructural con la que cuentan.
Composición de la biotinta	Materiales principales (naturales o híbridos) y aditivos empleados para proteger y mejorar la viabilidad celular.
Diseño y porosidad del andamio	Orientación de fibras, tamaño del poro y grosor de la capa, que influyen en la distribución celular y en las propiedades mecánicas.
Estrategias de vascularización	Incorporación de microcanales o prevascularización para mantener el tejido vivo.
Propiedades mecánicas	Comparación con el tejido cardíaco original para determinar la elasticidad y resistencia de este.
Evaluación funcional	Análisis de contracción, sincronización eléctrica y expresión de marcadores cardíacos.

Con base en estos aspectos, fue importante resumir las variables analizadas en los estudios seleccionados (Tabla 3).

Transdigital®
revista científica

Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S.C. | ISSN: 2683-328X

Tabla 3
Variables analizadas en estudios de bioimpresión 3D para ingeniería de tejido cardíaco

Categoría	Variable analizada	Propósito/Relevancia
Técnica de impresión	Extrusión, inyección, FRESH y microextrusión.	Determinar precisión estructural y efecto sobre viabilidad celular.
Biotinta empleada	Gelatina, alginato, colágeno, gelatina metacriloíla (GelMA) y *Posterior Cruciate Ligament* (PCL).	Evaluar biocompatibilidad y propiedades mecánicas.
Aditivos o factores bioquímicos	*Arginylglycylaspartic acid* (RGD), fibrina y factores de crecimiento.	Mejorar adhesión, proliferación y diferenciación celular.
Viabilidad celular	Porcentaje de células vivas postimpresión.	Medir el impacto del proceso sobre la supervivencia celular.
Diseño del andamio	Tamaño de poro, orientación de fibras, grosor de capa.	Analizar su influencia en la distribución y función de las células.
Propiedades mecánicas	Módulo de Young, elasticidad y rigidez.	Comparar con valores del tejido cardíaco nativo.
Vascularización	Presencia de microcanales o prevascularización.	Evaluar la capacidad del tejido impreso para mantenerse vivo e integrarse.
Evaluación funcional	Contracción, sincronización eléctrica y marcadores cardíacos.	Comprobar si el tejido impreso imita la función del miocardio.

2.3. Fase 3: Análisis comparativo

Una vez que se recopiló la información, se realizó un análisis comparativo para identificar patrones y relaciones entre los materiales, técnicas y resultados biológicos. El estudio se estructuró en torno a tres puntos importantes:

- Viabilidad celular y microambiente biomimético.
- Porosidad y arquitectura del andamio.
- Vascularización e integración funcional.

Este análisis determinó las combinaciones de biotintas, parámetros de impresión y estrategias de diseño que resultaron más eficientes para mantener la función del tejido para corazón impreso.

Transdigital®
revista científica

Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S.C. | ISSN: 2683-328X

2.4. Fase 4: Conclusión y retos futuros

Finalmente, fue importante identificar que desafíos aún limitan la aplicación clínica de la bioimpresión 3D en el ámbito cardíaco (Tabla 4).

Tabla 4
Limitaciones clínicas

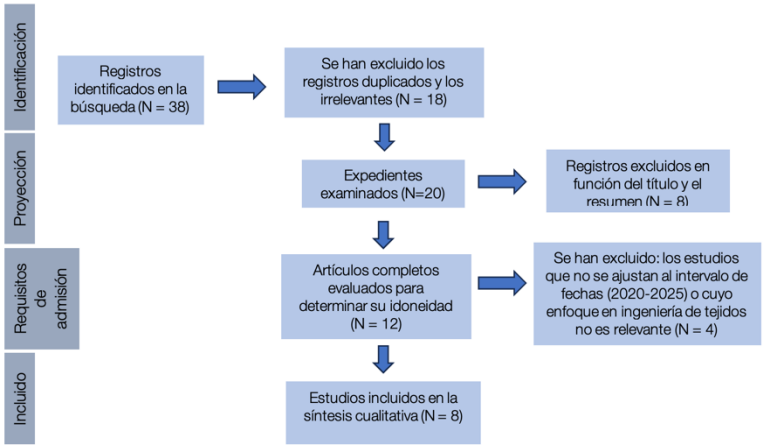
Limitación	Descripción
Maduración y sincronización celular	Se necesita lograr que las células impresas se comporten como tejido cardíaco maduro y completamente funcional para evitar problemas futuros.
Integración mecánica	Se debe asegurar que el parche impreso pueda soportar las fuerzas contráctiles del corazón sin que pierda su elasticidad.
Vascularización estable	Es necesario desarrollar redes microvasculares funcionales que permitan la supervivencia celular a largo plazo.

Estos tres aspectos representan los retos más importantes que es necesarios resolver para que la bioimpresión 3D del tejido cardíaco no se retrase y pueda ser aplicada en situaciones médicas reales. Los datos fueron organizados según la metodología, siguiendo el mismo orden del punto 3. Durante el proceso de selección se descartaron registros que no cumplían con el criterio de ser estudios experimentales originales. Se excluyeron trabajos enfocados en recopilar y analizar información previamente publicada sobre ingeniería de tejidos cardíacos y biomateriales (Figura 2).

Transdigital®
revista científica

Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S.C. | ISSN: 2683-328X

Figura 2
Diagrama de flujo PRISMA de la selección de estudios



3. Resultados

3.1. Viabilidad celular y microambiente biomimético

Fueron analizados diferentes tipos de biotinta para determinar el impacto en la supervivencia de las células después de ser impresas (Tabla 5).

Tabla 5
Tipos de biotinta analizados

Biotinta	Descripción
Hidrogel compuesto	La combinación de alginato y gelatina se mostró eficaz para la supervivencia celular. Hablando más en específico de la formulación de *Alg3Gel1* que se refiere a una relación 3:1 y que mantuvo una viabilidad celular superior al 99% tanto para cardiomiocitos como para células endoteliales (células que recubren el interior de los vasos sanguíneos) durante 21 días de cultivo.
Liberación de factores	El uso de biotintas funcionalizadas fue reportado para la liberación de agentes bioactivos. El diseño de un parche cardíaco compuesto por un núcleo de alginato modificado con RGD y una cubierta de alginato sulfato fue el que permitió que encapsularan y liberaran de manera controlada vesículas extracelulares que mantuvieron la integridad de las vesículas después de la impresión.
Híbridas sintético-naturales	En andamios híbridos de poli(ε-caprolactona) y gelatina metacriloíla, se observó que la concentración del hidrogel influye en la viabilidad. En comparación con las

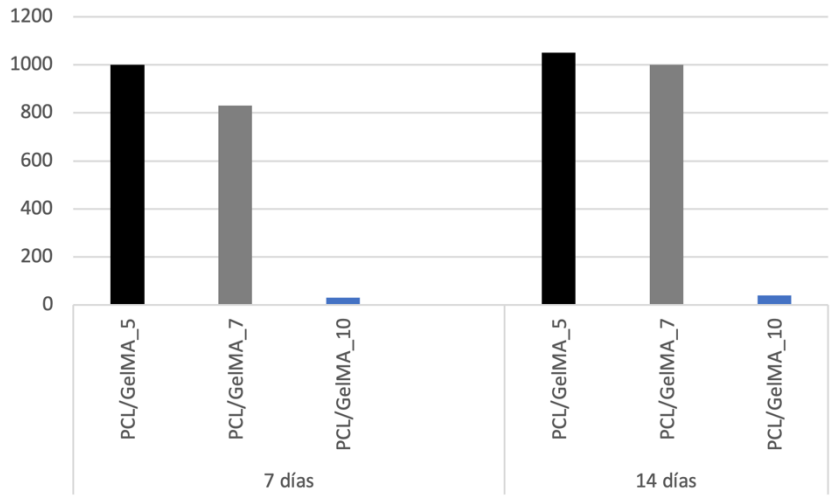
Transdigital®
revista científica

Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S.C. | ISSN: 2683-328X

Tabla 5
Tipos de biotinta analizados

Biotinta	Descripción
	concentraciones del 10% de gelatina metacriloíla, las concentraciones del 5% y el 7% mostraron una mayor viabilidad de fibroblastos cardíacos (Figura 3).

Figura 3
Gráfico de viabilidad



Gracias a un baño de soporte basado en submicrogeles de k-carragenina se logró la impresión de construcciones celulares manteniendo una viabilidad superior al 92.1% en células madre mesenquimales al primer día después de la impresión.

3.2. Porosidad, arquitectura del andamio y propiedades mecánicas

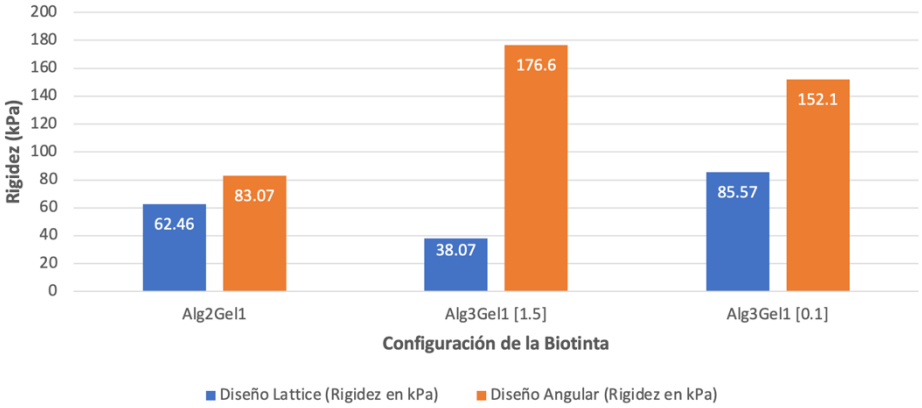
Las propiedades mecánicas para imitar distintos estados del tejido cardíaco se lograron gracias al diseño estructural y la elección adecuada de materiales. A comparación del diseño tradicional de rejilla (0°/90°), los andamios con un diseño conocido como diseño *angular* mostraron un módulo elástico superior y una menor tasa de hinchamiento. Sumándole que se fabricaron andamios de poli(ε-caprolactona) con filamentos ondulados para otorgar elasticidad al constructo (Figura 4).

Transdigital®
revista científica

Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S.C. | ISSN: 2683-328X

Figura 4

Comparativa del módulo elástico entre diseños de rejilla (Lattice) y angulares

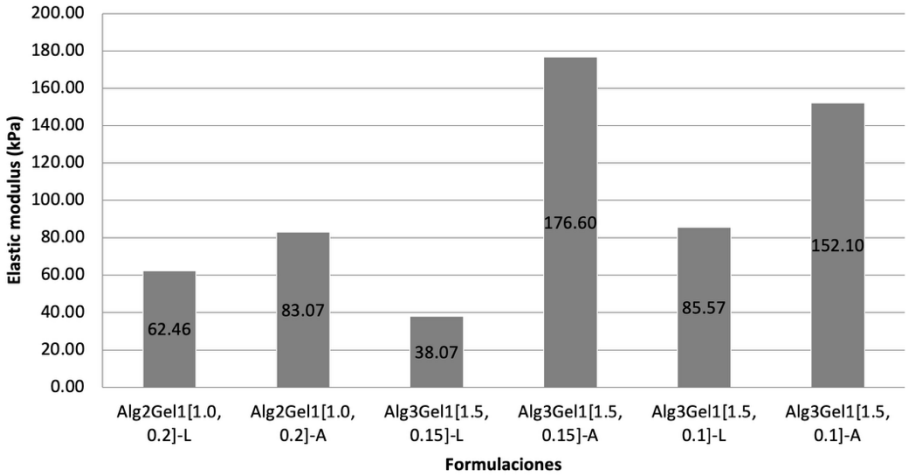


Nota. Adaptado de Ketabat et al. (2023).

Los resultados señalaron que el diseño *angular* supera sistemáticamente al diseño *Lattice* en todas las formulaciones de biotinta evaluadas. Este suceso sugiere que la orientación angular de las fibras permite una distribución de cargas que logra imitar de mejor manera la anisotropía del miocardio, proporcionando la rigidez necesaria para soportar las fuerzas contráctiles del corazón sin comprometer la integridad estructural del parche (Figura 5).

Figura 5

Comparación del módulo elástico de andamios con diseños Lattice y Angular



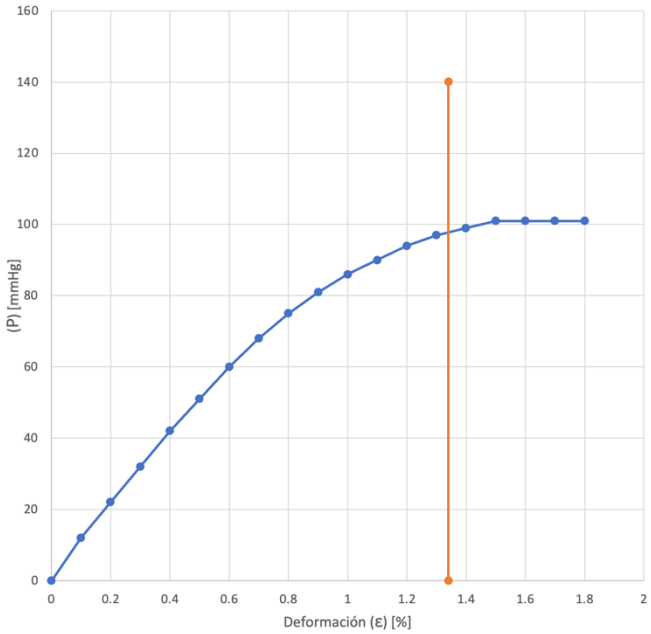
Transdigital®
revista científica

Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S.C. | ISSN: 2683-328X

3.2.1. Mimetismo de rigidez tisular

Para simular tejido cardíaco fibrótico, los andamios de poli(ε-caprolactona) / gelatina metacriloíla se ajustaron para alcanzar un módulo de Young entre 6.8 y 10.5 megapascales (MPa). Para parches cardíacos destinados a trasplante en estudios tempranos, los constructos basados en alginato-RGD y gelatina presentaron un módulo elástico inicial entre cuatro y cinco kilopascales al primer día después de la impresión. En el caso de la resistencia a la presión, se identificó un injerto vascular personalizado, fabricado mediante una técnica híbrida de modelado por deposición fundida y electrohilado, que demostró una presión de rotura de 101 ± 15 mmHg, superando la presión sistólica promedio en recién nacidos (Figura 6).

Figura 6
Porosidad en un parche vascular híbrido



3.2.2. Resolución y porosidad

La fabricación de estructuras complejas como válvulas cardiacas y modelos de corazón a escala fueron facilitadas gracias al uso de medios de soporte k-carragenina. Estos permitieron alcanzar una resolución de impresión de hasta 33 micrómetros (µm). En este sentido, los poros se desarrollan con 10 µm en la cara interna y de 80-100 µm en la cara externa de parches vasculares. Se logró un gradiente de porosidad mediante electrohilado

Transdigital®
revista científica

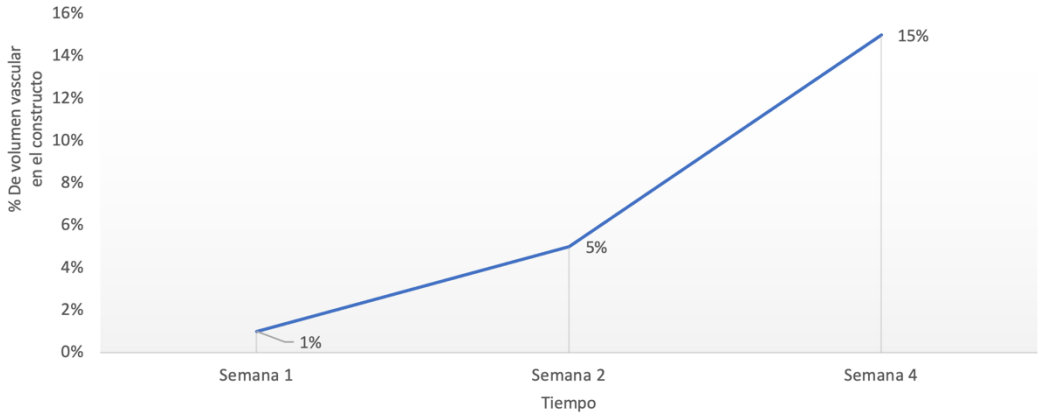
Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S.C. | ISSN: 2683-328X

donde los poros de la cara interna permitieron la difusión de nutrientes sin fugas celulares y la cara externa favoreció la migración celular.

3.3. Vascularización e integración funcional

Se obtuvieron resultados importantes relacionados a la capacidad de los tejidos impresos para vascularizarse y presentar funcionalidad biológica. En este sentido, la prevascularización con microfragmentos se llevó a cabo con controles no vascularizados, pues se degradaron, en contraste con los parches cardíacos vascularizados que mostraron una red vascular densa conectada al huésped y una supervivencia del injerto de hasta cuatro semanas. Al incorporar fragmentos microvasculares derivados de tejido adiposo en una biotinta de fibrina / gelatina el resultado fue que la vascularización fuera rápida y eficaz (Figura 7).

Figura 7
Evolución de la densidad vascular in vivo



Nota. Representación de la formación de redes vasculares funcionales en parches cardíacos prevascularizados con fragmentos microvasculares (MVF).

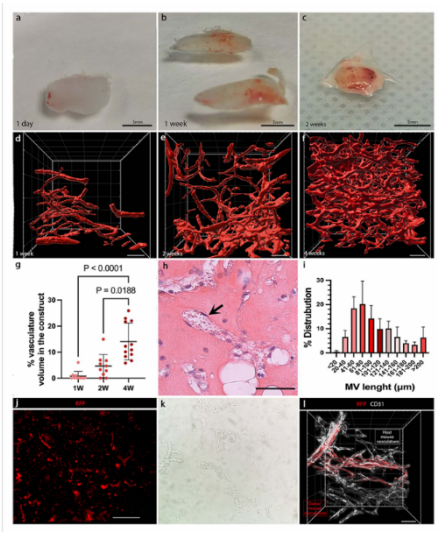
El análisis de la capacidad de integración biológica reveló que la estrategia de prevascularización es un determinante para la supervivencia del tejido impreso. En este sentido, los parches que incorporaron fragmentos microvasculares derivados de tejido adiposo mostraron buena progresión, mientras que en la primera semana la presencia vascular apenas iniciaba, en la cuarta semana se consolidó una red densa y funcional conectada directamente al sistema del huésped. Este crecimiento no solo evitó la degradación del injerto observada en los controles no vascularizados, sino que permitió la supervivencia de parche a largo plazo y la detección de latidos espontáneos sincronizados, lo que confirma que una vascularización rápida es el pilar para la maduración funcional del miocardio impreso (Figura 8).

Transdigital®
revista científica

Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S.C. | ISSN: 2683-328X

Figura 8

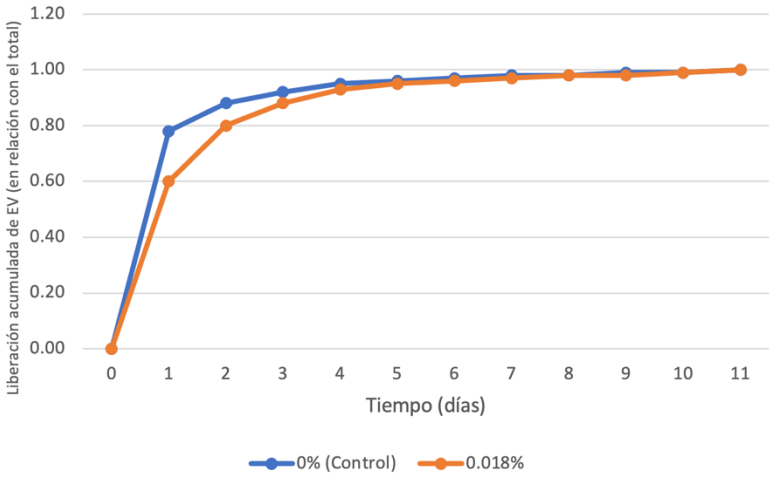
Reconstrucciones 3D de micro-CT que muestran la red vascular formada in vivo en parches cardíacos prevascularizados con fragmentos microvasculares



El alginato sulfato causó que se extendiera la liberación de vesículas extracelulares hasta 11 días, liberando así 88% de la carga para el día cuatro, comparado con el 92% en controles sin el polímero sulfatado (Figura 9).

Figura 9

Gráfico de liberación acumulada de vesículas extracelulares desde andamios de alginato sulfato



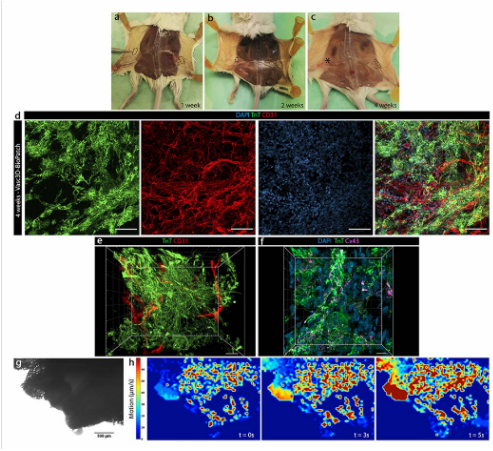
Transdigital®
revista científica

Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S.C. | ISSN: 2683-328X

3.3.1. Evaluación funcional y maduración

Los parches cardíacos impresos con fragmentos microvasculares mostraron latidos espontáneos y sincronizados después de cuatro semanas de implantación viable. En este sentido, la detección de Conexina 43 entre cardiomiocitos adyacentes en los parches vascularizados indicó acoplamiento eléctrico (Figura 10).

Figura 10
Imágenes de inmunofluorescencia que muestran la expresión de Conexina 43 (Cx43) en parches cardíacos vascularizados, indicando la formación de uniones eléctricas funcionales



En andamios de poli(ε-caprolactona) / gelatina metacriloíla, la estimulación mecánica cíclica provocó la sobreexpresión de α-actina de músculo liso en fibroblastos cardíacos, sugiriendo una activación hacia un fenotipo de miofibroblasto. Las células madre mesenquimales diferenciadas sobre andamios vasculares respondieron de manera contráctil funcional ante la estimulación con endotelina-1.

4. Discusión

Los resultados permiten realizar una evaluación objetiva del estado actual de la bioimpresión cardiaca. Se observó que la viabilidad celular fue superior al 99%. Esto establece un estándar crítico para el éxito de los injertos, demostrando que las formulaciones de alginato y gelatina actúan como microambientes protectores eficaces. También, los resultados destacaron una correlación directa entre la arquitectura del andamiaje y la respuesta funcional. En otras palabras, la capacidad de alcanzar presiones de rotura de 101± 15 mmHg y mantener la sincronización eléctrica mediante la expresión de Conexina 43 sugiere que los tejidos impresos no solo imitan la forma del corazón, sino que están cerca de alcanzar una integración biológica real en modelos *in vivo*. Estos valores

Transdigital®
revista científica

Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S.C. | ISSN: 2683-328X

cuantitativos reforzaron la viabilidad de la bioimpresión 3D como una alternativa sólida frente a las limitaciones de la medicina regenerativa tradicional (Tabla 6).

Tabla 6
Síntesis de parámetros de rendimiento y hallazgos cuantitativos

Parámetro analizado	Mejor resultado reportado	Referencia
Viabilidad celular	> 99% (con biotinta Alg3Gel1)	Ketabat et al. (2023)
Resolución de impresión	33 µm (con soporte k-carragenina)	Zhang et al. (2024)
Resistencia mecánica	101 ± 15 mmHg (presión de rotura)	Mayoral et al. (2022)
Supervivencia *in vivo*	cuatro semanas (con prevascularización)	Pourchet et al. (2025)
Rigidez (módulo elástico)	176.60 kPa (Diseño angular)	Ketabat et al. (2023)

Sin embargo, al realizar la síntesis de estos resultados, se identificó una variabilidad en las estimaciones de efecto, especialmente en la rigidez mecánica y la viabilidad celular a largo plazo. Esta heterogeneidad se atribuyó a la diversidad de las formulaciones de las biotintas y las diferencias en los parámetros de impresión entre los estudios fundamentales (Ketabat et al., 2023; Spedicati et al., 2024). A pesar de que los intervalos de confianza para la viabilidad celular se mantuvieron cercanos en las formulaciones de alginato / gelatina, los datos de vascularización *in vivo* mostraron mayor dispersión debido a las diferencias en los modelos animales utilizados. Por lo tanto, hay un riesgo de sesgo por heterogeneidad metodológica que debe ser considerado al aplicar estos hallazgos a un ámbito clínico.

4.1. Viabilidad celular y microambiente biomimético

La elección de la biotinta no es solo sobre supervivencia inicial, sino sobre un equilibrio entre soporte mecánico y un microambiente que permita el crecimiento a largo plazo (Spedicati et al., 2024). Los aditivos como la gelatina metacriloíla y el RGD proporcionan sitios de adhesión celular, explicando por qué las células se estiraron y organizaron en lugar de quedarse como esferas no activas (Zhang et al., 2024; Ketabat et al., 2023).

Transdigital®
revista científica

Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S.C. | ISSN: 2683-328X

4.2. Porosidad, arquitectura del andamio y propiedades mecánicas

La bioimpresión 3D no solo crea formas, sino que programa las propiedades mecánicas en el andamio a través de la arquitectura, un nivel de control prácticamente imposible con técnicas de moldeo tradicionales (Spedicati et al., 2024). El mimetismo de rigidez demostró la versatilidad de la bioimpresión 3D para modular las propiedades mecánicas y crear modelos de enfermedad o parches de regeneración (Zhang et al., 2024; Ketabat et al., 2023).

4.3. Vascularización e integración funcional

La prevascularización con fragmentos microvasculares es una estrategia superior para la supervivencia del injerto a largo plazo (Pourchet et al., 2025). Por otro lado, la liberación de vesículas extracelulares es una opción prometedora para la terapia paracrina (Bar et al., 2025).

4.4. Limitaciones y retos futuros

A pesar de los avances realizados, continúan las limitaciones significativas. La maduración incompleta de los cardiomiocitos derivados de células madre pluripotentes es un obstáculo para la funcionalidad del tejido (Pourchet et al., 2025; Bliley et al., 2024). Para el futuro se podrían explorar nuevas estrategias, como el uso de bioactivos para la inmovilización de factores de crecimiento, que ya ha demostrado éxito en la regeneración ósea (Keremu et al., 2025), pero que se podría adaptar para tejidos cardíacos.

5. Conclusiones

Esta revisión sistemática analizó el uso de la bioimpresión 3D para la ingeniería de tejido cardíaco, centrándose en los objetivos de viabilidad celular, la arquitectura del andamio y la vascularización. Los hallazgos demostraron que el proceso de selección de la biotinta es un factor muy importante. Las combinaciones de hidrogeles naturales como alginato / gelatina demostraron que mantienen una viabilidad celular mayor al 99% en cardiomiocitos y células endoteliales. Por otro lado, las biotintas híbridas como poli(ε-caprolactona) / gelatina metacriloil muestran una correlación directa entre la concentración del hidrogel y la viabilidad, donde concentraciones del 5 al 7% favorecen la supervivencia celular en comparación con concentraciones del 10%.

También se confirmó que la bioimpresión 3D ofrece un control preciso que impacta directamente la función mecánica. La versatilidad del diseño angular permite modular propiedades mecánicas para poder mimetizar tejido sano o tejido cardíaco fibrótico, así demostrando la utilidad que tiene para modelos de enfermedad y modelos regenerativos. A pesar de todos estos avances, todavía se presentan desafíos para la aplicación clínica, como la

Transdigital®
revista científica

Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S.C. | ISSN: 2683-328X

maduración completa de los cardiomiocitos, la respuesta inmune y la producción a gran escala. Por lo tanto, líneas futuras de investigación deberán enfocarse en la integración de redes vasculares multiescala.

Referencias

Bar, A., Kryukov, O., & Cohen, S. (2025). Three-dimensional bio-printed cardiac patch for sustained delivery of extracellular vesicles from the interface. *Gels*, *8*(12), 769.

Bliley, J. M., Stang, M. A., Behre, A., & Feinberg, A. W. (2024). Advances in 3D bioprinted cardiac tissue using stem cell-derived cardiomyocytes. *Stem Cells Translational Medicine*, *13*(5), 425-435. https://doi.org/10.1093/stcltm/szae014

Keremu, A., Abulikemu, M., Liang, Z., Abulikemu, A., & Tuxun, A. (2025). Anti-infection efficacy, osteogenesis potential, and biocompatibility of 3D printed PLGA/nano-hydroxyapatite porous scaffolds grafted with vancomycin/DOPA/rhBMP-2 in infected rabbit bone defects. *International Journal of Nanomedicine, 20*, 6399-6421.

Ketabat, F., Maris, T., Duan, X., Yazdanpanah, Z., Kelly, M. E., Badea, I., & Chen, X. (2023). Optimization of 3D printing and in vitro characterization of alginate/gelatin lattice and angular scaffolds for potential cardiac tissue engineering. Front Bioeng. *Biotechnol., 11*, 1161804.

Mayoral, I., Bevilacqua, E., Gómez, G., Hmadcha, A., González-Loscertales, I., Reina, E., Soleto, J., Domínguez, A., Pérez-Alcántara, P., Smani, Y., González-Puertas, P., Mendez, A., Uribe, S., Ordoñez, A., & Valverde, I. (2022). Tissue engineered in-vitro vascular patch fabrication using hybrid 3D printing and electrospinning. *Materials Today Bio, 14*, 100252.

Pourchet, L., Casado-Medina, L., Richaud-Patin, Y., Tadevosyan, K., Morillas-García, A., Lorenzo, E., Lazis, I., Ventura, A., Litowczenko, J., & Guiu, J. (2025). 3D bioprinting of human iPSC-derived cardiac constructs with microvascular network support for improved graft survival in vivo. *Biofabrication, 17*, 035010.

Spedicati, M., Tivano, F., Zoso, A., Bei, J., Lavella, M., Carmagnola, I., & Chiono, V. (2024). 3D bioartificial stretchable scaffolds mimicking the mechanical hallmarks of human cardiac fibrotic tissue. *International Journal of Bioprinting Archieves, 10*(3), 2247.

Zhang, H., Luo, Y., Hu, Z., Chen, M., Chen, S., Yao, Y., Shao, X., Wu, K., Zhu, Y., & Fu, J. (2024). Cation-crosslinked k-carrageenan sub-microgel medium for high-quality embedded bioprinting. *Biofabrication*, 16, 025009.

Transdigital®
editorial

La Editorial *Transdigital* publica libros de carácter científico y académico. Se pueden publicar tesis de posgrado, una vez sometidas al sistema de evaluación de pares de doble ciego. Servicios:

- Gestión del International Standard Book Number (ISBN), del Digital Object Identifier (DOI) y del código de barras.
- Diseño gráfico
- Servicio de corrección de estilo y redacción.
- Dictaminación de la revisión por pares en doble ciego hecha por miembros del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) de México.
- Alojamiento permanente del libro en la editorial Transdigital (www.editorial.transdigital.mx)
- Distribución gratuita en *Dialnet*, *Google Books*, *Google Play* y *SCRIBD*.
- Distribución a precio mínimo en *Amazon Kindle* (cuota que pagan los lectores de *Kindle*).

La editorial *Transdigital* está en el Registro en el Padrón Nacional de Editores como agente editor Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales, S. C., con el Dígito Identificador 978-607-99594. Además, está afiliada a la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana (CANIEM) con el número 4069, de conformidad con el artículo 17 de la Ley de Cámaras Empresariales y sus Confederaciones en vigor. Y está en el Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (RENIECYT) de la SECIHTI de México con el folio: RENIECYT 2400068.

Transdigital®
congreso virtual

El Congreso Virtual *Transdigital* se realiza anualmente de manera totalmente virtual (www.congreso.transdigital.mx). Este evento tiene el objetivo de reunir resultados parciales o finales de investigaciones empíricas, documentales o ensayos científicos sobre temas y desafíos que involucran a la tecnología y la transformación digital en sociedad.

Está dirigido a investigadores(as), docentes de todas las modalidades y niveles del sistema educativo, estudiantes de pregrado y posgrado, gestores(as) educativos(as), directivos(as) y demás profesionales interesados(as) en la investigación empírica y documental sobre el uso de la tecnología y la transformación digital en diversos ámbitos sociales, por ejemplo, la salud, el ocio, el turismo, las finanzas, la educación, el desarrollo comunitario, la industria, etcétera.

La inscripción por texto, con un máximo de tres autores(as) da el derecho de publicar la ponencia como capítulo de libro académico en la editorial *Transdigital*, una vez que ha sido admitida por el Comité Científico; además se otorgan certificados de ponencia y asistencia. Ese libro cuenta con International Standard Book Number (ISBN), Digital Object Identifier (DOI) y código de barras.

El Congreso Virtual *Transdigital* es una iniciativa que está inscrita está en el Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (RENIECYT) de la SECIHTI de México con el folio: RENIECYT 2400068.

Transdigital®
revista científica

La revista científica *Transdigital* es una publicación semestral bajo el modelo de publicación continua, de manera que se reciben textos durante todo el año. Es editada por la Sociedad de Investigación sobre Estudios Digitales S.C. Evalúa los textos con el sistema de pares de doble ciego. Se admiten Artículos de investigación y Ensayos científicos originales.

El proceso de publicación es expedito y, en promedio, los textos se publican tres meses después de que han sido recibidos. El Consejo científico y el Comité editorial se compone por distinguidas y distinguidos académicos de talla nacional e internacional. Cuenta con la Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2022-020912091600-102, International Standard Serial Number (ISSN) 2683-328X, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Hasta ahora, está indizada en Latindex, Dialnet, ERIHPLUS, REDIB, EuroPub, LivRe, AURA, Academic Resource Index (ResearchBib), MIAR, OpenAire-Explore, Refseek, Sherpa Romeo, Elektronische Zeitschriftenbibliothek, ZDB Zeitschriften Datenbank, WorldCat, Dimensions, The University of Liverpool, Discovery, Erasmus University Rotterdam, Mir@bel, REBIUN, DARDO, UOCI, LatinRev, ROAD, Google Scholar, Crossref, Scite, Lens, Internet Archive, BASE, etc.

El costo de publicación puede ser consultado en: www.revista.transdigital.mx