RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber. ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
Ano VII, v.1 2026 | submissão: 20/08/2026 | aceito: 23/08/2026 | publicação: 26/08/2026

Bioimpresión 3D de tejidos y órganos: avances, desafíos y perspectivas en la medicina regenerativa

Bioimpressão 3D de tecidos e órgãos: avanços, desafios e perspectivas na medicina regenerativa

3D bioprinting of tissues and organs: advances, challenges and perspectives in regenerative medicine

Adriana dos Santos – Estudiante de la licenciatura en Biomedicina del Centro Universitário Fadergs, Porto Alegre/RS, Brasil | Orcid: 0009-0007-8802-3729
Fabiana Guichard de Abreu – Biomédica y docente de la licenciatura en Biomedicina del Centro Universitário Fadergs, Porto Alegre/RS, Brasil | Orcid: 0000-0003-1007-4225

Resumen: La bioimpresión 3D ha surgido como una de las tecnologías más innovadoras de la medicina regenerativa, al ofrecer nuevas posibilidades para tratar enfermedades y lesiones y afrontar la escasez de órganos destinados a trasplantes y terapias regenerativas. Su aplicación permite construir estructuras biológicas mediante la deposición precisa de células vivas y biomateriales, lo que favorece avances en el tratamiento de enfermedades crónicas y lesiones graves. Este estudio plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿cómo puede la bioimpresión 3D de tejidos y órganos contribuir a solucionar la escasez de órganos para trasplante y mejorar los resultados de los tratamientos regenerativos? Se adoptó una investigación cualitativa y exploratoria, basada en una revisión bibliográfica de materiales científicos publicados durante los últimos diez años. La importancia del tema se justifica por la creciente demanda de órganos, las altas tasas de rechazo inmunológico en los trasplantes convencionales y el potencial de la bioimpresión para revolucionar las prácticas médicas. Como criterio de inclusión, se seleccionaron estudios publicados entre 2016 y 2025 en portugués e inglés. El objetivo general es investigar el potencial de la bioimpresión 3D para producir tejidos y órganos humanos, con énfasis en su aplicabilidad en terapias y trasplantes. Los resultados mostraron que la bioimpresión 3D ya presenta avances significativos en aplicaciones clínicas y de laboratorio, aunque todavía afronta desafíos técnicos y éticos. Se concluye que la tecnología es prometedora y puede transformar la medicina personalizada, pero requiere inversiones en investigación, regulación e infraestructura para que su uso a gran escala sea viable.

Palabras clave: Biotecnología. Ingeniería de tejidos. Regeneración tisular. Trasplantes.

Resumo: A bioimpressão 3D tem emergido como uma das tecnologias mais inovadoras na medicina regenerativa, proporcionando novas possibilidades para o tratamento de doenças, lesões e para a escassez de órgãos destinados a transplantes e terapias regenerativas. Sua aplicação permite a construção de estruturas biológicas por meio da deposição precisa de células vivas e biomateriais, possibilitando avanços no tratamento de doenças crônicas e lesões graves. Este estudo tem como problema de pesquisa a seguinte questão: como a bioimpressão 3D de tecidos e órgãos pode contribuir para solucionar a escassez de órgãos para transplante e melhorar os resultados em tratamentos regenerativos? A metodologia adotada foi uma pesquisa qualitativa e exploratória, baseada em revisão bibliográfica de materiais científicos publicados nos últimos dez anos. Justifica-se a importância do tema pela crescente demanda por órgãos, pelos altos índices de rejeição imunológica em transplantes convencionais e pelo potencial da bioimpressão para revolucionar práticas médicas. Como critério de inclusão, foram selecionados estudos publicados entre 2016 e 2025, nos idiomas português e inglês. O objetivo geral é investigar o potencial da bioimpressão 3D na produção de tecidos e órgãos humanos, com foco em sua aplicabilidade em terapias e transplantes. Como resultados, observou-se que a bioimpressão 3D já apresenta avanços significativos em aplicações clínicas e laboratoriais, embora ainda enfrente desafios técnicos e éticos. Conclui-se que a tecnologia é promissora,

com potencial para transformar a medicina personalizada, mas exige investimentos em pesquisa, regulamentação e infraestrutura para que seu uso se torne viável em larga escala.

Palavras-chave: Biotecnologia. Engenharia de tecidos. Regeneração tecidual. Transplantes.

Abstract: 3D bioprinting has emerged as one of the most innovative technologies in regenerative medicine, providing new possibilities for treating diseases and injuries and addressing the shortage of organs for transplantation and regenerative therapies. Its application enables biological structures to be built through the precise deposition of living cells and biomaterials, supporting advances in the treatment of chronic diseases and severe injuries. This study addresses the following research question: how can 3D bioprinting of tissues and organs help solve the shortage of organs for transplantation and improve outcomes in regenerative treatments? The adopted methodology was qualitative and exploratory research based on a literature review of scientific materials published over the last ten years. The topic is important because of the growing demand for organs, the high rates of immune rejection in conventional transplants, and the potential of bioprinting to revolutionize medical practices. Studies published between 2016 and 2025 in Portuguese and English were selected as inclusion criteria. The general objective is to investigate the potential of 3D bioprinting in producing human tissues and organs, focusing on its applicability in therapies and transplants. The results show that 3D bioprinting has already achieved significant advances in clinical and laboratory applications, although it still faces technical and ethical challenges. It is concluded that the technology is promising and has the potential to transform personalized medicine, but requires investment in research, regulation, and infrastructure before its large-scale use becomes viable.

Keywords: Biotechnology. Tissue engineering. Tissue regeneration. Transplants.

1. Introducción

En los últimos años, los avances de la ingeniería biomédica han transformado significativamente la forma en que la medicina aborda el tratamiento de enfermedades crónicas, lesiones graves e insuficiencia orgánica. Uno de los campos más innovadores y prometedores de esta área es la bioimpresión 3D, una tecnología que utiliza impresoras tridimensionales adaptadas para fabricar tejidos vivos y, en el futuro, órganos humanos. Mediante biotintas compuestas por células vivas y materiales biocompatibles, es posible crear estructuras complejas con precisión micrométrica (Noor et al., 2019).

El desarrollo de la bioimpresión surgió como respuesta a la creciente demanda de trasplantes y a la escasez de órganos disponibles para donación. Según la Organización Mundial de la Salud, miles de pacientes esperan un trasplante, afrontan largas listas y, en muchos casos, no sobreviven hasta que aparece un órgano compatible. La posibilidad de bioimprimir tejidos a medida con células del propio paciente representa una solución revolucionaria para este escenario (Murphy; De Coppi; Atala, 2020).

La bioimpresión 3D logró sus primeros avances significativos a finales de la década de 1990. En 1999, investigadores del Instituto Wake Forest de Medicina Regenerativa crearon un

andamio sintético de vejiga humana mediante técnicas de impresión 3D. Posteriormente, en 2003, Thomas Boland desarrolló la primera bioimpresora 3D, lo que marcó un punto de inflexión en la ingeniería de tejidos. Desde entonces, la tecnología ha evolucionado considerablemente y ha permitido imprimir estructuras complejas, como vasos sanguíneos, piel, cartílagos y huesos, con aplicaciones prometedoras en cirugías y terapias regenerativas (Trevizan; Borges; Barud, 2022).

Brasil cuenta con uno de los sistemas de trasplantes más sólidos del mundo y ocupa el segundo lugar en números absolutos, solo por detrás de Estados Unidos. En 2023, el país registró 29.261 trasplantes, la cifra más alta de su historia, lo que representó un aumento del 11% respecto del año anterior. A pesar de este avance, persisten desafíos importantes: más de 43 mil personas esperan trasplantes de órganos y cerca de 28 mil aguardan trasplantes de córnea. Además, la tasa de negativa familiar a la donación de órganos continúa siendo elevada, pues más del 40% de las familias no autoriza la extracción después de la muerte de un ser querido (AMB, 2024).

Además de los trasplantes, la bioimpresión 3D se ha utilizado para producir tejidos artificiales destinados a pruebas de medicamentos y cosméticos y a estudios clínicos, lo que reduce el uso de animales de laboratorio y ofrece modelos más precisos de la fisiología humana. Estas estructuras impresas también favorecen el avance de la medicina personalizada al permitir terapias más eficaces y seguras. Pese a sus numerosos beneficios, todavía deben superarse desafíos técnicos y científicos. Replicar la complejidad de un órgano humano, especialmente su vascularización y sus funciones específicas, exige amplios conocimientos multidisciplinarios de ingeniería, biología, medicina y ciencia de los materiales. La ética, los costos de producción y la regulación también requieren un debate profundo (Murphy; Atala, 2014).

Ante este panorama, la bioimpresión 3D de tejidos y órganos se presenta como una alternativa tecnológica prometedora, capaz de transformar el futuro de la medicina regenerativa. El estudio de este tema es esencial para comprender sus límites, su potencial y los impactos sociales, económicos y científicos que puede generar. Al permitir la producción de tejidos y órganos personalizados, la bioimpresión 3D puede satisfacer la demanda de trasplantes, reducir el rechazo inmunológico y acelerar el desarrollo de terapias más eficaces (Gungor-Ozkerim et al., 2018).

Según los datos más recientes divulgados por el Ministerio de Salud, Brasil alcanzó en 2023 el mayor número de trasplantes de órganos de los últimos diez años. Entre enero y septiembre se realizaron 6.766 trasplantes de órganos sólidos, un aumento del 11,7% respecto del mismo período de 2022, cuando se contabilizaron 6.035 procedimientos. También creció el

número de donantes efectivos: en el mismo período se concretaron 3.000 donaciones, un incremento del 17% frente a las 2.004 registradas el año anterior (Brasil, 2024).

El riñón fue el órgano más trasplantado, con el 66,72% de los procedimientos, seguido del hígado (1.777 trasplantes) y el corazón (325 trasplantes). El número de trasplantes de córnea también aumentó y alcanzó 11.952 cirugías entre enero y septiembre de 2023, frente a 10.344 en el mismo período de 2022. Estas cifras reflejan los esfuerzos continuos del Sistema Nacional de Trasplantes (SNT) y del Sistema Único de Salud (SUS) para ampliar el acceso y mejorar la eficiencia de los procedimientos de trasplante en el país (Brasil, 2024).

La escasez de órganos para trasplante, sumada al riesgo de rechazo inmunológico y a la dependencia de tratamientos invasivos, constituye un desafío constante para la medicina contemporánea. La bioimpresión 3D surge como una alternativa innovadora y viable, ya que permite no solo crear tejidos artificiales para uso terapéutico, sino también ofrecer soluciones para la investigación de fármacos y cosméticos. Estudiar esta tecnología es fundamental para fomentar debates científicos y éticos y proponer caminos que aceleren su aplicación segura y eficiente en la práctica clínica.

En este contexto surge el siguiente problema de investigación: ¿cómo puede la bioimpresión 3D de tejidos y órganos contribuir a solucionar la escasez de órganos para trasplante y mejorar los resultados de los tratamientos regenerativos?

En este sentido, el objetivo general fue investigar el potencial de la bioimpresión 3D para producir tejidos y órganos humanos, con énfasis en su aplicabilidad en trasplantes y terapias regenerativas. Los objetivos específicos son analizar los principales métodos y materiales utilizados en la bioimpresión 3D de tejidos y órganos; evaluar los desafíos técnicos, éticos y regulatorios relacionados con la implementación de esta tecnología; e investigar estudios de caso y trabajos actuales que demuestren la eficacia de la bioimpresión 3D en aplicaciones clínicas.

2. Metodología

Este estudio se caracterizó como una investigación cualitativa, exploratoria y descriptiva cuyo objetivo fue comprender el estado actual de la tecnología de bioimpresión 3D aplicada a la producción de tejidos y órganos, así como sus posibilidades y limitaciones. El enfoque cualitativo permitió realizar un análisis interpretativo y profundo de los datos obtenidos de la literatura científica.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 20/08/2026 | aceito: 23/08/2026 | publicação: 26/08/2026

La investigación se desarrolló mediante una revisión integrativa y utilizó como fuentes principales artículos científicos, libros y publicaciones especializadas en bioingeniería, biotecnología, medicina regenerativa y ciencia de los materiales. Las bases de datos consultadas fueron SciELO, PubMed, Google Académico, Periódicos CAPES, ScienceDirect e IEEE Xplore, y abarcaron publicaciones de los últimos diez años. Se utilizaron los descriptores "Bioimpresión 3D", "Ingeniería de tejidos", "Medicina regenerativa" y "Trasplantes", incluidos en los Descriptores en Ciencias de la Salud (DeCS).

Los criterios de inclusión fueron publicaciones revisadas por pares y disponibles en texto completo, textos que abordaran específicamente la bioimpresión de tejidos u órganos, estudios de caso aplicados y artículos originales. Los criterios de exclusión comprendieron materiales sin fundamento científico, artículos duplicados o desactualizados, publicaciones sin relación directa con el tema, tesis y disertaciones.

Los datos se organizaron por ejes temáticos y se analizaron mediante la técnica de análisis de contenido de Bardin (2011), lo que permitió identificar patrones, tendencias y lagunas en la literatura actual. Los resultados se discutieron a la luz de los objetivos propuestos y de las contribuciones teóricas de los autores consultados.

Dado que esta revisión se basó exclusivamente en publicaciones disponibles en el dominio público, no fue necesario someterla a un Comité de Ética en Investigación. Todos los artículos se consultaron legalmente y fueron seleccionados y utilizados de acuerdo con criterios científicos y éticos.

3. Resultados

La investigación se realizó mediante una búsqueda sistematizada en las bases de datos seleccionadas, utilizando los descriptores establecidos. Tras la búsqueda inicial, los estudios se filtraron con base en los criterios de inclusión y exclusión definidos. La Figura 1 presenta la metodología aplicada en este proceso, incluido el número total de estudios encontrados y seleccionados para integrar esta revisión de la literatura.

Etapa	Descripción
Identificación	Registros identificados: Google Académico (n = 150); PubMed (n = 90); SciELO (n = 60); total en bases de datos (n = 300); otras fuentes (n = 20); total general identificado (n = 320).
Eliminación	Registros eliminados antes del cribado: duplicados (n = 20) y registros eliminados por otros motivos (n = 10).
Otros métodos	Registros identificados en sitios web (n = 300) y organizaciones (n = 20).
Cribado	Registros seleccionados (n = 280); registros excluidos (n = 40).
Elegibilidad	Informes evaluados para determinar su elegibilidad (n = 120); informes excluidos por estar fuera del alcance o carecer de datos clínicos pertinentes.
Inclusión	Estudios incluidos en la revisión integrativa (n = 5).

Figura 1 – Descriptores utilizados en la búsqueda, bases de datos y estudios seleccionados, publicados entre 2020 y 2025 (Fuente: elaboración propia, 2025).

Después del cribado inicial, se evaluó la pertinencia temática de los títulos y resúmenes y, a continuación, se leyeron íntegramente los artículos seleccionados. El proceso de selección se representó mediante un diagrama de flujo PRISMA que incluyó las etapas de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión y dio como resultado cinco estudios utilizados en el análisis final.

La Tabla 1 muestra que los artículos analizados sobre bioimpresión 3D de tejidos y órganos se publicaron entre 2016 y 2025. De los cinco artículos seleccionados, dos se publicaron en 2023, uno en 2016, uno en 2025 y uno en 2020, lo que demuestra el crecimiento continuo del interés de la comunidad científica por aplicar la bioimpresión 3D a la medicina regenerativa.

En cuanto a los diseños metodológicos, predominaron las revisiones de la literatura y los estudios experimentales de laboratorio, especialmente los orientados al desarrollo de biotintas, andamios y técnicas de bioimpresión para tejidos como la piel, el cartílago y el músculo cardíaco. Estudios como el de Wu, Zhu y Woo (2023) presentaron ensayos experimentales de bioimpresión con potencial traslacional, mientras que otros, como Matai et al. (2020), realizaron análisis conceptuales y tecnológicos de los avances en este campo.

Entre los principales objetivos investigados se destacan la definición y mejora de biotintas, el desarrollo de tejidos funcionales y vascularizados, la evolución de las técnicas de bioimpresión y el análisis de las perspectivas clínicas y regulatorias para su uso en trasplantes.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O
Saber. ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
Ano VII, v.1 2026 | submissão: 20/08/2026 | aceito: 23/08/2026 | publicação: 26/08/2026

Los principales resultados indican avances significativos en la viabilidad celular y la biocompatibilidad de las biotintas, así como en la precisión estructural de las impresiones tridimensionales. También se evidenció el potencial de la tecnología para reducir la dependencia de donantes de órganos, mejorar la regeneración tisular e impulsar la medicina personalizada. Sin embargo, persisten desafíos relacionados con la vascularización eficiente, la reproducción funcional completa de los órganos y la estandarización de protocolos clínicos y éticos.

La Tabla 1, titulada “Investigación integrativa sobre bioimpresión 3D de tejidos y órganos”, presenta los estudios seleccionados para integrar la revisión.

Tabla 1 – Investigación integrativa sobre bioimpresión 3D de tejidos y órganos. Fuente: elaboración propia, 2025.

Autor y año	Título del artículo	Diseño	Objetivo del estudio	Principales resultados
JANG, Y. B. et al. (2023)	*Advances and innovations of 3D bioprinting skin: A brief review.*	Revisión narrativa.	Analizar innovaciones en la bioimpresión de piel.	Demuestra avances en biomateriales y precisión para construir tejidos dérmicos.
LI, J. et al. (2016)	*Recent advances in bioprinting techniques: approaches, applications and future prospects.*	Revisión integrativa.	Analizar enfoques y aplicaciones emergentes.	Señala avances en técnicas de impresión y analiza el potencial terapéutico y las limitaciones clínicas.
MATAI, I. et al. (2020)	*Progress in 3D bioprinting technology for tissue/organ regenerative engineering.*	Revisión de la literatura.	Revisar el progreso de la bioimpresión en ingeniería tisular.	Evidencia aplicaciones en órganos artificiales y perspectivas en medicina regenerativa.
PICADO-TEJERO, A. et al. (2025)	*Porous scaffolds for 3D bioprinting in tissue engineering: Recent advances and future directions.*	Revisión narrativa y crítica.	Analizar el uso de scaffolds porosos en bioimpresión.	Presenta nuevos enfoques de biopolímeros con alta porosidad e integración celular.
WU, R.; ZHU, W.; WOO, S. L. (2023)	*Advances in 3D Bioprinting: Techniques, Applications, and Future Directions for Cardiac Tissue Engineering.*	Revisión científica.	Revisar avances en bioimpresión cardíaca.	Destaca avances técnicos y biológicos en modelos cardíacos impresos en 3D.

Leyenda: 3D: tridimensional.

4. Discusión

4.1 Avances de la bioimpresión 3D en la medicina regenerativa

En los últimos años, varios estudios han demostrado avances significativos de la bioimpresión 3D para regenerar piel, cartílago y tejidos vasculares, lo que apunta a una aplicación cada vez más cercana a la clínica. Por ejemplo, Jang y colaboradores (2023) revisaron los desarrollos de la bioimpresión de piel (Advances and innovations of 3D bioprinting skin) y destacaron biotintas multicapa capaces de imitar las capas de la piel —epidermis, dermis e hipodermis—, incluir anexos cutáneos y mejorar la vascularización, lo que permite obtener modelos más realistas para la cicatrización o las pruebas in vitro.

En ingeniería del cartílago, Li y colaboradores (2016) exploraron diversas biotintas, técnicas y scaffolds para la regeneración condral. Mostraron que la combinación de hidrogeles con materiales reforzados y la impresión híbrida —que mezcla polímeros termoplásticos con hidrogeles— puede proporcionar mejores propiedades mecánicas sin comprometer la viabilidad celular.

Otro avance importante se refiere a la bioimpresión de tejidos vasculares, un tema crítico para aumentar el grosor y la funcionalidad de los tejidos bioimpresos. En una revisión reciente, Picado-Tejero et al. (2025) destacaron nuevos scaffolds porosos que favorecen el crecimiento celular y la perfusión de fluidos, y permiten estructuras más densas que toleran mejor el trasplante o la integración con tejidos del receptor.

En el ámbito cardíaco, Wu, Zhu y Woo (2023) analizaron técnicas y aplicaciones emergentes para la ingeniería cardíaca. Los autores señalaron avances no solo en la impresión de parches cardíacos con células madre o cardiomiocitos derivados de células pluripotentes, sino también en las vías de maduración de estas células después de la impresión, para que adquieran una morfología y funcionalidad próximas a las nativas, como contracción y conducción eléctrica.

En conjunto, estos avances indican una transición de los prototipos de bioimpresión de laboratorio hacia aplicaciones preclínicas más sólidas, con énfasis en la piel, el cartílago y el tejido cardíaco. Aunque todavía existen desafíos como la velocidad de maduración, la escalabilidad, la vascularización funcional y la integración inmunológica, las tendencias recientes son prometedoras para que las terapias regenerativas basadas en bioimpresión 3D lleguen al uso clínico a mediano y largo plazo.

La bioimpresión 3D ha evolucionado rápidamente en los últimos años, principalmente gracias a los avances de la ingeniería de materiales y al desarrollo de biotintas cada vez más

sofisticadas. Estas biotintas, compuestas por células vivas y biomateriales, han permitido construir estructuras tridimensionales más próximas a la realidad fisiológica y favorecer el crecimiento, la diferenciación y la maduración celular dentro de los andamios impresos (Li et al., 2016).

La ingeniería de la piel es uno de los principales campos beneficiados por la bioimpresión. Investigaciones recientes muestran que ya es posible producir sustitutos dérmicos complejos, con múltiples capas que reproducen la epidermis, la dermis y, en algunos casos, estructuras vasculares iniciales. Estos avances pueden servir no solo para tratar quemaduras extensas, sino también para reducir el uso de animales en pruebas farmacológicas y cosméticas (Jang et al., 2023).

La bioimpresión ha mostrado resultados alentadores en la ingeniería del cartílago. Los biomateriales utilizados, como hidrogeles a base de colágeno, ácido hialurónico y gelatina metacrilada, han demostrado buena biocompatibilidad y potencial para regenerar tejidos articulares. Esto es especialmente relevante para tratar lesiones de rodilla y cadera, comunes entre las personas mayores y los deportistas de alto rendimiento (Li et al., 2016).

El campo de la bioimpresión cardíaca también ha avanzado de manera significativa. Ya se están desarrollando estructuras como parches cardíacos vascularizados, y los estudios indican que estos tejidos pueden utilizarse para regenerar zonas lesionadas del corazón después de un infarto. Este tipo de intervención abre perspectivas para terapias regenerativas más eficaces y puede reducir la necesidad de trasplantes cardíacos (Wu; Zhu; Woo, 2023).

Además de los órganos sólidos, tejidos más complejos y metabólicamente activos, como el hígado y los riñones, se han convertido en objeto de estudios de bioimpresión. Aunque todavía no es posible imprimir órganos funcionales completos para trasplante, ya existen modelos de tejidos hepáticos y renales capaces de realizar funciones básicas como la filtración y el metabolismo. Estos modelos han resultado sumamente útiles en investigaciones sobre toxicidad de fármacos y en el estudio de enfermedades crónicas (Picado-Tejero et al., 2025).

Otro avance importante es la vascularización de los tejidos impresos. La creación de redes vasculares funcionales ha sido uno de los mayores desafíos de la bioimpresión, ya que la ausencia de vasos limita la supervivencia y la integración del tejido. Sin embargo, técnicas recientes como la impresión coaxial y el uso de factores angiogénicos en las biotintas han permitido avances significativos en este campo (Jang et al., 2023).

Desde una perspectiva traslacional, la bioimpresión también se ha convertido en una herramienta esencial para la medicina personalizada. El uso de células autólogas permite reducir el riesgo de rechazo inmunológico y crear tejidos adaptados a cada paciente. Este

potencial convierte la bioimpresión en una alternativa prometedora para el futuro de los trasplantes y de la terapia regenerativa (Wu; Zhu; Woo, 2023).

Por último, la bioimpresión 3D no se limita al desarrollo de órganos y tejidos para trasplante, sino que también abre nuevos caminos para la investigación científica. Los modelos in vitro de tejidos humanos impresos en 3D ofrecen mayor precisión para simular enfermedades, probar tratamientos y estudiar interacciones farmacológicas, lo que representa un cambio de paradigma en la investigación biomédica (Picado-Tejero et al., 2025).

4.2 Desafíos y limitaciones tecnológicas de la bioimpresión 3D

A pesar de los avances prometedores, la bioimpresión 3D todavía afronta varios desafíos tecnológicos y científicos que limitan su aplicación clínica inmediata. Uno de los principales obstáculos es la complejidad estructural y funcional de los órganos humanos, que no solo contienen distintos tipos de células, sino que también mantienen interacciones dinámicas con los sistemas vascular y nervioso. Replicar esta complejidad en el laboratorio exige estrategias de ingeniería de tejidos muy avanzadas (Matai et al., 2020).

La vascularización se considera una de las barreras más críticas para la bioimpresión a gran escala. Sin una red capilar funcional, los tejidos más gruesos sufren hipoxia y necrosis celular después de la impresión. Pese al desarrollo de técnicas de impresión coaxial y al uso de factores de crecimiento angiogénicos, aún no se ha logrado la integración plena de los tejidos bioimpresos con el sistema circulatorio del receptor (Jang et al., 2023).

Otro desafío importante se relaciona con la biocompatibilidad y la estabilidad mecánica de los biomateriales utilizados. Los hidrogeles, por ejemplo, ofrecen buena compatibilidad celular, pero presentan baja resistencia mecánica, lo que limita su aplicación en estructuras que requieren mayor soporte, como huesos y cartílagos. La búsqueda de materiales híbridos que concilien biocompatibilidad y robustez estructural es una de las principales líneas de investigación actuales (Li et al., 2016).

La viabilidad y la diferenciación celular también continúan siendo aspectos que requieren atención. Durante el proceso de impresión, las células se someten a esfuerzos mecánicos y térmicos que pueden comprometer su supervivencia. Mantener la funcionalidad celular a lo largo del tiempo es esencial para que el tejido impreso sea viable, especialmente en aplicaciones terapéuticas (Matai et al., 2020).

Desde el punto de vista de la escala de producción, otro gran desafío es pasar de la bioimpresión experimental a la producción a gran escala destinada a trasplantes. Actualmente,

la mayoría de los experimentos se realiza en entornos de laboratorio controlados, y el proceso regulatorio para su uso en seres humanos todavía requiere la estandarización de protocolos y ensayos clínicos rigurosos (Picado-Tejero et al., 2025).

Las cuestiones éticas y regulatorias también constituyen obstáculos para la bioimpresión. La manipulación de células humanas, especialmente células madre, suscita debates sobre los límites morales y el acceso equitativo a estas tecnologías. Además, es indispensable definir marcos regulatorios claros para garantizar la seguridad y la eficacia de los órganos bioimpresos destinados a trasplantes (Wu; Zhu; Woo, 2023).

Por último, debe considerarse la cuestión económica. Los altos costos relacionados con el desarrollo de bioimpresoras, biotintas y protocolos de ingeniería de tejidos hacen que esta tecnología sea inaccesible para muchos centros de investigación y sistemas de salud. Para que la bioimpresión se adopte ampliamente, será necesario desarrollar soluciones más económicas y escalables que garanticen su viabilidad en el contexto de la salud pública (Jang et al., 2023).

Así, aunque la bioimpresión 3D de tejidos y órganos representa una revolución en la medicina regenerativa, su consolidación como práctica clínica depende de superar barreras técnicas, regulatorias y económicas. La manera en que se afronten estos desafíos determinará si la tecnología deja de ser solo una promesa y se convierte en una realidad para tratar enfermedades complejas.

5. Consideraciones finales

La investigación integrativa sobre bioimpresión 3D de tejidos y órganos permitió comprender la amplitud de los avances científicos y tecnológicos que están transformando la medicina regenerativa. El análisis de los estudios mostró que esta tecnología ya superó la fase conceptual y se consolidó como una herramienta prometedora para crear tejidos funcionales, con potencial de aplicación clínica futura.

Se constató que el campo ha evolucionado rápidamente, impulsado por la mejora de las biotintas, los biomateriales y las técnicas de impresión, que hoy permiten construir estructuras cada vez más complejas y biocompatibles. La bioimpresión ha resultado especialmente relevante para desarrollar modelos biológicos que simulan tejidos humanos, lo que amplía las posibilidades de investigación en farmacología, toxicología y terapias personalizadas.

A pesar de este progreso, persisten desafíos considerables. La obtención de órganos totalmente funcionales y vascularizados continúa siendo un obstáculo técnico importante, al igual que la estandarización de los procesos y la regulación ética y legal de la aplicación clínica

de esta tecnología. Además, los altos costos y la necesidad de profesionales altamente cualificados indican que la consolidación de la bioimpresión como práctica médica todavía requiere tiempo, inversión y colaboración interdisciplinaria.

En términos generales, se concluye que la bioimpresión 3D constituye una de las fronteras más prometedoras de la biotecnología moderna. Sus avances apuntan hacia un futuro en el que será posible reducir la escasez de órganos para trasplante, minimizar el rechazo y ofrecer soluciones terapéuticas adaptadas a cada paciente. Por ello, la continuidad de las investigaciones y el fortalecimiento de las alianzas entre universidades, centros médicos e industria serán fundamentales para convertir este potencial en una realidad clínica.

Conflictos de interés

Nada que declarar.

6. Referencias

AMB. Associação Médica Brasileira. Brasília, urgente. Brasil teve 29 mil transplantes de órgãos em 2023, maior número da história. AMB, 2024. Disponible en: https://amb.org.br/brasilia-urgente/brasil-teve-29-mil-transplantes-de-orgaos-em-2023-maior-numero-da-historia/. Consultado el: 5 abr. 2025.

BARDIN, L. Análise de conteúdo. São Paulo: Edições 70, 2011. 229 p.

BRASIL. Presidência da República. Secretaria de Comunicação Social. São Paulo registra mais de 6,6 mil transplantes até setembro de 2023. 12 jan. 2024. Disponible en: https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias-regionalizadas/transplantes-em-2023/sao-paulo-registra-mais-de-6-6-mil-transplantes-ate-setembro-de-2023. Consultado el: 20 abr. 2025.

GROLL, J. et al. A definition of bioinks and their distinction from biomaterial inks. Biofabrication, v. 11, n. 1, p. 013001, 2019. DOI: 10.1088/1758-5090/aaec52.

GUNGOR-OZKERIM, P. Selcan et al. Bioinks for 3D bioprinting: an overview. Biomaterials Science, v. 6, n. 5, p. 915-946, 2018. Disponible en: https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2018/bm/c7bm00765e. Consultado el: 30 mar. 2025.

HEID, S.; BOCCACCINI, A. R. Advancing bioinks for 3D bioprinting using reactive fillers: a review. Acta Biomaterialia, v. 113, p. 1-22, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.actbio.2020.06.040. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1742706120305706. Consultado el: 16 set. 2025.

JANG, Young Bok et al. Advances and innovations of 3D bioprinting skin: A brief review. Bioengineering, v. 10, n. 1, p. 79, 2023.

LI, J. et al. Recent advances in bioprinting techniques: approaches, applications and future prospects. Journal of Translational Medicine, v. 14, art. 271, 2016. Disponible en: https://translational-medicine.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12967-016-1028-0.

MATAI, I. et al. Progress in 3D bioprinting technology for tissue/organ regenerative engineering. Biomaterials, v. 226, art. 119536, jan. 2020.

MIKOS, Antonios G. et al. Prevascularization of porous biodegradable polymers. Biotechnology and Bioengineering, v. 42, n. 6, p. 716-723, 1993. Disponible en: https://analyticalsciencejournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bit.260420606. Consultado el: 30 mar. 2025.

MURPHY, Sean V.; ATALA, Anthony. 3D bioprinting of tissues and organs. Nature Biotechnology, v. 32, n. 8, p. 773-785, 2014. Disponible en: https://www.nature.com/articles/nbt.2958. Consultado el: 30 mar. 2025.

MURPHY, Sean V.; DE COPPI, Paolo; ATALA, Anthony. Opportunities and challenges of translational 3D bioprinting. Nature Biomedical Engineering, v. 4, n. 4, p. 370-380, 2020. Disponible en: https://www.nature.com/articles/s41551-019-0471-7. Consultado el: 30 mar. 2025.

NOOR, N. et al. 3D printing of personalized thick and perfusable cardiac patches and hearts. Advanced Science, v. 6, n. 11, p. 1-11, 2019. DOI: https://doi.org/10.1002/advs.201900344. Disponible en: https://advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/advs.201900344. Consultado el: 30 mar. 2025.

OZBOLAT, Ibrahim T.; HOSPODIUK, Monika. Current advances and future perspectives in extrusion-based bioprinting. Biomaterials, v. 76, p. 321-343, 2016. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142961215008868. Consultado el: 30 mar. 2025.

PICADO-TEJERO, Ana et al. Porous scaffolds for 3D bioprinting in tissue engineering: Recent advances and future directions. Journal of Functional Biomaterials, v. 16, n. 9, p. 328, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/jfb16090328.

TREVIZAN, Lucas Noboru Vater; BORGES, Marco Antônio da Costa; BARUD, Hernane da Silva. Prospecção tecnológica: polímeros aplicados ao desenvolvimento de biotintas para bioimpressão 3D. Brazilian Journal of Development, v. 8, n. 5, p. 42163-42181, 2022. DOI: 10.34117/bjdv8n5-612. Disponible en: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/48740. Consultado el: 11 abr. 2025.

WU, Rui; ZHU, Wei; WOO, Sun Iung. Advances in 3D Bioprinting: Techniques, Applications, and Future Directions for Cardiac Tissue Engineering. Bioengineering, v. 10, n. 7, p. 842, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/bioengineering10070842. Consultado el: 11 abr. 2025.