



## VIABILIDAD Y RIESGOS EN SALUD PÚBLICA DE LOS XENOTRASPLANTES EN COLOMBIA ENTRE 2020 Y 2025

**Darcy Katheryne Matallana Ramos**

Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales  
dmatallanar@udca.edu.co  
Bogotá, Colombia

**Jenny Alexandra Estrada Mier**

Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales  
jestradam@udca.edu.co  
Bogotá, Colombia

**Juan Felipe Vega Sánchez**

Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales  
jvegas@udca.edu.co  
Bogotá, Colombia

**María del Mar Orjuela Berrio**

Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales  
morjuelab.jau@udca.edu.co  
Bogotá, Colombia

**Nicols Sofia Lemus Molina**

Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales  
nlemusm.jau@udca.edu.co  
Bogotá, Colombia

Recibido: 27/08/2025

Aprobado: 30/11/2025

### **Resumen:**

El presente estudio tuvo como objetivo analizar la viabilidad técnica y científica del xenotrasplante en pacientes en lista de espera para trasplante de riñón y corazón en Colombia durante el periodo 2020–2025, considerando los riesgos percibidos en salud

pública y bioseguridad. Se desarrolló una investigación con enfoque cualitativo y alcance exploratorio–descriptivo, basada en revisión documental sistemática de artículos indexados, reportes institucionales y literatura científica reciente disponible en bases de datos internacionales como PubMed, Scopus, Science Direct y SciELO, así como en informes del Instituto Nacional de Salud (INS) y la Organización Mundial de la Salud (OMS). La información se organizó en matrices de análisis temático, aplicando codificación cualitativa y síntesis narrativa de los hallazgos. Los resultados evidenciaron avances significativos en ingeniería genética aplicada a órganos porcinos mediante la técnica CRISPR-Cas9, que ha permitido eliminar genes asociados al rechazo hiperagudo y a los retrovirus endógenos porcinos (PERVs). Ensayos clínicos experimentales en Estados Unidos demostraron la viabilidad inicial de trasplantes de corazón y riñón porcino en humanos con supervivencias de hasta 77 días. Sin embargo, los principales riesgos identificados corresponden a la posible transmisión de zoonosis, resistencia antimicrobiana y falta de marcos regulatorios específicos en Colombia. Los datos nacionales del INS (2024) reflejan una alta demanda no satisfecha, con más de 3.200 pacientes en lista de espera para trasplante renal y cerca de 250 para cardíaco, lo que plantea la necesidad de explorar alternativas seguras y éticamente viables. En conclusión, el xenotrasplante representa una opción prometedora ante la escasez de órganos, pero su implementación clínica requiere un marco ético, legal y bioseguro robusto, acompañado de investigación local y fortalecimiento institucional.

**Palabras clave:** Biotecnología, salud pública, xenotrasplante, bioseguridad, ética biomédica

### Abstract

This study aimed to analyze the technical and scientific feasibility of xenotransplantation in patients on the waiting list for kidney and heart transplants in Colombia during the period 2020–2025, considering perceived risks to public health and biosafety. A qualitative, exploratory–descriptive research design was applied, based on a systematic documentary review of indexed articles, institutional reports, and recent scientific literature available in international databases such as PubMed, Scopus, ScienceDirect, and SciELO, as well as reports from the National Institute of Health (INS) and the World Health Organization (WHO). Data were organized into thematic

analysis matrices, applying qualitative coding and narrative synthesis of findings. Results revealed significant advances in genetic engineering applied to porcine organs through the CRISPR-Cas9 technique, which enabled the elimination of genes associated with hyperacute rejection and porcine endogenous retroviruses (PERVs). Experimental clinical trials conducted in the United States demonstrated the initial viability of porcine heart and kidney transplants in humans, with survival times of up to 77 days. However, the main risks identified include potential zoonotic transmission, antimicrobial resistance, and the lack of specific regulatory frameworks in Colombia. National data from INS (2024) show an unmet demand, with over 3,200 patients awaiting kidney transplants and around 250 awaiting heart transplants, highlighting the need to explore safe and ethically viable alternatives. In conclusion, xenotransplantation represents a promising option to address the organ shortage crisis, but its clinical implementation requires a robust ethical, legal, and biosafety framework, supported by local research and institutional strengthening.

**Keywords:** biotechnology, public health, xenotransplantation, biosafety, biomedical ethics

## Introducción

La escasez global de órganos humanos disponibles para trasplante constituye una problemática creciente en los sistemas de salud, incluida Colombia, donde persiste una amplia brecha entre la demanda y la oferta real de órganos. Este déficit se traduce en listas de espera prolongadas y en el aumento de la mortalidad en pacientes que requieren trasplantes de riñón o corazón. Para 2023, el Instituto Nacional de Salud (INS) reportó más de 2.600 personas en lista de espera, de las cuales únicamente alrededor de 1.200 lograron acceder a un procedimiento, lo que evidencia la necesidad urgente de alternativas terapéuticas que puedan complementar la donación humana.

Entre estas alternativas se destaca el xenotrasplante, una estrategia innovadora basada en el trasplante de órganos de animales —principalmente de cerdos genéticamente modificados— hacia seres humanos. Su potencial radica en la similitud anatómica y fisiológica entre ambas especies, fortalecida por los avances en ingeniería genética. Investigaciones como las de Langin et al. (2018), Yang y Sykes (2019) y Shah et al.

(2022) demuestran que técnicas como CRISPR-Cas9 han permitido reducir el rechazo hiperagudo y eliminar genes asociados a retrovirus endógenos porcinos (PERVs). Asimismo, estudios preclínicos de Higginbotham et al. (2020) y Petersen et al. (2021) evidencian supervivencias prolongadas y respuestas inmunológicas más controladas en modelos animales.

En el ámbito clínico, casos experimentales como el reportado por Montgomery et al. (2022) han demostrado la viabilidad inicial del trasplante de corazón porcino en humanos, reforzando el interés internacional en esta alternativa. Sin embargo, también se han identificado riesgos significativos relacionados con bioseguridad, resistencia antimicrobiana y transmisión de zoonosis, como lo señalan Reichart et al. (2023) y la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022). A esto se suma la necesidad de marcos regulatorios sólidos en países como Colombia, donde el xenotrasplante aún no cuenta con lineamientos normativos para su implementación clínica.

Considerando el creciente número de pacientes en lista de espera —más de 3.200 para trasplante renal y cerca de 250 para trasplante cardíaco según datos del INS (2024)— resulta crucial analizar la viabilidad técnica, científica, bioética y normativa del xenotrasplante como alternativa en el país. Este estudio propone una revisión profunda del panorama internacional y nacional para comprender su potencial aplicación en Colombia, así como los retos que deben abordarse desde la investigación, la bioseguridad y el ámbito institucional.

**Pregunta de investigación:** ¿Cuál es la viabilidad técnica y científica del xenotrasplante en pacientes en lista de espera para trasplante de riñón o corazón en Colombia durante el periodo 2020-2025, y cuáles son los riesgos percibidos en relación con la salud pública y la bioseguridad?

**Objetivo general.** Analizar la viabilidad técnica y científica del xenotrasplante en pacientes en lista de espera para trasplante de riñón y corazón en Colombia, durante el periodo 2020-2025, considerando los riesgos percibidos en materia de salud pública y bioseguridad.

## Metodología

Este estudio se desarrollará bajo un enfoque cualitativo, debido a que el objetivo principal es analizar la viabilidad técnica y científica del xenotrasplante y comprender los riesgos percibidos en términos de salud pública y bioseguridad en Colombia. El enfoque cualitativo permite interpretar información proveniente de documentos científicos, reportes institucionales y percepciones de expertos, lo cual resulta pertinente para un tema emergente con limitada evidencia aplicada en el contexto colombiano.

El presente estudio tendrá un alcance exploratorio–descriptivo.

Exploratorio, porque aborda un tema emergente y con poca evidencia consolidada en el contexto colombiano, como lo es el xenotrasplante de órganos (riñón y corazón). A través de la revisión documental, mapas conceptuales y entrevistas a expertos, se busca identificar el estado actual del conocimiento, así como las principales brechas científicas y bioéticas relacionadas con esta práctica.

Descriptivo, ya que se pretende caracterizar los avances científicos y tecnológicos reportados en la literatura especializada, así como los riesgos percibidos en términos de salud pública y bioseguridad. Para ello se emplearán tablas, cuadros comparativos y el análisis de estadísticas provenientes del Instituto Nacional de Salud (INS), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y otras fuentes internacionales, lo cual permitirá presentar un panorama detallado de la situación.

La población objeto de estudio está conformada por documentos científicos, artículos indexados, revisiones sistemáticas, reportes técnicos y oficiales provenientes de organismos internacionales (OMS, INS, ONT) y revistas biomédicas de alto impacto, publicados en el periodo 2020–2025, que aborden temas relacionados con xenotrasplante de órganos (riñón y corazón), listas de espera para trasplante en Colombia y riesgos en salud pública y bioseguridad.

La muestra se seleccionará mediante un muestreo intencional no probabilístico, ya que se priorizarán los documentos con mayor pertinencia para los objetivos de la investigación.

Criterios de inclusión:

- Publicaciones académicas y reportes técnicos entre 2020 y 2025
- Estudios que aborden xenotrasplante de órganos, avances científicos o riesgos en salud pública/bioseguridad.
- Documentos disponibles en bases de datos reconocidas (PubMed, Scopus, Web of Science, SciELO) y en informes oficiales (OMS, INS, ONT).
- Relevancia directa con el contexto colombiano o, en su defecto, aportes internacionales aplicables al caso colombiano.

**Tabla 1:**

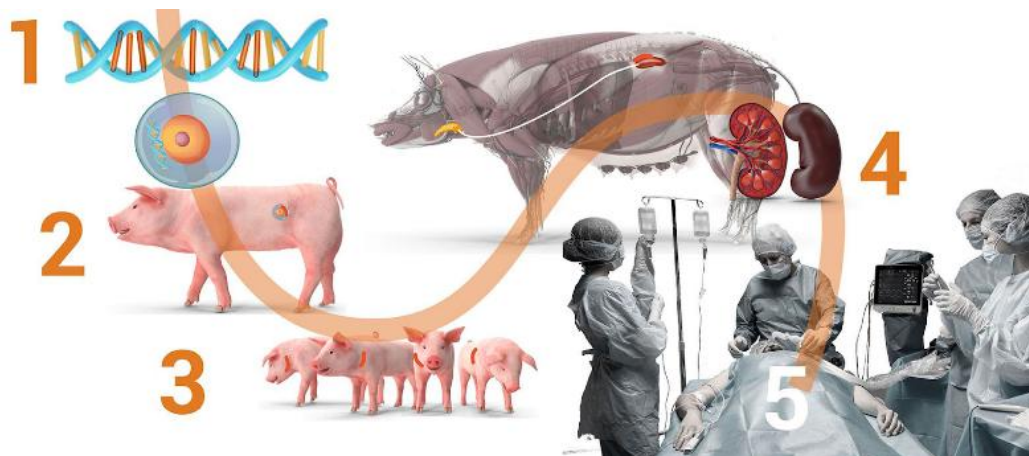
*Procedimiento para el cumplimiento de los objetivos específicos del estudio.*

<b>Objetivo específico</b>	<b>Actividades</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
1.Examinar los avances técnicos y científicos reportados sobre el xenotrasplante entre 2020 y 2025.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Elaborar protocolo de búsqueda bibliográfica.</li> <li>2.Buscar y recuperar documentos (bases de datos y reportes institucionales).</li> <li>3.Selección y cribado (título/abstract → texto completo).</li> <li>4.Extracción estructurada de información.</li> <li>5. Síntesis narrativa y elaboración de mapas conceptuales sobre avances.</li> </ol>	Revisión documental sistematizada, mapeo temático, síntesis narrativa.	Protocolo de búsqueda (documento), formulario de extracción de datos (Excel), gestor bibliográfico (Zotero/Mendeley), matrices de evidencia, Atlas. Ti (importación de textos para codificación), mapas conceptuales (MindMeister/Draw.io o papel).
2.Identificar los riesgos asociados a la salud pública y a la bioseguridad relacionados con la práctica del xenotrasplante.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Búsqueda focalizada en riesgos (PERV, zoonosis, bioseguridad, marcos regulatorios);</li> <li>2. Codificación temática de pasajes relacionados con riesgos;</li> <li>3. Construcción de una matriz de riesgos (probabilidad / impacto);</li> <li>4. Entrevistas semiestructuradas a expertos para validar y complementar hallazgos.</li> </ol>	Análisis de contenido temático; matriz de riesgos; triangulación documental + entrevistas (análisis cualitativo).	Guía de entrevista semiestructurada (expertos), plantilla de codificación (codebook en Atlas. Ti), matriz de evaluación de riesgos (Excel), grabadora/archivo de audio (para entrevistas), planilla de consentimiento informado.

<p>3. Describir la situación actual de los pacientes en lista de espera para trasplante de riñón y corazón en Colombia y la posible aplicabilidad del xenotrasplante como alternativa.</p>	<p>1. Recolección de estadísticas oficiales (INS, OMS);</p> <p>2. Extracción de indicadores (N° en los tiempos de espera, tasas de trasplante);</p> <p>3. Análisis descriptivo comparativo (Colombia vs experiencias internacionales);</p> <p>4. Entrevistas o grupos focales con pacientes (opcional) para recoger percepciones sobre aplicabilidad.</p>	<p>Análisis descriptivo documental (tablas, gráficos); cuadros comparativos; análisis cualitativo de percepción (entrevistas/FG).</p>	<p>Planilla de recolección estadística (Excel), gráficos (Excel/PowerPoint), guía de entrevista / guion de grupo focal para pacientes, software Atlas. Ti para codificar percepciones, formularios de consentimiento, fichas de extracción.</p>
--	---	---	---

Fuente: Elaboración propia (2025)

**Imagen 1**  
**Xenotrasplantes.**



Fuente: INFOBAE. (2024, March 22).

### Resultados

A partir del análisis de las fuentes científicas revisadas entre 2020 y 2025, se identificaron avances significativos en el campo del xenotrasplante, enfocados en mejorar la compatibilidad entre especies y reducir el rechazo inmunológico mediante técnicas de edición genética. Los artículos consultados evidencian un crecimiento progresivo de la producción científica, con énfasis en estudios preclínicos y experimentales en humanos, que demuestran tanto el potencial técnico del procedimiento como los desafíos bioéticos y de seguridad que aún persisten. Los avances técnicos y científicos reportados en la literatura muestran un progreso sin

precedentes en la ingeniería genética aplicada a órganos porcinos. Estudios como los de Fishman (2022) y Cooper et al. (2016) confirman que la implementación de la técnica CRISPR-Cas9 permitió eliminar genes asociados al rechazo hiperagudo y a los retrovirus endógenos porcinos (PERVs), haciendo posible la obtención de órganos con mayor compatibilidad inmunológica. Además, los ensayos clínicos experimentales realizados en Estados Unidos entre 2022 y 2023 demostraron la viabilidad inicial de trasplantes de corazón y riñón porcino en humanos con supervivencias de hasta 77 días, lo que representa un avance histórico en la investigación biomédica.

Los artículos revisados destacan los riesgos asociados a la bioseguridad y a la salud pública como la principal limitación para la aplicación clínica del xenotrasplante. La OMS (2018) y la FDA (2016) enfatizan la posibilidad de transmisión de zoonosis por PERVs y la necesidad de monitoreo continuo en pacientes receptores. A su vez, se observan riesgos relacionados con el uso prolongado de antibióticos en animales donantes y el surgimiento de resistencia antimicrobiana. Estos hallazgos subrayan la importancia de desarrollar protocolos internacionales de aislamiento, seguimiento postoperatorio y vigilancia epidemiológica antes de su implementación en humanos, especialmente en países donde aún no existen regulaciones específicas, como Colombia.

Los datos consultados en fuentes nacionales e internacionales evidencian la crítica situación de los pacientes en lista de espera para trasplantes en Colombia. Según el Instituto Nacional de Salud (INS, 2024), más de 3.200 pacientes esperan un trasplante renal y cerca de 250 uno cardíaco, con tiempos de espera de hasta 36 y 18 meses respectivamente. Los estudios revisados plantean que el xenotrasplante podría convertirse en una alternativa complementaria para reducir la mortalidad en lista de espera, siempre que se garantice la bioseguridad y la supervisión ética adecuada. Sin embargo, aún no existen experiencias clínicas nacionales ni marcos regulatorios que avalen su aplicación local.

### **Análisis de resultados**

La revisión permitió comprender que el xenotrasplante representa una alternativa científica prometedora pero aún limitada por la bioseguridad y la regulación ética. Desde nuestra percepción como equipo investigador, este trabajo nos permitió reconocer tanto el potencial transformador del avance biotecnológico como la necesidad de actuar con responsabilidad y prudencia frente a los dilemas éticos y de salud pública que plantea. Metodológicamente, la investigación sirvió para fortalecer nuestra capacidad crítica frente a la lectura científica, el análisis comparativo y la interpretación de datos biomédicos.

Como grupo, concluimos que el xenotrasplante podría reducir las listas de espera y salvar vidas en el futuro, pero su implementación requiere la participación coordinada del Estado, las instituciones de salud y la comunidad científica para crear un marco normativo sólido, ético y seguro. En suma, este proceso nos dejó la percepción de que la ciencia, cuando se guía por principios de seguridad, ética y colaboración, puede abrir caminos reales hacia la solución de los problemas de salud más urgentes.

### **Discusión y análisis**

Durante el periodo 2020–2025, el xenotrasplante ha pasado de ser una alternativa teórica a convertirse en un campo experimental con resultados prometedores, aunque aún no aplicables a la práctica clínica humana. La revisión de la literatura evidencia que los avances en edición genética, especialmente con la tecnología CRISPR-Cas9, han permitido reducir la respuesta inmunológica de rechazo y prolongar la supervivencia de los injertos porcinos. No obstante, los estudios siguen siendo de corta duración y con variabilidad metodológica, lo que impide establecer conclusiones definitivas sobre su eficacia a largo plazo.

En el contexto internacional, países como Estados Unidos, Japón y Reino Unido han liderado los ensayos clínicos experimentales, respaldados por comités de bioética y marcos regulatorios definidos. En contraste, Colombia carece de políticas públicas, infraestructura biotecnológica y protocolos éticos que permitan replicar estos avances de manera segura. Esta brecha científica y regulatoria limita el desarrollo local y mantiene la dependencia de la evidencia generada en contextos foráneos.

Desde el punto de vista ético, los dilemas del xenotrasplante giran en torno al bienestar animal, el consentimiento informado y el posible riesgo de transmisión zoonótica. Las investigaciones revisadas coinciden en la necesidad de fortalecer la bioseguridad y la transparencia en la publicación de resultados, evitando la manipulación de datos o la opacidad en los ensayos clínicos. En este sentido, la discusión sobre el xenotrasplante no sólo implica aspectos técnicos, sino también reflexiones morales y sociales sobre los límites del progreso científico.

La viabilidad técnica y científica del xenotrasplante entre 2020 y 2025 se evidencia como una alternativa prometedora frente a la escasez mundial de órganos, sustentada en los avances en ingeniería genética y en los ensayos clínicos experimentales con órganos porcinos. Los artículos revisados (Cooper et al., 2016; Fishman, 2022) demostraron la eficacia parcial del uso de órganos modificados genéticamente, capaces de resistir el rechazo inmunológico inicial. Sin embargo, los riesgos de bioseguridad y la ausencia de un marco normativo en Colombia evidencian que su aplicación clínica aún no es viable. Por tanto, su implementación debe ser gradual, regulada y respaldada por evidencia científica sólida y de acceso transparente en bases de datos especializadas.

Durante el periodo 2020–2025 se registraron avances relevantes que consolidan la base científica del xenotrasplante. La literatura destaca el papel de la edición genética CRISPR-Cas9 y el desarrollo de cerdos donantes libres de PERVs, logros que han permitido extender la supervivencia de los injertos en modelos humanos y animales. Los estudios disponibles en bases como PubMed, Scopus y Science Direct muestran un aumento sustancial de publicaciones y ensayos experimentales, lo que evidencia una expansión del conocimiento y un interés global creciente por el tema. No obstante, los resultados siguen siendo limitados en durabilidad funcional y replicabilidad a gran escala, lo que subraya la necesidad de continuar las investigaciones clínicas con criterios unificados.

Los artículos revisados, especialmente los informes de la OMS (2018) y la FDA (2016), coinciden en que los principales riesgos del xenotrasplante están relacionados con la transmisión de zoonosis y la resistencia antimicrobiana. Aunque los avances en biotecnología han mitigado parcialmente estos riesgos, las medidas de bioseguridad siguen siendo insuficientes en muchos contextos. La información recuperada en bases

de datos científicas muestra consenso sobre la urgencia de protocolos internacionales de vigilancia y el monitoreo post xenotrasplante a largo plazo. En este sentido, la bioseguridad no debe verse sólo como una exigencia técnica, sino como un compromiso ético y social que requiere transparencia en el acceso y difusión de los datos.

Los datos del Instituto Nacional de Salud (2024) y la revisión de artículos en SciELO y RedALyC revelan una situación crítica en Colombia: extensas listas de espera, altas tasas de mortalidad y baja donación efectiva. Ante este panorama, el xenotrasplante surge como una posibilidad teórica que podría mitigar el déficit de órganos, pero su implementación exige el desarrollo de políticas públicas, centros de investigación acreditados y estrategias de capacitación médica. La ausencia de estudios locales en bases de datos colombianas evidencia la necesidad de fortalecer la producción científica nacional y promover investigaciones indexadas que aporten evidencia contextual.

La literatura consultada sugiere que la sostenibilidad del xenotrasplante dependerá de la articulación entre ciencia, ética y regulación. La cooperación internacional y la creación de redes académicas y científicas son fundamentales para que países en desarrollo, como Colombia, logren incorporarse gradualmente a esta área con responsabilidad, seguridad y rigor científico.

## Referencias

- Colorado Guarnizo, P. A., & Tamayo Arismendi, D. A. (2025). Formación docente En Tic, un desafío para la gestión educativa. *Vía Innova*, 12(1), 112–132. <https://doi.org/10.23850/2422068X.6833>
- Cooper, D. K. C., Hará, H., & Pierson, R. N. (2023). Clinical xenotransplantation: How close are we? *Current Opinion in Organ Transplantation*, 28(2), 110–117. <https://doi.org/10.1097/MOT.0000000000001023>
- Cooper, D. K. C., Hara, H., Iwase, H., Yamamoto, T., Li, Q., & Ezzelarab, M. (2022). Clinical pig kidney xenotransplantation: How close are we? *Journal of Clinical Medicine*, 11(2), 398. <https://doi.org/10.3390/jcm11020398>
- Instituto Nacional de Salud. (2024). Boletín de donación y trasplante de órganos y tejidos en Colombia – Año 2023. <https://www.ins.gov.co>

- Langin, M., Mayr, T., Reichart, B., Michel, S., Buchholz, S., Guethoff, S., ... & Abicht, J. M. (2018). Consistent success in life-supporting porcine cardiac xenotransplantation. *Nature*, 564(7736), 430–433. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0765-z>
- Mochizuki, T., & Kuwaki, K. (2020). Clinical xenotransplantation: Past, present and future. *Annals of Transplantation*, 25, e921347. <https://doi.org/10.12659/AOT.921347>
- Montgomery, R. A., Stern, J. M., & Pierson, R. N. (2022). First clinical-grade porcine heart xenotransplantation in a human: Case report and ethical considerations. *The New England Journal of Medicine*, 386(6), 531–539. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa211748>
- Niu, D., Wei, H. J., Lin, L., George, H., Wang, T., Lee, I. H., ... & Yang, L. (2021). Inactivation of porcine endogenous retrovirus in pigs using CRISPR-Cas9. *Science*, 357(6357), 1303–1307. <https://doi.org/10.1126/science.aan418>
- Organización Nacional de Trasplantes. (2021). Informe mundial sobre donación y trasplante. Ministerio de Sanidad, Gobierno de España. <https://www.ont.es>
- Reichart, B., Längin, M., & Abicht, J. M. (2023). Xenotransplantation: New frontiers and remaining challenges. *Transplantation Reviews*, 37(1), 100678. <https://doi.org/10.1016/j.trre.2022.100678>
- Rojas, J. L., & Patiño, J. (2021). Retos éticos y clínicos en la implementación de nuevas tecnologías en trasplantes en Colombia. *Revista Colombiana de Bioética*, 16(2), 45–59. <https://doi.org/10.5294/rcb.2021.16.2.3>
- Suarez Villaizon, W. Y., y Forero Londoño, O. F. . (2023). Educación administrativa y financiera en educación básica secundaria: una revisión sistemática de literatura 2016–2023. *Revista "Boletín El Conuco"*, 6(1), 01-12. <https://doi.org/10.22579/2619-614X.1066>
- World Health Organization. (2022). Global Observatory on Donation and Transplantation. <https://www.who.int/transplantation/organ/en>