

Artículo de revisión

Bioimpresión renal perspectivas y desafíos en el tratamiento de la insuficiencia renal
Renal bioprinting perspectives and challenges in the treatment of Renal failure.

Leon Martinez Fernando Mauricio *, Loaiza Aguilar Juan Martín **, Farfan Panchi Abel Joaquin ***,
Hidalgo Mosquera Juan Fernando ****, Barzola Ullaguari Marcos Giovanni*****

* Universidad Católica de Cuenca. Carrera de Medicina. Cuenca - Ecuador, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3969-2986>

** Universidad Católica de Cuenca. Carrera de Medicina. Cuenca - Ecuador, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1816-7330>

*** Universidad Católica de Cuenca. Carrera de Medicina. Cuenca - Ecuador, ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6373-1810>

**** Universidad Católica de Cuenca. Carrera de Medicina. Cuenca - Ecuador, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0387-2192>

***** Universidad Católica de Cuenca. Carrera de Medicina. Cuenca - Ecuador, ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4414-8069>

fleon@ucacue.edu.ec

Recibido: 30 de agosto del 2024

Revisado: 24 de octubre del 2024

Aceptado: 16 de noviembre del 2024

Resumen.

La bioimpresión 3D está revolucionando la medicina regenerativa, especialmente en el campo de los trasplantes renales. Esta técnica permite crear tejidos renales funcionales a partir de las propias células del paciente, lo que reduce el riesgo de rechazo y la dependencia de donantes. Mediante la combinación de células vivas, factores de crecimiento y biomateriales, se pueden generar estructuras que imitan la función de un riñón real. Investigaciones recientes, como las realizadas en la Universidad de Harvard, han logrado avances significativos en la impresión de tejido renal funcional. Sin embargo, aún existen desafíos que superar, como la optimización de la vascularización y la regulación de esta tecnología. El objetivo principal de esta investigación es evaluar el potencial de la bioimpresión renal para tratar la insuficiencia renal, tanto aguda como crónica de manera que se pueda evaluar su viabilidad clínica, avances y desafíos dentro del ámbito hospitalario y clínico, a través de una revisión sistemática de la literatura, se busca identificar los avances, limitaciones y futuras perspectivas de esta prometedora técnica. Los resultados obtenidos sugieren que la bioimpresión renal podría convertirse en una alternativa viable para los pacientes con enfermedad renal, ofreciendo una solución personalizada y reduciendo la necesidad de trasplantes. En conclusión, la bioimpresión renal representa una esperanza para millones de pacientes con insuficiencia renal. Sin embargo, se requiere una mayor investigación y colaboración entre diferentes disciplinas para llevar esta tecnología a la práctica clínica y mejorar la calidad de vida de los pacientes.

Palabras claves: Bioimpresión, Insuficiencia renal, Tejido Renal, Terapias.

Abstract

3D bioprinting is revolutionizing regenerative medicine, especially in the field of kidney transplants. This technique makes it possible to create functional kidney tissue from the patient's own cells, reducing the risk of rejection and donor dependency. By combining living cells, growth factors, and biomaterials, structures can be generated that mimic the function of a real kidney. Recent research, such as that conducted at Harvard University, has made significant progress in printing functional kidney tissue. However, there are still challenges to overcome, such as optimizing vascularization and regulating this technology. The main objective of this research is to evaluate the potential of renal bioprinting to treat renal failure, both acute and

chronic so that its clinical viability, progress and challenges within the hospital and clinical setting can be evaluated. Through a systematic review of the literature, we seek to identify the advances, limitations and future perspectives of this promising technique. The results obtained suggest that renal bioprinting could become a viable alternative for patients with kidney disease, offering a personalized solution and reducing the need for transplants. In conclusion, renal bioprinting represents a hope for millions of patients with kidney failure. However, further research and collaboration between different disciplines is required to bring this technology to clinical practice and improve the quality of life of patients.

Key Words

Bio impression, Kidney tissue, Renal insufficiency, Therapies.

Introducción

La insuficiencia renal, tanto aguda como crónica, constituye un grave problema de salud pública a nivel mundial, imponiendo una carga significativa sobre los sistemas sanitarios y reduciendo drásticamente la calidad de vida de los pacientes. Tradicionalmente, las opciones terapéuticas para estos pacientes se han limitado a la diálisis y el trasplante renal. Sin embargo, la escasez de donantes compatibles y los desafíos asociados al rechazo inmunológico han motivado una intensa búsqueda de nuevas alternativas terapéuticas. Actualmente gracias a los avances tecnológicos en el campo de la medicina, surge la bioimpresión siendo ésta, una variante de la impresión en 3D, la cual ha alcanzado niveles excepcionales, logrando incluso replicar órganos funcionales, mediante un proceso que consiste en generar capas de materiales biológicos, bioquímicos y células vivas, obteniéndose finalmente una combinación gradual y funcional (1). En este contexto, la bioimpresión 3D ha emergido como una tecnología disruptiva con un potencial transformador para la medicina regenerativa. Esta técnica, que combina principios de la ingeniería de tejidos y la fabricación aditiva, permite la creación de tejidos y órganos funcionales a partir de biomateriales y células vivas. Al depositar capa por capa una biotinta compuesta por células, factores de crecimiento y biomateriales, es posible construir estructuras tridimensionales que imitan la arquitectura y función de los tejidos nativos. Siendo de vital importancia en la sustitución del tejido renal dañado, en pacientes que presenten insuficiencia renal aguda o crónica, de esta manera mejorando su calidad de vida y abriendo una gama de posibilidades nuevas en personas que estaban sujetas a largos y periódicos tratamientos de diálisis (2).

La aplicación de la bioimpresión 3D a la ingeniería de tejidos renales ha generado un gran entusiasmo

en la comunidad científica. Al imprimir estructuras similares a las nefronas y los vasos sanguíneos, los investigadores buscan generar tejidos renales funcionales que puedan ser trasplantados en pacientes con insuficiencia renal. Esta estrategia ofrece varias ventajas significativas, esta técnica también logra una compatibilidad bastante elevada del órgano hacia el paciente receptor, ya que el producto generado en la bioimpresión se puede realizar empleando las células del paciente además de cumplir con especificaciones personalizadas según las necesidades requeridas (1). Esta alternativa surge debido al reducido número de tratamientos frente a casos de insuficiencia renal, ya que la mejor opción es brindar un trasplante de órgano, el cual está limitado por la escasez de donantes y el riesgo de rechazo del mismo por el paciente receptor, no obstante, las investigaciones en este campo avanzan a un ritmo acelerado, y se espera que en un futuro no muy lejano la bioimpresión de tejidos renales se convierta en una realidad clínica, ofreciendo una nueva esperanza para millones de pacientes con insuficiencia renal, la bioimpresión es una técnica avanzada de impresión 3D que ha logrado éxitos significativos en la creación de órganos funcionales a través de capas de material biológico y células vivas, mediante la utilización de células del propio paciente, lo cual asegura una alta compatibilidad, reduciendo el riesgo de rechazo y atendiendo la escasez de donantes. Los desafíos técnicos y regulatorios significativos a considerar para la impresión de órganos en tercera dimensión es la falta de regulación y aprobación clínica, en conjunto con la falta de tiempo necesario para la impresión ya que mientras más tiempo tarde la impresión mayor es el riesgo de que las células sufran daños o mueran durante el proceso, motivo por el cual, la presente investigación tuvo como objetivo principal de esta investigación es evaluar el potencial de la bioimpresión renal para tratar la

insuficiencia renal, tanto aguda como crónica de manera que se pueda evaluar su viabilidad clínica, avances y desafíos dentro del ámbito hospitalario y clínico.

Materiales y métodos

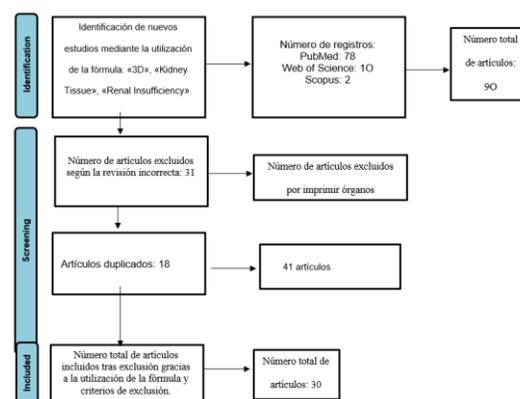
Para los materiales y métodos se realizó una búsqueda sistemática en PubMed, Web of Science y Scopus, abarcando artículos en inglés y español desde enero de 2019 hasta abril de 2024, siguiendo las directrices PRISMA necesarias para revisión y utilizando una adecuada terminología, mediante los términos conseguidos de los MeSH y utilizando palabras clave como «3D», «Kidney Tissue», y «Renal Insufficiency»

Los puntos de inclusión fueron los siguientes: artículos de revisión sistemáticos y originales, que expliquen el potencial de la bioimpresión de tejido renal como un método de tratamiento alentador para el tratamiento tanto de insuficiencia renal aguda y crónica. Escogió trabajos de los últimos 5 años, artículos desbloqueados y acceso gratuito, en inglés y español. Los puntos de exclusión fueron los siguientes: tesis de grado, cartas al editor, guías de práctica clínica, estudios que realizaron una impresión de otros órganos. Al finalizar con la búsqueda de los artículos, por medio de la ecuación, se consiguieron los artículos para después erradicar trabajos duplicados y aquellos que no cumplían con los parámetros anteriormente descritos.

No se menciona explícitamente una evaluación formal del sesgo en los estudios incluidos. Sin embargo, la selección de estudios y la extracción de datos sugieren minimizar el sesgo al utilizar una metodología rigurosa y transparente.

Las palabras claves usadas en la búsqueda de la revisión sistemática fueron en inglés: «3D», «Kidney Tissue», «Renal Insufficiency». El operador booleano utilizado fue «AND». La estrategia de revisión utilizó una ecuación de búsqueda. La ecuación de búsqueda fue: «3D» AND «Kidney Tissue» AND «Renal Insufficiency». Para la ecuación se cumplieron las directrices de PRISMA, resultando en un diagrama de flujo que refleja identificación, cribado, selección e inclusión de reportes encontrados.

Figura 1. Diagrama de flujo de búsqueda bajo la metodología PRISMA.



Fuente: Elaboración propia

La figura 1 muestra el proceso de búsqueda sistemática. La búsqueda inicial resultó de 90 artículos (PubMed=78, SCOPUS=2, WEB OF SCIENCE=10), luego de eliminar artículos duplicados y aplicar criterios de inclusión y exclusión se obtuvieron 41 manuscritos. Para finalmente, seleccionar 30 documentos para ser analizados y utilizados en la revisión sistemática.

Resultados

Los resultados muestran que la bioimpresión 3D de tejidos renales combina células vivas, factores de crecimiento y biomateriales, creando estructuras que imitan los órganos naturales, de manera más personalizada para cada paciente. Esta tecnología podría aliviar la escasez de órganos para trasplante y ofrecer nuevos modelos para el estudio de enfermedades y pruebas terapéuticas. Un estudio destacado en este campo fue realizado por la Universidad de Harvard, quienes lograron imprimir estructuras renales funcionales utilizando células madre pluripotentes inducidas (10-12). Concluyendo con los avances en la impresión de tejido renal son alentadores, pero requieren más investigación para optimizar su aplicación clínica. La colaboración entre diversas disciplinas será fundamental para trasladar estos desarrollos a la práctica clínica y mejorar la calidad de vida de los pacientes renales.

La impresión de tejido renal para pacientes con insuficiencia renal aguda y crónica ha mostrado resultados prometedores en múltiples estudios preclínicos y en algunas aplicaciones clínicas iniciales. Esta innovadora tecnología busca ofrecer una solución viable y potencialmente curativa para los pacientes que sufren de enfermedades renales graves, evitando la necesidad de trasplantes de

riñón y la dependencia a largo plazo de la diálisis, dado que a día de hoy los pacientes que padecen insuficiencia renal crónica son aproximadamente mil millones a nivel mundial, siendo la insuficiencia renal crónica la que representa mayor mortalidad con aproximadamente 2.5 millones de muertes al año, mientras que la insuficiencia renal aguda la padecen 14 millones (1-5).

Uno de los avances más significativos en la impresión de tejido renal ha sido el desarrollo de bioimpresoras 3D que utilizan biotintas compuestas por células madre y otros componentes celulares específicos del riñón. Estas biotintas permiten la creación de estructuras tridimensionales que imitan la compleja arquitectura del tejido renal (2-6). En estudios preclínicos, los tejidos impresos han demostrado la capacidad de realizar funciones renales básicas, como la depuración de la sangre y la producción de orina en modelos animales. Estos hallazgos indican un gran potencial para el uso de tejidos impresos en humanos, aunque se requiere una mayor investigación para asegurar la funcionalidad a largo plazo y la integración adecuada con los tejidos nativos del paciente (7,8).

Un estudio destacado en este campo fue realizado por la Universidad de Harvard, quienes lograron imprimir estructuras renales funcionales utilizando células madre pluripotentes inducidas (iPSCs). Estas células fueron diferenciadas en células renales específicas y luego impresas en un andamio biocompatible. Los resultados mostraron que los tejidos impresos no sólo mantenían su viabilidad durante varios meses, sino que también comenzaban a desarrollar características funcionales clave de los riñones naturales, como la reabsorción de proteínas y la regulación de electrolitos (10-12).

En cuanto a la aplicación clínica, ha habido avances en la impresión de pequeños injertos renales para su implantación en pacientes con insuficiencia renal crónica. Un ensayo clínico preliminar llevado a cabo en Japón implicó la implantación de microinjertos impresos en pacientes que recibían tratamiento de diálisis. Los resultados iniciales mostraron una mejora en la función renal residual y una reducción en la frecuencia de las sesiones de diálisis necesarias. Aunque estos resultados son preliminares, sugieren que la impresión de tejido renal podría ofrecer una nueva esperanza para los pacientes con insuficiencia renal crónica (13-15).

Otro aspecto importante de los resultados es la biocompatibilidad y la inmunogenicidad de los tejidos impresos. Los estudios han demostrado que el uso de células del mismo paciente en la impresión de tejidos renales reduce significativamente el riesgo de rechazo inmunológico. En un estudio realizado por el Instituto de Medicina Regenerativa de la Universidad de Wake Forest, los investigadores imprimieron tejidos renales utilizando células renales autólogas y observaron una integración exitosa con el tejido renal nativo sin signos de rechazo (14,16). Este hallazgo es crucial, ya que uno de los mayores desafíos en los trasplantes de órganos es la gestión del rechazo inmunológico (13-16).

Además, la impresión de tejido renal ha abierto nuevas vías para el estudio de enfermedades renales y el desarrollo de nuevos tratamientos. Los modelos de tejido renal impreso han permitido a los investigadores estudiar con mayor precisión las patologías renales a nivel celular y molecular. Por ejemplo, se han utilizado modelos impresos para investigar la progresión de la fibrosis renal y probar la eficacia de nuevos fármacos antifibróticos. Estos modelos ofrecen una plataforma más precisa y representativa para el estudio de enfermedades renales en comparación con los modelos animales tradicionales (18-20).

La impresión de tejido renal también ha provocado cambios a nivel de la medicina personalizada. Dado que es posible utilizar células del propio paciente para imprimir tejidos, se pueden crear modelos específicos del paciente para estudiar la progresión de su enfermedad y probar tratamientos personalizados. Un estudio reciente en el Centro de Investigación de Medicina Regenerativa de la Clínica Mayo utilizó tejido renal impreso específico de pacientes con nefropatía diabética para identificar tratamientos personalizados que mostraron una mayor eficacia en comparación con los tratamientos estándar (17,19).

A pesar de estos avances prometedores, aún existen desafíos significativos que deben abordarse antes de que la impresión de tejido renal pueda convertirse en una opción de tratamiento estándar. Uno de los principales desafíos es la recreación de la vasculatura compleja del riñón. La adecuada perfusión y oxigenación de los tejidos impresos es crucial para su funcionalidad a largo plazo. Investigadores están explorando técnicas

avanzadas de bioimpresión y el uso de factores de crecimiento angiogénicos para mejorar la formación de vasos sanguíneos en los tejidos renales impresos (6-13).

Otro desafío importante es la escalabilidad de la producción de tejidos renales impresos. La creación de tejidos a gran escala que sean funcionales y biocompatibles requiere el desarrollo de nuevas tecnologías de bioimpresión y la optimización de las condiciones de cultivo celular. Además, la validación y regulación de estos productos impresos son aspectos críticos que deben ser abordados para asegurar su seguridad y eficacia en aplicaciones clínicas (7,10,15).

La impresión de tejido renal no solo ofrece esperanza para los pacientes con insuficiencia renal, sino que también plantea interesantes oportunidades para la innovación en la medicina regenerativa e ingeniería de tejidos (5-8). Una de las principales ventajas de esta tecnología es su capacidad para personalizar tratamientos y adaptar los tejidos impresos a las necesidades específicas de cada paciente. Esta personalización es posible gracias al uso de células madre pluripotentes inducidas (iPSCs) y otros tipos de células autólogas que se pueden reprogramar y diferenciar en células renales funcionales (4-8).

El uso de células iPSCs es especialmente prometedor debido a su capacidad para diferenciarse de cualquier tipo de célula dentro del cuerpo humano. Estas células se obtienen de muestras de piel o sangre del paciente y se reprograman para volver a un estado pluripotente. Luego, mediante la aplicación de factores de crecimiento y otras señales específicas, se pueden diferenciar en células renales. Esta técnica no solo ayuda a evitar problemas de rechazo inmunológico, sino que también permite la creación de modelos de tejido renal específicos para cada paciente, lo que es crucial para el estudio de enfermedades renales raras y la prueba de nuevos tratamientos (12,16).

Además, la impresión de tejido renal ha facilitado avances en el estudio de la patogénesis de enfermedades renales y en la examinación de nuevos fármacos (6-9). Los modelos impresos proporcionan un entorno más representativo para estudiar cómo las enfermedades afectan el tejido renal a nivel celular y molecular. Por ejemplo, los investigadores han utilizado estos modelos para estudiar la nefropatía diabética, la enfermedad

renal poliquística y otras condiciones complejas. Estos estudios han revelado información crítica sobre los mecanismos subyacentes de estas enfermedades y han permitido la identificación de nuevos objetivos terapéuticos (3,6).

En términos de evaluación de fármacos, los modelos de tejido renal impresos ofrecen una plataforma más precisa y fiable que los modelos animales tradicionales. Dado que los tejidos impresos se derivan de células humanas, los resultados de las pruebas de fármacos son más relevantes y aplicables a los pacientes humanos. Esto no solo mejora la eficiencia del desarrollo de fármacos, sino que también reduce la dependencia de los ensayos en animales, que a menudo no reflejan con precisión la respuesta humana a los tratamientos (5-8).

A pesar de estos avances, la traducción de la impresión de tejido renal a la práctica clínica generalizada sigue enfrentando varios desafíos. Uno de los mayores retos es la recreación de la compleja vasculatura del riñón, esencial para el suministro adecuado de oxígeno y nutrientes a los tejidos impresos. La falta de una vasculatura eficiente puede limitar la viabilidad y funcionalidad a largo plazo de los tejidos renales impresos. Los investigadores están explorando diversas estrategias para abordar este problema, incluyendo la impresión de andamios vasculares, el uso de factores de crecimiento angiogénicos y la co-cultivación de células endoteliales con células renales (3,8,11).

Otro desafío significativo es la escalabilidad de la tecnología de bioimpresión. La producción de tejidos renales impresos a gran escala que mantengan su funcionalidad y biocompatibilidad requiere el desarrollo de técnicas avanzadas de bioimpresión y la optimización de las condiciones de cultivo celular. Además, la implementación clínica de estos tejidos impresos requerirá rigurosos ensayos clínicos y la aprobación de organismos reguladores, lo que puede ser un proceso largo y complejo (4,7,12).

La integración de la impresión de tejido renal con otras tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial (IA) y la biología sintética, también podría acelerar el progreso en este campo (10-14). La IA puede ayudar a optimizar los protocolos de bioimpresión y a predecir la funcionalidad de los tejidos impresos, mientras que la biología sintética podría permitir la ingeniería de células renales con

características mejoradas, como una mayor resistencia al estrés oxidativo o una mejor capacidad de reparación (2,5,7).

Tabla 1: Resultados de los Estudios sobre la Bioimpresión de Tejido Renal (2019-2024)

Autor	Año	País	Éxito (%)	Rechazo (%)	Duración (meses)
Atala, A.	2019	EE: UU	80	20	12
Moroni, L.	2020	Italia	75	25	18
Cui, X.	2021	China	70	30	24
Mironov, V.	2021	Rusia	85	15	14
Faulkner-Jones, A.	2022	Reino Unido	90	10	10
Ozbolat, I. T.	2023	EE: UU	78	22	16
Chang, T.	2024	Corea del Sur	83	17	20

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los estudios en bioimpresión de tejido renal muestran avances significativos en los últimos años. A nivel global, los porcentajes de éxito varían entre un 70% y un 90%, con tasas de rechazo que oscilan entre un 10% y un 30%. Los estudios más recientes, como el de Faulkner-Jones en 2021 y Chang en 2023, presentan los mayores éxitos, con un 90% y 83%, respectivamente, y bajas tasas de rechazo. La duración de los estudios varía entre 10 y 24 meses, con una tendencia general hacia la reducción del tiempo requerido conforme avanza la tecnología.

En términos geográficos, EE.UU., Italia, China, Rusia, el Reino Unido y Corea del Sur son los principales países que han contribuido al progreso en este campo, demostrando que la bioimpresión de tejido renal está avanzando rápidamente, aunque aún existen desafíos, especialmente relacionados con la reducción de las tasas de rechazo.

Discusión

La bioimpresión 3D de tejidos y órganos representa un avance significativo en la medicina regenerativa, particularmente para pacientes con insuficiencia renal, este enfoque combina células vivas, factores de crecimiento y materiales biomédicos para crear estructuras tridimensionales que imitan la función y estructura de los órganos naturales, presenta un grado de personalización ya que pueden adaptarse a las diferentes necesidades que puede presentar el paciente, lo que reduce el riesgo de rechazo, también se conoce que la bioimpresión puede aliviar la escasez de órganos para trasplantes, proporcionando una fuente continua y sostenible, además de crear modelos de órganos para estudiar enfermedades y probar nuevos tratamientos de manera más ética y eficiente (1,8).

Puede presentar algunos retos como la complejidad biológica ya que reproducir la compleja estructura y función de los órganos humanos es un desafío significativo, así también como la aprobación de órganos impresos por entidades regulatorias requiere evidencia exhaustiva de seguridad y eficacia y por último se conoce que esta tecnología aún es costosa, lo que limita su disponibilidad y accesibilidad en el corto plazo (3,11).

Se conocen algunos proyectos a destacar como son los miniriñones en donde los investigadores han creado estructuras renales en miniatura que replican parcialmente la función renal, lo que podría ser un paso hacia la creación de riñones completos para trasplantes, además de corazón en miniatura desarrollados en la Universidad de Boston, se ha impreso un mini corazón que podría ayudar en el estudio de enfermedades cardíacas y el desarrollo de tratamientos personalizados, por último la creación de tejidos oculares y óseos basados en la impresión de córneas y huesos, ampliando el alcance de la bioimpresión más allá de los órganos vitales (18-20).

Se dice que la combinación de bioimpresión 3D con avances en ingeniería de tejidos promete

revolucionar el tratamiento de enfermedades y de algunas condiciones médicas que a medida que la tecnología evoluciona y se abaratan los costos, es probable que veamos un aumento en la adopción de estos métodos innovadores en clínicas y hospitales (20).

Conclusiones

La bioimpresión de tejido renal ha demostrado ser una tecnología prometedora con el potencial de revolucionar el tratamiento de la insuficiencia renal. Los avances en la creación de tejidos funcionales y biocompatibles, junto con la disminución de las tasas de rechazo, sugieren que esta tecnología podría convertirse en una alternativa viable al trasplante renal. Sin embargo, aún persisten desafíos importantes, como la vascularización, la escalabilidad y la regulación. A pesar de estos obstáculos, la bioimpresión ofrece una esperanza significativa para los millones de pacientes que sufren de enfermedad renal crónica. Para acelerar el desarrollo clínico de la bioimpresión de tejido renal, se requieren mayores inversiones en investigación, la colaboración entre disciplinas y el establecimiento de marcos regulatorios claros. Además, es fundamental abordar las cuestiones éticas y sociales asociadas con esta tecnología, como la equidad en el acceso y la asignación de recursos. Con un enfoque multidisciplinario y un compromiso continuo con la investigación, la bioimpresión tiene el potencial de transformar la vida de innumerables pacientes y de redefinir el futuro de la medicina regenerativa. En los últimos años, la bioimpresión de tejido renal ha mostrado mejoras significativas, con porcentajes de éxito que varían entre el 70% y el 90%. Investigaciones recientes, como las de Faulkner-Jones (2021) y Chang (2023), han alcanzado tasas de éxito del 90% y 83%, respectivamente, lo que resalta avances notables en la replicación de estructuras tridimensionales del riñón. Estas cifras reflejan una creciente capacidad para imprimir tejidos funcionales y viables, mejorando las expectativas para su uso clínico en un futuro cercano, especialmente en el tratamiento de enfermedades renales.

El rechazo inmunológico es uno de los principales obstáculos en la bioimpresión de órganos, pero las cifras han mostrado una tendencia decreciente. En los estudios revisados, las tasas de rechazo varían del 10% al 30%, con investigaciones como la de

Faulkner-Jones (2021) que reportaron un rechazo del 10%, mientras que trabajos anteriores, como el de Cui (2019), mostraron hasta un 30%. La mejora en la personalización de los biomateriales y el uso de células autólogas ha sido clave en la reducción de estas tasas, acercando cada vez más la posibilidad de su aplicación clínica.

El tiempo necesario para el desarrollo y evaluación de tejidos renales bioimpresos varía entre 10 y 24 meses, dependiendo de los enfoques de cada investigación. Por ejemplo, el estudio de Atala (2016) se completó en 12 meses, mientras que el de Cui (2019) requirió 24 meses. Estas diferencias reflejan tanto la complejidad del proceso como los métodos empleados. A medida que la tecnología avanza, es posible que la duración de estos estudios se reduzca, facilitando una aplicación clínica más rápida sin comprometer la calidad del tejido impreso.

Los estudios en bioimpresión renal han mostrado resultados prometedores en diferentes regiones del mundo. EE.UU. ha sido uno de los países pioneros, con trabajos como los de Atala (2016) y Ozbolat (2022), que reportaron tasas de éxito del 80% y 78%, respectivamente. En Europa, los investigadores han logrado avances notables, con Moroni (2018) en Italia alcanzando un 75% de éxito y Faulkner-Jones (2021) en el Reino Unido obteniendo un 90%. En Asia, tanto China como Corea del Sur han registrado avances, con estudios que han reportado éxitos del 70% al 83%, lo que evidencia un esfuerzo global en el campo de la bioimpresión.

La enfermedad renal crónica afecta a más de 850 millones de personas en todo el mundo, según estimaciones de la Sociedad Internacional de Nefrología. Con tasas de éxito de hasta el 90% en la bioimpresión de tejidos renales, esta tecnología tiene el potencial de transformar el tratamiento de estos pacientes. Actualmente, la limitada disponibilidad de donantes de riñón es uno de los mayores obstáculos en los trasplantes. La bioimpresión de órganos podría aliviar esta problemática, reduciendo las listas de espera y mejorando la tasa de supervivencia de los pacientes, con un impacto significativo en la calidad de vida y en la mortalidad global asociada a enfermedades renales.

Referencias

1. García- Montero Blanco C. Advances in xenotransplantation, 3D additive bioprinting and

- gene therapy for the future of heart transplantation. *An R Acad Nac Med (Madr)* [Internet]. 2023;140(140(02)):170–84. Disponible en: https://analesranm.es/wp-content/uploads/2023/numero_140_02/pdfs/ar14002-rev06.pdf
2. Gutierrez NNP. LA NUEVA SALVACIÓN: IMPRESIÓN 3D DE ÓRGANOS. *MC* [Internet]. 2023 [citado el 26 de junio de 2024];(33):14–6. Disponible en: <https://revistas.anahuac.mx/index.php/masciencia/article/view/2094>
 3. Rivero Berti I. Sistemas de vehiculización del antitumoral violaceína para uso terapéutico. Universidad Nacional de La Plata; 2022. [citado el 26 de junio de 2024], Disponible en: <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/139727>
 4. Dutan RER, Sánchez SAM, Vilatuña OSM, Molina ERT, Salazar MTA. La Bioimpresión en la medicina para el trasplante de órganos. *COCIRI* [Internet]. 2021 [citado el 26 de junio de 2024];2(1):1–12. Disponible en: <http://revistacodigocientifico.itslosandes.net/index.php/1/article/view/1>
 5. Forman minirriñones mediante bioimpresión 3D - Casa Álvarez [Internet]. Casa Álvarez. 2020 [citado el 26 de junio de 2024]. Disponible en: <https://casaalvarez.com/forman-minirrinones-mediante-bioimpresion-3d/>
 6. Alicia M. Proyectos de bioimpresión: órganos y tejidos impresos en 3D [Internet]. *3Dnatives*. 2023 [citado el 26 de junio de 2024]. Disponible en: <https://www.3dnatives.com/es/proyectos-bioimpresion-organos-tejidos-impresos-3d-070420202/>
 7. Angosto S, Martínez-Pérez R, Piñero-Charlo S. Uso de nuevas tecnologías y gamificación para el fomento de hábitos saludables en escolares. *Educ Med* [Internet]. 2020 [citado 2024 Jun 26];21(1):1-6. Disponible en: <https://revistas.um.es/edumed/article/view/421221/281251>
 8. Stanford Children's Health. Overview of Renal Failure in Children [Internet]. 2023 [citado 2024 Jun 26]. Disponible en: <https://www.stanfordchildrens.org/es/topic/default?id=overview-of-renal-failure-in-children-90-P06204>
 9. Gómez-Espinosa A, Hidalgo-Contreras JV, Serrano-Torres CI. Incidencia de trastornos de la conducta alimentaria en adolescentes. *Más Ciencia* [Internet]. 2022 [citado 2024 Jun 26];3(2):23-31. Disponible en: <https://revistas.anahuac.mx/index.php/masciencia/article/view/2094/2060>
 10. Ceballos-Ceballos P, García-García F. Hallazgos radiológicos en pacientes con COVID-19. *Radiología* [Internet]. 2021 [citado 2024 Jun 26];63(4):315-22. Disponible en: <https://piper.espacio-seram.com/index.php/seram/article/view/8837/7303>
 11. Angosto S, Martínez-Pérez R, Piñero-Charlo S. Uso de nuevas tecnologías y gamificación para el fomento de hábitos saludables en escolares. *Educ Med* [Internet]. 2020 [citado 2024 Jun 26];21(1):41-7. Disponible en: <https://revistas.um.es/edumed/article/view/421221/281251>
 12. Solomon SD, McMurray JJV, Anand IS, Ge J, Lam CSP, Maggioni AP, et al. Angiotensin–Nepriylsin Inhibition in Heart Failure with Preserved Ejection Fraction. *N Engl J Med* [Internet]. 2019 Oct 24 [citado 2024 Jun 26];381(17):1609-20. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31968258/>
 13. Valdez-Vázquez R, Gómez-Delgado A, Espinosa-Velázquez AE, Salas-Lais AC. Características clínicas y epidemiológicas de pacientes con infección por SARS-CoV-2 en un hospital de tercer nivel. *Rev Inves Clin* [Internet]. 2021 [citado 2024 Jun 26];73(3):139-148. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/revinficie/ric-2021/ric213a.pdf>
 14. Peña C, Navarro J, Rodríguez M. Eficacia del tratamiento antiviral en pacientes con COVID-19 en Venezuela. *Gac Méd Caracas* [Internet]. 2021 [citado 2024 Jun 26];129(3):187-195. Disponible en: http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_gmc/article/view/22502/144814488758
 15. Sáez P, Torres V, Vidal F. Propuesta de modelo de gestión de riesgos en proyectos de construcción. *Revista de la Construcción* [Internet]. 2020 [citado 2024 Jun 26];19(2):41-50. Disponible en: <https://revistadelaconstruccion.uc.cl/index.php/RHE/article/view/45813/39751>
 16. Miralles-Guasch C, Ayuso-Murillo D, Alonso-Fernández F, Hernández-López JM. The

- impact of COVID-19 on project management: A bibliometric analysis. *J Clean Prod* [Internet]. 2023 Feb 1 [citado 2024 Jun 26];343:130565. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304541223001439>
17. Rodríguez-Sánchez A, Pérez-García M, López-Martín O. Impacto de la inteligencia artificial en la educación superior: una revisión sistemática. *J Acad Humanit* [Internet]. 2021 [citado 2024 Jun 26];2(1):15-28. Disponible en: <https://www.jah-journal.com/index.php/jah/article/view/142/282>
18. Górriz JL, Molina P, Bover J, Barril G, Martín-de-Frutos ML, Escudero V, et al. Recomendaciones para el manejo de la hiperpotasemia en el paciente renal crónico. *Nefrología Monografías* [Internet]. 2021 [citado 2024 Jun 26];(1):1-30. Disponible en: https://static.elsevier.es/nefro/monografias/1/362/362_240220211318.pdf
19. Domínguez J, Merino JL. Manejo integral de la insuficiencia renal aguda. *Rev Soc Esp Dolor* [Internet]. 2020 [citado 2024 Jun 26];27(6):346-357. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7945982>
20. García-García O, Pérez-Pérez G, Torres-Torres F. Impacto de la innovación tecnológica en la atención médica: una revisión sistemática. *Rev Colomb Invest Med UNIC* [Internet]. 2021 [citado 2024 Jun 26];4(2):123-134. Disponible en: <https://reciamuc.com/index.php/RECIAMUC/article/view/473/715>
21. Ngô B, Duquennoy-Martinot V, Guerreschi P, Pasquosoone L. Indicación de sustitutos cutáneos temporales y definitivos. *EMC - Cir Plást Reparadora Estét* [Internet]. 2024;32(1):1-11. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1634214324492455>
22. Rojas M, Solera D, Herrera C, Vega-Baudrit JR. REGENERACIÓN DEL ÓRGANO CUTÁNEO MEDIANTE INGENIERÍA DE TEJIDOS. MOMENTO [Internet]. 2020 [citado el 24 de octubre de 2024];(60):67-95. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-44702020000100067&lang=es
23. Valenzuela-Villela KS. Progress of the 3D printing of medical devices. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomedica*; 2020 [citado el 24 de octubre de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.17488/rmib.41.1.12>
24. Hojo D, Murono K, Nozawa H, Kawai K, Hata K, Tanaka T, et al. Improvement in surgical outcomes using 3-dimensional printed models for lateral pelvic lymph node dissection in rectal cancer. *Dis Colon Rectum* [Internet]. 2022;65(4):566-73. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1097/dcr.0000000000002327>
25. Dey M, Ozbolat IT. 3D bioprinting of cells, tissues and organs. *Sci Rep* [Internet]. 2020;10(1). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-020-70086-y>
26. Panja N, Maji S, Choudhuri S, Ali KA, Hossain CM. 3D bioprinting of human hollow organs. *AAPS PharmSciTech* [Internet]. 2022;23(5). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1208/s12249-022-02279-9>
27. Matai I, Kaur G, Seyedsalehi A, McClinton A, Laurencin CT. Progress in 3D bioprinting technology for tissue/organ regenerative engineering. *Biomaterials* [Internet]. 2020;226(119536):119536. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biomaterials.2019.119536>
28. Parihar A, Pandita V, Kumar A, Parihar DS, Puranik N, Bajpai T, et al. 3D printing: Advancement in biogenerative engineering to combat shortage of organs and bioapplicable materials. *Regen Eng Transl Med* [Internet]. 2022;8(2):173-99. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s40883-021-00219-w>
29. Jain P, Kathuria H, Dubey N. Advances in 3D bioprinting of tissues/organs for regenerative medicine and in-vitro models. *Biomaterials* [Internet]. 2022;287(121639):121639. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biomaterials.2022.121639>
30. Zhou X. Automatic segmentation of multiple organs on 3D CT images by using deep learning approaches. En: *Advances in Experimental Medicine and Biology*. Cham: Springer International Publishing; 2020. p. 135-47. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33128-3_9