



## ARTICULO REVISIÓN

### Implicaciones bioéticas del xenotrasplante: análisis de sus desafíos y consideraciones éticas en la medicina actual

Bioethical implications of xenotransplantation: analysis of its challenges and ethical considerations in medicine today

Implicações bioéticas do xenotransplante: análise de seus desafios e considerações éticas na medicina atual

John Sebastián Carvajal-Gavilanes<sup>1</sup>✉ , Karen Gabriela Sulca-Espín<sup>1</sup> , Odalis Abigail Peñaloza-López<sup>1</sup> , Denisse Isabel Suaste-Pazmiño<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Regional Autónoma de Los Andes. Ambato, Ecuador.

**Recibido:** 19 de diciembre de 2025

**Aceptado:** 20 de diciembre de 2025

**Publicado:** 23 de diciembre de 2025

**Citar como:** Carvajal-Gavilanes JS, Sulca-Espín KG, Peñaloza-López OA, Suaste-Pazmiño DI. Implicaciones bioéticas del xenotrasplante: análisis de sus desafíos y consideraciones éticas en la medicina actual. Rev Ciencias Médicas [Internet]. 2025 [citado: fecha de acceso]; 29(S1): e7005. Disponible en: <http://revcmpinar.sld.cu/index.php/publicaciones/article/view/7005>

## RESUMEN

**Introducción:** la escasez mundial de órganos para trasplante ha impulsado la investigación en xenotrasplantes, opción que plantea beneficios clínicos, pero también dilemas éticos complejos.

**Objetivo:** examinar las implicaciones bioéticas de los xenotrasplantes mediante el análisis de sus desafíos científicos, sociales y filosóficos en la medicina contemporánea.

**Métodos:** revisión bibliográfica de la literatura publicada entre 2017 y 2024, siguiendo la metodología PRISMA. Se consultaron diferentes bases de datos aplicando un algoritmo, lo que permitió identificar las fuentes que una vez verificados los criterios de inclusión y exclusión, permitieron la selección de los artículos para su análisis crítico.

**Desarrollo:** los órganos animales, especialmente de cerdos, pueden modificarse genéticamente para aumentar su compatibilidad con humanos, reduciendo el rechazo inmunológico. Sin embargo, persisten riesgos de transmisión zoonótica y preocupaciones sobre bienestar animal, manipulación genética y sostenibilidad ambiental. Se destacan debates éticos vinculados al consentimiento informado, la autonomía del paciente y la justicia distributiva en el acceso a estas tecnologías. Asimismo, se discuten implicaciones filosóficas sobre identidad humana y transhumanismo, considerando el impacto psicológico y social de integrar órganos animales en el cuerpo humano.

**Conclusiones:** los xenotrasplantes representan una alternativa prometedora frente a la escasez de órganos, pero su implementación exige marcos éticos sólidos. La regulación debe garantizar seguridad sanitaria, respeto al bienestar animal y equidad en el acceso, integrando principios de bioética global que armonicen innovación científica con responsabilidad social y ambiental.

**Palabras clave:** Bienestar del Animal; Bioética; Trasplante de Órganos; Trasplante Heterólogo.

## ABSTRACT

**Introduction:** the global shortage of organs for transplantation has driven research into xenotransplantation, an option that offers clinical benefits but also raises complex ethical dilemmas.

**Objective:** to examine the bioethical implications of xenotransplantation through the analysis of its scientific, social, and philosophical challenges in contemporary medicine.

**Methods:** a bibliographic review of the literature published between 2017 and 2024 was conducted, following the PRISMA methodology. Various databases were consulted using an algorithm, which allowed the identification of sources that, once inclusion and exclusion criteria were verified, enabled the selection of articles for critical analysis.

**Development:** animal organs, especially those from pigs, can be genetically modified to increase their compatibility with humans, reducing immune rejection. However, risks of zoonotic transmission remain, along with concerns about animal welfare, genetic manipulation, and environmental sustainability. Ethical debates are highlighted regarding informed consent, patient autonomy, and distributive justice in access to these technologies. Philosophical implications are also discussed, including human identity and transhumanism, considering the psychological and social impact of integrating animal organs into the human body.

**Conclusions:** xenotransplantation represents a promising alternative to the shortage of organs, but its implementation requires solid ethical frameworks. Regulation must ensure health safety, respect for animal welfare, and equity in access, integrating principles of global bioethics that harmonize scientific innovation with social and environmental responsibility.

**Keywords:** Animal Welfare; Bioethics; Organ Transplantation; Transplantation, Heterologous.

## RESUMO

**Introdução:** a escassez mundial de órgãos para transplante impulsionou a pesquisa em xenotransplantes, opção que apresenta benefícios clínicos, mas também dilemas éticos complexos.

**Objetivo:** examinar as implicações bioéticas dos xenotransplantes mediante a análise de seus desafios científicos, sociais e filosóficos na medicina contemporânea.

**Métodos:** revisão bibliográfica da literatura publicada entre 2017 e 2024, seguindo a metodologia PRISMA. Consultaram-se diferentes bases de dados aplicando um algoritmo, o que permitiu identificar as fontes que, uma vez verificados os critérios de inclusão e exclusão, possibilitaram a seleção dos artigos para análise crítica.

**Desenvolvimento:** órgãos animais, especialmente de porcos, podem ser modificados geneticamente para aumentar sua compatibilidade com humanos, reduzindo a rejeição imunológica. No entanto, persistem riscos de transmissão zoonótica e preocupações sobre bem-estar animal, manipulação genética e sustentabilidade ambiental. Destacam-se debates éticos vinculados ao consentimento informado, à autonomia do paciente e à justiça distributiva no acesso a essas tecnologias. Além disso, discutem-se implicações filosóficas sobre identidade humana e transumanismo, considerando o impacto psicológico e social de integrar órgãos animais no corpo humano.

**Conclusões:** os xenotransplantes representam uma alternativa promissora diante da escassez de órgãos, mas sua implementação exige marcos éticos sólidos. A regulamentação deve garantir segurança sanitária, respeito ao bem-estar animal e equidade no acesso, integrando princípios de bioética global que harmonizem inovação científica com responsabilidade social e ambiental.

**Palavras-chave:** Bem-Estar Animal; Bioética; Transplante de Órgãos; Transplante Heterólogo.

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, los avances médicos han crecido de manera exponencial tanto en el ámbito terapéutico como en los procedimientos destinados a mejorar la calidad de vida del ser humano. Actualmente, existen múltiples alternativas para el tratamiento de diversas enfermedades y cada vez surgen opciones de mayor eficacia, lo que ha contribuido al incremento sostenido de la esperanza de vida mundial.<sup>(1)</sup> En este contexto, los trasplantes de órganos o alotrasplantes se han consolidado como procedimientos en los que células, tejidos u órganos son transferidos de un individuo a otro.<sup>(2)</sup>

El primer trasplante exitoso registrado fue de córnea en 1905 en la República Checa, mientras que en 1954 el Dr. Joseph Murray realizó el primer trasplante renal exitoso, inicialmente en gemelos idénticos, posteriormente en gemelos no idénticos y finalmente con un donante cadavérico.<sup>(3)</sup> La incorporación de estos procedimientos generó debates éticos en torno al respeto de la dignidad de los donantes, aunque se reconoció su validez moral al salvar vidas sin contravenir los principios del juramento hipocrático. A partir de ello, se desarrollaron alotrasplantes de órganos sólidos como hígado, corazón y riñón, aunque sin lograr cubrir la creciente demanda mundial de pacientes con insuficiencia orgánica terminal.<sup>(2)</sup>

Sin embargo, la baja disponibilidad de órganos humanos, sumada a las restricciones legales que limitan la extracción de órganos cadavéricos y reducen la compatibilidad con los receptores, ha mantenido una brecha significativa entre la oferta y la necesidad real. Incluso con programas avanzados de promoción de la donación, los sistemas de salud no logran satisfacer esta demanda, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas como los xenotrasplantes, definidos como trasplantes de células, tejidos u órganos entre especies distintas, con el objetivo de responder a necesidades sanitarias urgentes.<sup>(3,4)</sup>

Desde el siglo XVII, con la xenotransfusión de Jean Baptiste Denys, se han intentado trasplantes de órganos animales en humanos, como los casos de James Hardy y Baby Fae. Desde los 2000, la investigación genética en primates y cerdos busca mejorar la compatibilidad, planteando dilemas éticos sobre seguridad, identidad y dignidad.<sup>(2,4)</sup> En relación a lo indicado se realiza la presente revisión, la cual tuvo como objetivo examinar las implicaciones bioéticas de los xenotrasplantes mediante el análisis de sus desafíos científicos, sociales y filosóficos en la medicina contemporánea

## MÉTODOS

El presente trabajo se diseñó como una revisión sistemática de la literatura, elaborada conforme a las directrices PRISMA 2020. El periodo de búsqueda se delimitó entre los años 2010 y 2024, con el propósito de abarcar los avances más recientes y relevantes en torno al tema de estudio. La revisión se orientó a identificar, seleccionar y sintetizar la evidencia científica disponible sobre las implicaciones bioéticas de los xenotrasplantes, considerando tanto aspectos clínicos como sociales y filosóficos.

Las fuentes de información incluyeron bases de datos biomédicas y multidisciplinarias de amplia cobertura: PubMed, SciELO, ScienceDirect, Google Scholar, LILACS y BVSALUD. Adicionalmente, se revisaron referencias secundarias provenientes de listas bibliográficas de artículos clave y literatura gris, como documentos institucionales y reportes técnicos, siempre que cumplieran con criterios de calidad y pertinencia. Esta estrategia permitió ampliar el espectro de información y reducir el sesgo de publicación.

La estrategia de búsqueda se construyó mediante algoritmos que combinaron palabras clave y operadores booleanos. Se emplearon términos como xenotransplantation, bioethics, genetic modification, immunologic rejection y distributive justice, junto con sus equivalentes en español y portugués. Las ecuaciones de búsqueda se formularon con operadores AND y OR, por ejemplo: ("xenotransplantation" AND "bioethics") OR ("xenotrasplante" AND "ética"). Se consideraron publicaciones en español, inglés y portugués, con acceso a texto completo.

Los criterios de inclusión contemplaron artículos originales, revisiones y documentos académicos publicados en el rango temporal definido, que abordaran de manera directa los aspectos bioéticos del xenotrasplante. Se excluyeron duplicados, estudios sin acceso completo, publicaciones no indexadas, documentos irrelevantes para la temática y aquellos fuera del periodo de búsqueda.

En total se identificaron 356 publicaciones (119 en Pubmed, 236 en BVS y 1 en Scielo), se agruparon los resultados de dichas bases de datos, y mediante la aplicación de la metodología PRISMA se realizó el proceso de cribado de los artículos. Se eliminaron aquellos documentos duplicados (130), quedando un total de 226. Después, se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión para cribar los resultados, determinando los estudios definitivos que cumplían los criterios planteados, incluidos en este estudio 28 artículos con la mejor calidad de información. El procedimiento se representó mediante un diagrama de flujo PRISMA (Fig. 1), que detalla cada fase de cribado y depuración.<sup>(5)</sup>

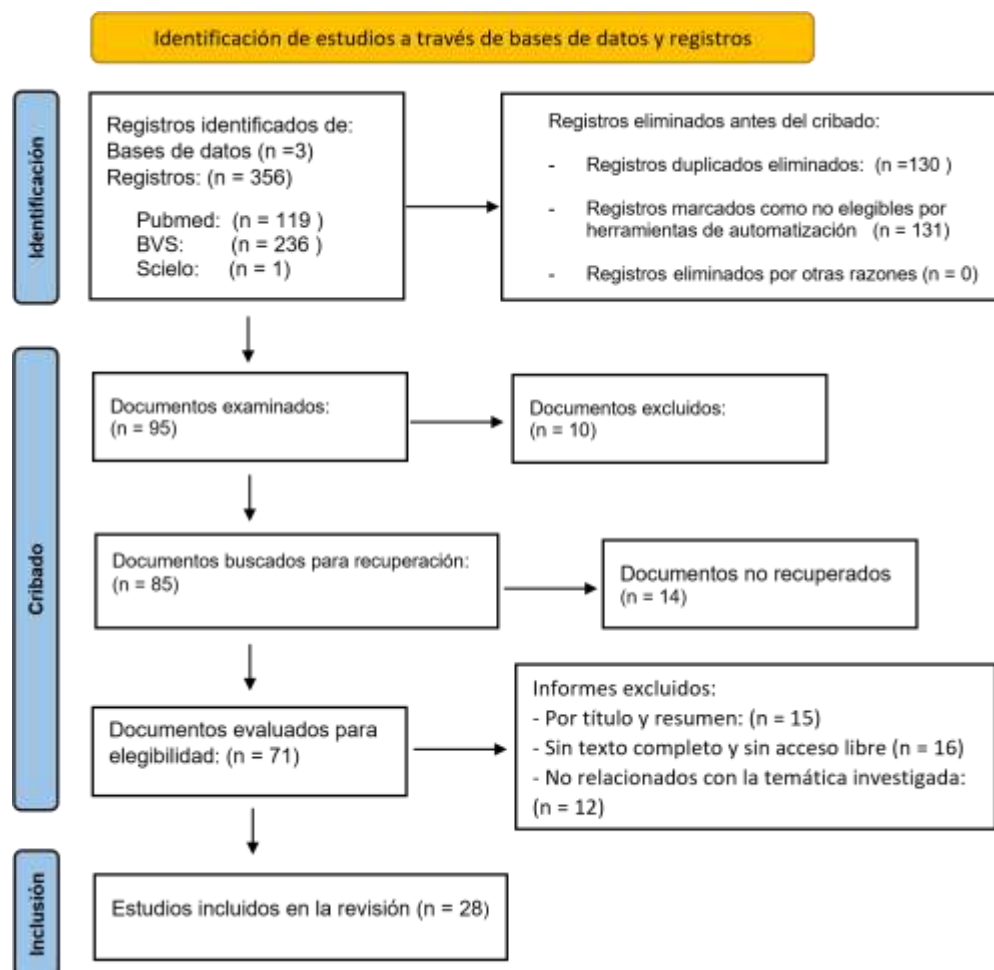


Fig. 1 Diagrama PRISMA.

## DESARROLLO

Los trasplantes de órganos son una opción de tratamiento viable para pacientes con insuficiencia orgánica terminal. Si bien un órgano trasplantado puede proveer de una mejora en la calidad de vida, las cifras de trasplantes realizados son muy inferiores a las de lista de espera para obtener una donación. En Estados Unidos, hay 116.690 pacientes esperando por un alotrasplante, si bien existen campañas para incentivar la donación de órganos y así aumentar el grupo de donantes, es poco probable llegar a satisfacer todas las necesidades de los posibles receptores.<sup>(6,7)</sup> Las personas que recibieron un órgano pueden requerir de otro en un tiempo determinado por las implicaciones inmunológicas del organismo.

Originalmente la respuesta inmunológica en los alotrasplantes causaba errores en la funcionalidad de los órganos recibidos, de esta forma se limitaban a individuos genéticamente donantes y receptores idénticos. En la actualidad encontramos complejas terapias de inmunosupresión para, prolongar la vida media de estos órganos. Aunque esta terapéutica prolonga el tiempo de funcionalidad humana, la escasez de órganos humanos para trasplantarlos, desde un donante vivo o cadavérico sigue en aumento; entre otras limitantes, como los recursos invertidos en los servicios de trasplantes.<sup>(8,9)</sup>

Estas problemáticas han repercutido en buscar nuevas alternativas biomédicas, es el caso de los xenotrasplantes, tomando relevancia desde la segunda mitad del siglo XX, estos pueden aliviar la escasez de órganos disponibles para trasplantes, incluyen desafíos significativos, como: el rechazo inmunológico y la transmisión de enfermedades zoonóticas.<sup>(7)</sup>

Algunos de los animales más usados en experimentación y aplicación de xenotrasplantes son los primates no humanos.<sup>(10)</sup> Se han utilizado primates como babuinos, gibones y chimpancés para investigaciones de xenotrasplantes debido a su cercanía genética con los humanos. Sin embargo, el uso de primates plantea serias preocupaciones éticas y riesgos de transmisión de enfermedades zoonóticas. De igual forma, los peces otorgan al ser humano principalmente partes xenotrasplantables como su piel y su tejido corneal. Con los años se les consideró para dar piel al ser humano como es el caso de las tilapias. Sin poder tener más funciones claras que las anteriormente detalladas, se determina a los peces como fuentes de tejidos trasplantables limitados.<sup>(11)</sup>

Posteriormente, y luego de varios estudios los cerdos, fueron reconocidos como la fuente principal de órganos y tejidos para xenotrasplantes debido a que algunos de sus órganos tienen un tamaño y función similar al ser humano. Otros beneficios son la facilidad crianza, alta fecundidad, su corto tiempo de desarrollo hasta llegar a la madurez sexual, pero el más importante es su esperanza de vida promedio de 15 a 20 años, lo que vuelve a sus órganos clínicamente útiles. Pero los factores más importantes están ligados a la aceptación ética del uso de sus órganos en xenotrasplantes y su facilidad en la manipulación génica. Órganos como el corazón, riñones, hígado y pulmones de cerdo han sido objeto de investigación para su uso en humanos.<sup>(10,12)</sup>

Actualmente, los cerdos son considerados como la primera opción para aplicar modificación genética y cuidados específicos para producción de órganos para xenotrasplante.<sup>(11,13)</sup> La zoonosis proveniente de cerdos tiene menor frecuencia que la de primates no humanos y hay factores que pueden ser controlados con mayor facilidad, aplicando estrategias para mantener la seguridad epidemiológica de estos animales en un ambiente controlado.<sup>(10,14)</sup> Si bien la zoonosis puede ser controlada, un paciente que es candidato a receptor de un xenotrasplante debe presentar una lista de personas cercanas y/o contactos sociales, que deben ser informados, ya que se requiere realizar un seguimiento epidemiológico multidisciplinario, para reducir el riesgo de nuevos casos.<sup>(15,16)</sup>

Los órganos animales a veces comparten cierta similitud con los provenientes de seres humanos, pero a la práctica no es viable usar un órgano animal no genéticamente modificado en un ser humano.<sup>(17)</sup> La evidencia y análisis de xenotrasplantes probaron que a la práctica el trasplante de un órgano no genéticamente modificado de un donador porcino a ser recibido en un primate no humano desencadenaba una respuesta de rechazo inmunológico casi inmediata iniciando en minutos u horas.<sup>(16)</sup> En las últimas 3 décadas existió un análisis destacable en cuanto a la ingeniería genética en cerdos donadores y se han obtenido diferentes tipos de fenotipos de cerdo. Sin embargo, es necesario establecer que técnica genética proporcionaría el cerdo perfecto a ser candidato de donación de órganos, pero primero es necesario realizar estudios in vitro antes de producir estudios in vivo.

Cooper y Hara,<sup>(17)</sup> describen diferentes técnicas usadas a lo largo de la historia:

- La microinyección de transgenes de integración aleatoria usada - 1992.
- La transferencia nuclear de células somáticas - 2002.
- Nucleasas efectoras similares activadores de la transcripción - 2013.
- CRISPR/Cas9 - 2014.

Al desarrollar estas técnicas se ha conseguido eliminar o insertar genes en el cerdo y la mejor técnica para lograr estas ediciones es el CRISPR/Cas9, pues puede dirigirse con precisión a secuencias específicas del ácido desoxirribonucleico y eliminar o colocar genes para mejorar la tolerancia del xenotrasplante; pero no se conocen aún el número exacto de modificaciones que requeriría un solo cerdo para ser considerado el donador perfecto.<sup>(16)</sup> Si bien todas las técnicas han aportado parcialmente al mejoramiento del fenotipo del prototipo del cerdo perfecto para xenotrasplante existen más limitaciones. Es necesario comprender factores como la expresión del CD59 humano supresor del complemento en etapa terminal que parece promover la supervivencia de órganos trasplantados in vitro.<sup>(17,18)</sup>

Recientemente, la manipulación genética de los cerdos donantes permitió realizar tres xenotrasplantes en humanos, dos de estos fueron xenoinjertos renales en pacientes con muerte cerebral. Inicialmente estos pacientes tenían una función renal deplorable, pero con los órganos animales genéticamente modificados luego de 54 horas la función renal mejoró sin haber evidencia de rechazo. Luego de estas 54 horas los pacientes recibieron la eutanasia.<sup>(19)</sup>

El tercer xenotrasplante fue a un paciente en estado crítico que no era candidato para un alotrasplante de corazón, el cerdo donador tenía diez modificaciones genéticas, tres eliminaciones de genes porcinos que desencadenaban el rechazo hiperagudo, un gen que causa el crecimiento de los órganos constantemente y 6 genes humanos que aumentaban la tolerancia.<sup>(16,19)</sup> Sin embargo, a pesar del manejo genético el paciente vivió 60 días y aunque la causa de su desenlace fatal no está completamente clara, se puede atribuir a una infección por CMV que poseía su donante porcino antes de ser xenotrasplantado.

### **Implicaciones bioéticas de la modificación genética animal y los xenotrasplantes.**

Una de las principales preocupaciones bioéticas es el bienestar de los animales modificados genéticamente. Los animales utilizados en estos procedimientos, particularmente los cerdos, a menudo son sometidos a procedimientos invasivos y condiciones de vida estrictamente controladas, lo que plantea cuestiones sobre el dolor animal y el respeto a la vida animal. La modificación genética en sí misma puede causar problemas imprevistos en la salud y el comportamiento de los animales.<sup>(10)</sup> Además, se preocupa de que estos animales se vean como recursos biológicos, lo que podría llevar a un tratamiento menos respetuoso y compasivo con ellos.<sup>(20)</sup>

El daño animal de este tipo iría en contra del bienestar animal, que está basado en tres aspectos relevantes para los sistemas de producción animal, como reducir o evitar sufrimiento innecesario, ya sea dolor severo, hambre o sed.<sup>(15)</sup> El segundo aspecto limita el estilo de vida natural o su expresión de comportamiento normal y la tercera evoca sobre todo no producir una muerte injustificada o mal intencionada a los animales.

Por otra parte, debemos recordar la existencia del Farm Animal Welfare Council (1979), habla sobre cinco libertades que los animales deberían tener, primero la libertad de hambre y sed, segundo la libertad de malestar o incomodidad, tercera libertad de dolor, lesiones y enfermedades, cuarto libertad de comportamiento normal, y la quinta la libertad de temor o estrés. Cada una de estas puede ser violada durante las modificaciones genéticas y los procesos invasivos anteriormente descritos o las modificaciones de ambiente de crianza que requeriría evitar la zoonosis.<sup>(10,13,15)</sup>



Además, la modificación genética de animales para fines de xenotrasplantes implica la alteración de su código genético de maneras que no ocurren naturalmente. Este tipo de intervención plantea preguntas sobre la naturalidad y la integridad biológica. Algunos argumentan que modificar genéticamente a los animales para que sus órganos sean compatibles con los humanos puede considerarse una manipulación excesiva de la naturaleza, lo que debería implicar un análisis ético sobre cómo interactúan y afectan a otras formas de vida en el planeta.<sup>(21)</sup>

Si bien el ser humano realiza actividades experimentales en diversos tipos de animales debemos analizar los deberes que se plantean con estos. El deontologismo Kantiano determina que existen deberes indirectos y responsabilidades con los animales que participan en experimentos, ya que si un ser humano es capaz de dañar o producir sufrimiento a un ser irracional podría ser capaz de extrapolar esa violencia a sus semejantes.<sup>(15,22,23,24)</sup> A partir de este razonamiento podemos obtener la base para considerar medidas de protección animal que aún deben establecerse y regularse o incluso crear actividades de rechazo a procedimientos innecesariamente crueles, aunque estos ayuden al desarrollo de la humanidad.<sup>(25,26)</sup> Por otra parte, si consideramos el utilitarismo deberían valorar si el beneficio para la población mundial supera al dolor y crueldad que podría necesitarse para conseguir ese xenotrasplante perfecto.<sup>(10,11,15,27)</sup>

La seguridad para los receptores humanos es otra área crucial de debate. A pesar de los avances en la ingeniería genética que buscan minimizar los riesgos de transmisión de enfermedades zoonóticas, la posibilidad de una transmisión viral o bacteriana inadvertida no puede eliminarse por completo.<sup>(14,20)</sup> Desde esta perspectiva, humanismo es indispensable en los cuidados sanitarios desde esta perspectiva ética de la seguridad humana, porque los enfermos son los más necesitados de cuidados y valores humanos, o sea, que las actitudes y valores humanos de los profesionales pueden tener la máxima repercusión sobre ellos, precautelando buscar el máximo beneficio para los pacientes sin perjudicar a otros.<sup>(22)</sup>

Es importante recordar que los valores más proclamados por el humanismo son la dignidad humana, el desarrollo humano y la compasión. Valores que cada uno de los médicos deberían mantener con firmeza para evitar violentar o afectar a los seres humanos, aunque se postule un beneficio a obtener de esa práctica. Al considerar, es importante considerar el consentimiento informado, siendo otro aspecto ético vital en el contexto de los xenotrasplantes. Se debe informar plenamente a los pacientes que reciben órganos de animales modificados genéticamente sobre los riesgos y beneficios y sobre la naturaleza experimental del procedimiento.<sup>(17,21)</sup> Además, médicos e investigadores son responsables de comunicar claramente la incertidumbre y los riesgos asociados a estos procedimientos, asegurando que los pacientes comprendan lo que implica participar en tales tratamientos experimentales.

El consentimiento informado esencialmente, debe respetar el principio de autonomía de los pacientes, concepto propuesto por Kant en el siglo XVIII quien concibe al ser humano como un sujeto moral capaz de decidir desde su razón y libertad, que es responsable de sus actos, y quien debe ser respetado como tal, ese ente capaz de decidir es el único que puede o no elegir participar en estos procedimientos.<sup>(23)</sup>

La ética de la justicia y el utilitarismo también juegan un papel importante en el debate del desarrollo y uso de tecnologías de modificación genética y xenotrasplantes deben ser organizadas de manera que sean accesibles y beneficien a quienes más lo necesiten, evitando que se conviertan en soluciones disponibles solo para aquellos que pueden permitirse los costos elevados. La distribución equitativa de estos avances médicos es crucial para evitar aumentar las disparidades existentes en el acceso a la atención médica. Además, deben considerarse la bioética global y cómo estas tecnologías pueden afectar a diferentes comunidades y regiones del mundo enfatizando preocupaciones sobre responsabilidad, cuidado, justicia social y equidad



distributiva. Por ejemplo, en algunos países en desarrollo, la falta de infraestructura adecuada podría limitar el acceso a estas tecnologías médicas, exacerbando las desigualdades en salud, por lo que se debería maximizar el bienestar general y otorgar a la población mundial de la misma técnica o desarrollo científico.<sup>(20,21)</sup>

En este sentido, la ética ambiental, la ética de la responsabilidad y principio de precaución argumentan que el uso de animales genéticamente modificados se debe realizar con cautela y tomar medidas preventivas para evitar posibles riesgos y daños globales cuestionando el bienestar de los animales y su uso instrumental.<sup>(15)</sup> También plantea perspectivas sobre la sostenibilidad a largo plazo que deben evaluarse en términos de eficiencia y el impacto ambiental.<sup>(20)</sup> Además, la liberación accidental o intencional de estos animales en el medio ambiente podría tener consecuencias ecológicas impredecibles, afectando a la biodiversidad y los ecosistemas naturales.<sup>(14)</sup>

El xenotrasplante no solo representa un reto médico, sino también implicaciones éticas relacionadas con la identidad y el sentido de uno mismo. El personalismo nos reconoce como seres libres, racionales, sociales y comunitarios que se diferencian de los objetos como tal, este personalismo se junta con el biopoder y postula que esa capacidad de libertad y raciocinio nos coloca sobre los animales, excluyéndolos del contrato social.<sup>(15)</sup> Esto explica como los animales no están sujetos a responsabilizarse de sus actos y tampoco reciben castigos, pero tampoco tienen derechos ni soberanía sobre sus cuerpos. Aunque, el desarrollo tecnológico nos permite beneficios de órganos animales genéticamente modificados, es esencial valorar el respeto a la dignidad humana y la singularidad de cada ser humano, ya que la integración de uno puede llevar a cuestionar su identidad, creando estrés, ansiedad, sentimientos de extrañeza y rechazo al órgano trasplantado.<sup>(21)</sup>

Debido al desarrollo de la humanidad, la tecnología y avances científicos como los xenotrasplantes, la ética transhumanista nos da una perspectiva de análisis para valorar que límites deberían o no superarse para el mejoramiento humano, sin que esto afecte nuestra concepción, nuestro autoestima, identidad y humanidad.<sup>(24,28)</sup> En cada paciente se valora la importancia de la unidad cuerpo-mente, ya que puede tener consecuencias en la autocomprensión sobre lo que significa ser humano y su autoestima generando conflictos internos y desconfianza ante cómo la sociedad puede afectar su integración, por lo que se resalta la necesidad de solicitar ayuda psicológica y compañía durante el proceso de aceptación del órgano trasplantado. Dentro del enfoque ético se defiende la comprensión y educación de la sociedad para brindar apoyo integral y respeto hacia el cambio interno y externo que el paciente empieza a vivir.<sup>(21)</sup>

Los xenotrasplantes tienen promesas significativas para abordar la crítica escasez de órganos humanos disponibles para trasplantes, pero existen preocupaciones éticas que afectan tanto a pacientes como investigadores, cuidadores de animales y la sociedad.<sup>(25)</sup> Como lo recalcan Fischer y Schnieke,<sup>(6)</sup> acerca de la oferta y demanda de órganos cadavéricos para trasplantes es escasa por lo que los xenotrasplantes son una alternativa favorable.

Respecto al bienestar animal, Silverman y Odonkor,<sup>(20)</sup> mencionan que los trasplantes implicarían sacrificio, vileza para los animales, barrera especie, riesgo de zoonosis, aspectos religiosos y culturales, además uno de los mayores desafíos en los xenotrasplantes es el rechazo inmunológico. Por otro lado, tenemos la posibilidad de salvar vidas mediante el acceso a órganos xenogénicos que plantea una esperanza tangible para muchos pacientes y de otro modo podrían morir en listas de espera prolongadas. Esta situación resalta la obligación moral de explorar y desarrollar nuevas tecnologías médicas que puedan mejorar la salud y el bienestar humano.<sup>(8,19)</sup>

El dilema ético surge porque en ocasiones, maximizar los beneficios para un paciente individual podría implicar riesgos para la salud pública, y viceversa. Permitir un tratamiento experimental podría ser beneficioso para un paciente, pero no estar completamente evaluado en términos de seguridad, representando un riesgo potencial para otros. Encontrar el equilibrio adecuado requiere una consideración cuidadosa de los principios éticos, los datos científicos, y las políticas de salud pública.<sup>(9)</sup>

En el ámbito del bienestar animal versus el bienestar humano, lo positivo es que los avances en xenotrasplantes pueden llevar a la creación de protocolos que minimicen el sufrimiento animal, equilibrando el bienestar animal con los beneficios para la salud humana. Lo negativo es que los esfuerzos por proteger el bienestar animal pueden limitar la disponibilidad de órganos para trasplantes, lo que podría tener un impacto negativo en los pacientes humanos.<sup>(18,22)</sup>

La creación de animales transgénicos específicamente criados para la donación de órganos humanos plantea preguntas significativas sobre el bienestar animal y la justificación ética de alterar genéticamente a otros seres vivos para beneficio humano. Este dilema ético se amplifica al considerar la autonomía y el respeto hacia los animales, así como la posibilidad de crear seres vivos con propósitos puramente utilitarios. Al comparar la manipulación genética con el beneficio humano y el bienestar animal, encontramos tanto ventajas como desventajas. En términos de manipulación genética versus bienestar animal, la ventaja es que permite la creación de animales con órganos más adecuados para trasplantes, potencialmente reduciendo el número de animales necesarios. La desventaja según George AJT,<sup>(7)</sup> es que estos procedimientos pueden causar sufrimiento y problemas de salud en los animales, lo que plantea serias cuestiones éticas.

La aceptación social y cultural de los xenotrasplantes es un tema complejo que va más allá de consideraciones médicas y biológicas. Las diferencias en percepciones y creencias culturales sobre el uso de tejidos animales en medicina reflejan la diversidad de tradiciones y valores en diferentes comunidades. Estas variaciones pueden generar desafíos éticos al intentar establecer políticas y prácticas que sean aceptables para todos. Es crucial abordar estas diferencias para garantizar que los xenotrasplantes se lleven a cabo de manera ética, socialmente responsable y culturalmente sensible, respetando las creencias y valores de cada grupo cultural involucrado.<sup>(19,20)</sup>

En cuanto al análisis de los principios, la no maleficencia, que implica no causar daño, se aplica tanto a animales como a humanos debido a su capacidad de sentir dolor. En los xenotrasplantes, los animales deben ser aislados, sometidos a pruebas dolorosas, a menudo sufren daños físicos y psicológicos considerables, lo que constituye una violación directa de este principio ético.<sup>(4)</sup> Aunque algunos efectos pueden mitigarse, el aislamiento y la falta de interacción social tienen consecuencias negativas, violando así este principio. El sufrimiento y la muerte de animales en estos procedimientos plantean serias cuestiones morales sobre la justificación de tales prácticas.<sup>(19)</sup>

El principio de beneficencia tiene un rol crucial en la evaluación ética de los xenotrasplantes. Si bien estos trasplantes pueden ofrecer grandes beneficios a los pacientes humanos, también plantean importantes desafíos éticos relacionados con el bienestar animal y la distribución de recursos. La evaluación ética debe equilibrar cuidadosamente estos factores para asegurar que las prácticas médicas sean lo más beneficiosas y justas posible.<sup>(6)</sup> Por otro lado, los costos inciertos y elevados de la investigación en xenotrasplantes pueden desviar recursos financieros de otras áreas de investigación que podrían ser más éticas y tener un impacto más positivo en la salud pública.<sup>(3)</sup>

El principio de autonomía es difícil de aplicar a animales y personas con discapacidades funcionales. La autonomía implica elecciones intencionales, informadas y sin influencias externas, lo cual no se aplica fácilmente a los animales.<sup>(22)</sup> Sin embargo, se debe respetar la autonomía permitiendo comportamientos típicos de su especie. Como se ha observado en el análisis de los principios bioéticos, la balanza se inclina notablemente hacia las desventajas, lo que hace imposible realizar un xenotrasplante sin violar los principios éticos. Considerando esto, los xenotrasplantes, bajo estas circunstancias, son completamente impermisibles desde un punto de vista ético. La propuesta alternativa sería reinvertir los recursos o abordar estos desafíos mediante un enfoque transparente y regulado que respete tanto la vida humana como la vida animal, así como las diversas perspectivas culturales, sociales, éticas y políticas.<sup>(19)</sup>

## CONCLUSIONES

La creciente demanda de trasplantes de órganos frente a la limitada oferta ha impulsado la búsqueda de alternativas como los xenotrasplantes, los cuales, pese a los avances en modificación genética —especialmente con técnicas como CRISPR/Cas9 que han mejorado la compatibilidad y supervivencia de los injertos—, continúan enfrentando desafíos inmunológicos y bioéticos de gran relevancia. Entre las principales preocupaciones se incluyen el bienestar animal, la seguridad ante posibles enfermedades zoonóticas, la justicia distributiva en el acceso, el consentimiento informado y la sostenibilidad ambiental, además de debates filosóficos sobre identidad, transhumanismo y dignidad humana. Aunque los xenotrasplantes representan una opción prometedora para aliviar la escasez de órganos y tratar enfermedades graves, su implementación exige un enfoque ético integral que armonice innovación científica con responsabilidad social y respeto a principios morales fundamentales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Guerrero Nejer KS, Dueñas Romero ER, Pazmiño Figueroa JJ, Zambrano Tacoamán OI, Sangoquiza Amagua SF. Historia, Preservación, Criterios de Selección y Técnicas Quirúrgicas del Trasplante de Córneas. *Ciencia Latina* [Internet]. 2024[citado 04/07/2024]; 7(6): 8773-88. Disponible en: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/9540>.
2. Becerra RJA. HLA-G y su función en trasplantes de órganos sólidos. *Rev Nefrol Dial Traspl* [Internet]. 2022 [citado 04/07/2024]; 42(1): 83-97. Disponible en: [https://www.scielo.org/ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2346-85482022000100083](https://www.scielo.org/ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2346-85482022000100083)
3. Aristizabal AM, Caicedo LA, Martínez JM, Moreno M, J. Echeverri G. Xenotrasplantes, una realidad cercana en la práctica clínica: revisión de la literatura. *Cir Esp* [Internet]. 2017 [citado 30/06/2024]; 95(2): 62-72. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0009739X16302214>
4. Curbera Luis J. Un enfoque principialista respecto a los xenotrasplantes. *Dilemata* [Internet]. 2023 [citado 01/07/2024]; (42): 13-29. Disponible en: <https://www.dilemata.net/revista/index.php/dilemata/article/view/412000529>.

5. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Systematic Reviews* [Internet]. 2021 [citado 30/06/2024]; 10: 89. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33782057/>
6. Fischer K, Schnieke A. Xenotransplantation becoming reality. *Transgenic Res* [Internet]. 2022 [citado 29/06/2024]; 31(3): 391-8. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11248-022-00306-w>.
7. George AJT. Ethics, virtues and xenotransplantation. *Perfusion* [Internet]. 2024 Mar [cited 05/07/2024]; 39(2): 334. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36382884/>
8. Negri A, Wilson L. Future Systems of Xenotransplantation: Melding Historical and Bioethical Methodology. *Cell Transplant* [Internet]. 2023 [citado 30/06/2024]; 32. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/09636897231170510>.
9. Tanveer Y, Arif A, Tsenteradze T, Anika NN, Bakht D, Masood QF, et al. Revolutionizing Heart Transplantation: A Multidisciplinary Approach to Xenotransplantation, Immunosuppression, Regenerative Medicine, Artificial Intelligence, and Economic Sustainability. *Cureus* [Internet]. 2023 [citado 30/06/2024]; 15(9). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37908951/>
10. Reichart B, Cooper DKC, Längin M, Tönjes RR, Pierson RN, Wolf E. Cardiac xenotransplantation: from concept to clinic. *Cardiovasc Res* [Internet]. 2023 [citado 29/06/2024]; 118(18): 3499-516. Disponible en: <https://academic.oup.com/cardiovasres/article/118/18/3499/6869130?login=false>
11. Yoon CH, Choi HJ, Kim MK. Corneal xenotransplantation: Where are we standing? *Prog Retin Eye Res* [Internet]. 2021 [citado 30/06/2024]; 80: 100876. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32755676/>
12. Mohd Zailani MF, Hamdan MN, Mohd Yusof AN. Human-Pig Chimeric Organ in Organ Transplantation from Islamic Bioethics Perspectives. *Asian Bioeth Rev* [Internet]. 2023 [citado 30/06/2024]; 15(2): 181-8. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9667846/>
13. Hurst DJ, Padilla L, Rodger D, Schiff T, Cooper DKC. Close contacts of xenograft recipients: Ethical considerations due to risk of xenozoonosis. *Xenotransplantation* [Internet]. 1 de marzo de 2024 [citado 30/06/2024]; 31(2): e12847. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/xen.12847>.
14. Sade RM, Mukherjee R. Ethical Issues in Xenotransplantation: The First Pig-to-Human Heart Transplant. *Annals of Thoracic Surgery* [Internet]. 2022 [citado 29/06/2024]; 113(3): 712-4. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35168784/>
15. Gonzalez J, Valverde A. Bienestar animal en las ciencias agronómicas: un enfoque desde la ética del biopoder y el bioderecho. *Trama, Rev Ciencias Sociales y Humanidades* [Internet]. 2024 [citado 29/06/2024]; 12(1): 59-89. disponible en: <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/trama/article/view/7087>
16. Rodger D, Cooper DKC. Kidney xenotransplantation: Future clinical reality or science fiction? *Nurs Health Sci* [Internet]. 2023 [citado 30/06/2024]; 25(1): 161-70. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nhs.12994>.

17. Cooper DKC, Hara H. "You cannot stay in the laboratory forever": Taking pig kidney xenotransplantation from the laboratory to the clinic. EBioMedicine [Internet]. 2021 [citado 30/06/2024]; 71: 103562. Disponible en: <http://www.thelancet.com/article/S2352396421003558/fulltext>.
18. Xu H, He X. Developments in kidney xenotransplantation. Front Immunol. [Internet]. 2023 [citado 30/06/2024]; 14: 1242478. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38274798/>
19. Galvao FHF, Grinberg M. Bioethics and xenotransplantation from pig to human. Clinics. [Internet] 1 de enero de 2023. [citado 30/06/2024];78:100170. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9932344/>
20. Silverman H, Odonkor PN. Reevaluating the Ethical Issues in Porcine-to-Human Heart Xenotransplantation. Hastings Center Report [Internet]. 2022 [citado 30/06/2024]; 52(5): 32-42. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/hast.1419>.
21. Hurst DJ, Padilla LA, Cooper DKC, Walters W, Paris W. The attitudes of religious group leaders towards xenotransplantation: A focus group study. Xenotransplantation [Internet]. 1 de septiembre de 2022 [citado 30/06/2024];29(5):e12777. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/xen.12777>.
22. Sánchez González MÁ. El humanismo y la enseñanza de las humanidades médicas. Educación Médica [Internet]. 2017 Jul [citado 30/06/2024]; 18(3): 212–8. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1575181317300463>
23. Beca Infante JP. La autonomía del paciente en la práctica clínica. Revista chilena de enfermedades respiratorias [Internet]. 2017 Dec [cited 03/07/2024]; 33(4): 269–71. Available from: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-73482017000400269&lng=es&nrm=iso&tlng=es](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-73482017000400269&lng=es&nrm=iso&tlng=es).
24. González Padilla A. Las quimeras e híbridos humanos y el transhumanismo a propósito de la ingeniería genética. Numinis: Revista de Filosofía. [Internet]. 2023 [citado 01/07/2024]; 1(1): 81-102. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9031743&info=resumen&idioma=SPA>.
25. Chow KM, Maggiore U, Dor FJMF. Ethical Issues in Kidney Transplant and Donation During COVID-19 Pandemic. Semin Nephrol [Internet]. 2022 Jul [cited 03/07/2024]; 42(4): 151272. Available from: <http://www.seminarsinnephrology.org/article/S0270929522000547/fulltext>.
26. Costa JR, Bejcek BE, McGee JE, Fogel AI, Brimacombe KR, Ketteler R. Genome Editing Using Engineered Nucleases and Their Use in Genomic Screening. Assay Guidance Manual [Internet]; 2017 Nov [cited 04/07/2024]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK464635/>.
27. Mill JS. Utilitarianism. London: JM Dent [Internet]; 1861. [cited 04/07/2024]. Disponible en: <https://www.utilitarianism.com/jsmill-utilitarianism.pdf>
28. Bentham J. Deontology or The Science of Morality. London: Longman, Rees, Orme, Browne, Green, and Longman [Internet]; 1834. [cited 04/07/2024]. Disponible en: <https://archive.org/details/deontologyorscie01bent/page/n23/mode/2up>