



Reseña

Aplicación de células madre de ganado vacuno y sus implicaciones para la salud animal y humana

Application of bovine stem cells and their implications for animal and human health

Lidyce Quesada Leyva ^{*}, José A. Betancourt Bethencourt ^{*}, Zaddys Ahimara Ruiz Hunt ^{*}

*Universidad de Ciencias Médicas. Centro de Inmunología y Productos Biológicos. Camagüey. Cuba.

Correspondencia: betanster@gmail.com

Recibido: Diciembre, 2024; Aceptado: Enero, 2025; Publicado: Marzo, 2025.

RESUMEN

Antecedentes: El ganado vacuno es fundamental para la seguridad alimentaria, la economía global y la sostenibilidad ambiental, aportando alimentos, empleo y servicios ecosistémicos. La investigación en células madre bovinas ha emergido como una herramienta innovadora en biotecnología, con aplicaciones que abarcan desde la medicina regenerativa hasta la producción de carne cultivada, abordando desafíos en salud animal y humana. **Objetivo.** Revisar sistemáticamente las aplicaciones de las células madre de ganado vacuno, sus mecanismos, beneficios, riesgos y avances recientes, así como sus implicaciones para la salud veterinaria y humana. **Método:** Se realizó una revisión de literatura científica (últimos 10 años) en bases como PubMed, Scopus y Web of Science, usando términos como "Bovine stem cells" y "Stem cell therapy in veterinary medicine". Se incluyeron artículos revisados por pares en inglés/español, centrados en fuentes celulares, aplicaciones clínicas y ética. **Resultados:** Fuentes y tipos: Las células madre bovinas incluyen embrionarias (CME pluripotentes), fetales (multipotentes), adultas (médula ósea, tejido adiposo) e iPSCs (reprogramadas). Aplicaciones veterinarias: Tratamiento de artritis, lesiones medulares en animales y clonación de ejemplares élite. Aplicaciones humanas: Modelos para osteoartritis, bioimpresión 3D de tejidos y terapias contra el cáncer (CAR-T). Beneficios: Regeneración tisular, reducción de inflamación y alternativas a cirugías invasivas. Riesgos: Tumorigenicidad, rechazo inmunológico y falta de protocolos estandarizados. Avances: Edición génica con CRISPR, organoides para estudiar mastitis y carne cultivada sostenible. **Conclusiones:** Las células madre bovinas representan un puente entre la medicina veterinaria y humana, con avances como la bioimpresión 3D y la clonación. Persisten desafíos: estandarización de protocolos, accesibilidad económica y dilemas éticos (uso de embriones, regulación de carne cultivada). Futuras investigaciones deben priorizar

Como citar (APA) Quesada Leyva, L., Betancourt Bethencourt, J.A., & Ruiz Hunt, Z.A. (2025). Aplicación de células madre de ganado vacuno y sus implicaciones para la salud animal y humana. *Revista De Producción Animal*, 37. <https://apm.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/167>



©El (los) autor (es), Revista de Producción Animal 2020. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Attribution-NonCommercial 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), asumida por las colecciones de revistas científicas de acceso abierto, según lo recomendado por la Declaración de Budapest, la que puede consultarse en: Budapest Open Access Initiative's definition of Open Access.

colaboración interdisciplinaria, integración de inteligencia artificial y marcos regulatorios globales para maximizar su impacto en salud y sostenibilidad.

Palabras clave: biotecnología, bovinos, células madre, terapia regenerativa, transdisciplina
(Fuente: DeCS)

ABSTRACT

Background: Cattle are fundamental to food security, the global economy, and environmental sustainability, providing food, employment, and ecosystem services. Research on bovine stem cells has emerged as an innovative tool in biotechnology, with applications ranging from regenerative medicine to cultivated meat production, addressing challenges in animal and human health. **Objective.** To systematically review the applications of bovine stem cells, their mechanisms, benefits, risks, recent advances, and implications for veterinary and human health. **Method:** A review of scientific literature (last 10 years) was conducted using databases such as PubMed, Scopus, and Web of Science, with search terms like "Bovine stem cells" and "Stem cell therapy in veterinary medicine." Peer-reviewed articles in English/Spanish were included, focusing on cell sources, clinical applications, and ethics. **Results:** Sources and types: Bovine stem cells include embryonic (pluripotent ESCs), fetal (multipotent), adult (bone marrow, adipose tissue), and iPSCs (reprogrammed). Veterinary applications: Treatment of arthritis, spinal injuries in animals, and cloning of elite specimens. Human applications: Models for osteoarthritis, 3D bioprinting of tissues, and cancer therapies (CAR-T). Benefits: Tissue regeneration, reduced inflammation, and alternatives to invasive surgeries. Risks: Tumorigenicity, immune rejection, and lack of standardized protocols. Advances: CRISPR gene editing, organoids for mastitis studies, and sustainable cultivated meat. **Conclusions:** Bovine stem cells bridge veterinary and human medicine, with advances such as 3D bioprinting and cloning. Challenges persist: protocol standardization, economic accessibility, and ethical dilemmas (embryo use, cultivated meat regulation). Future research must prioritize interdisciplinary collaboration, integration of artificial intelligence, and global regulatory frameworks to maximize their impact on health and sustainability.

Keywords: bovine, biotechnology, regenerative therapy stem cells, transdisciplinary (Source: DeCS)

INTRODUCCIÓN

El ganado vacuno desempeña un papel crucial en la agricultura y la economía global, proporcionando no solo alimentos nutritivos como carne y leche, sino también otros productos esenciales como cuero y fertilizantes. Su importancia se puede desglosar en varios aspectos:

- a) Seguridad alimentaria, ya que contribuye significativamente a las dietas humanas al proporcionar proteínas de alta calidad. La carne y la leche son fuentes importantes de nutrientes esenciales, como proteínas, vitaminas y minerales.
- b) Impacto ambiental del ganado, hay evidencia que sugiere que el manejo adecuado del pastoreo puede contribuir a la restauración de ecosistemas degradados. El ganado puede ayudar a controlar la desertificación y mejorar la salud del suelo.

c) fuente vital de empleo y sustento para millones de personas en todo el mundo. En América Latina, por ejemplo, se estima que 81 millones de personas dependen directamente de la producción ganadera. La investigación sobre el ganado vacuno ha llevado a innovaciones en la producción animal, incluyendo mejoras en la salud y productividad a través de técnicas avanzadas como la selección genética y el uso de células madre (FAO, 2024).

La investigación sobre células madre en el contexto del ganado vacuno ha avanzado significativamente, abriendo nuevas posibilidades para la biotecnología agrícola tales como: a) producción de carne cultivada, b) preservación genética, c) células Madre Pluripotentes Inducidas (iPSCs), d) Biotecnología regenerativa (García Pedraza, 2024).

En resumen, tanto el ganado vacuno como los avances en investigación de células madre son fundamentales para abordar desafíos globales relacionados con la alimentación, sostenibilidad y salud animal (Han *et al.*, 2024; Kumar *et al.*, 2021).

Las células madre son un tipo especial de células que poseen la capacidad de autorrenovarse y diferenciarse en diversos tipos de células especializadas. Estas propiedades las convierten en un área de investigación fundamental en biología y medicina (Zhao *et al.*, 2021).

Hay varios tipos de células madre: a) células madre embrionarias (CME): Proviene de embriones en las primeras etapas de desarrollo, específicamente del blastocisto, que tiene entre 3 y 5 días de vida. Son pluripotentes, lo que significa que pueden convertirse en casi cualquier tipo de célula del cuerpo humano, permitiendo la regeneración de tejidos y órganos dañados, células Madre Adultas (CMA): Se encuentran en tejidos específicos de adultos, niños y fetos. Estas células son también conocidas como células madre tisulares. Generalmente son multipotenciales, lo que implica que pueden diferenciarse en varios tipos celulares, pero están limitadas a los tipos de células del tejido del cual provienen. Por ejemplo, las células madre hematopoyéticas pueden generar diferentes tipos de células sanguíneas, c) células Madre Pluripotentes Inducidas (iPSCs): Son células adultas que han sido reprogramadas genéticamente para adquirir propiedades similares a las de las células madre embrionarias. Al igual que las CME, las iPSCs son pluripotentes y pueden diferenciarse en casi cualquier tipo celular. Tienen la capacidad de dividirse indefinidamente para producir más células madre y de transformarse en diferentes tipos celulares especializados, lo que es crucial para el desarrollo y la reparación de tejidos (Barfoot *et al.*, 2017; Olenic *et al.*, 2024).

Las células madre tienen un vasto potencial en diversas áreas:

- ✓ Medicina regenerativa: Pueden utilizarse para regenerar tejidos dañados o enfermos, lo cual es prometedor para el tratamiento de enfermedades como la diabetes, enfermedades cardíacas y lesiones medulares (Ruiz *et al.*, 2024).
- ✓ Investigación biomédica: Proporcionan modelos para estudiar el desarrollo humano y las enfermedades, así como para probar nuevos tratamientos (Barrera *et al.*, 2007).

- ✓ Terapias Celulares: Se están explorando tratamientos basados en células madre para enfermedades hematológicas, como leucemias y trastornos relacionados con la médula ósea (Hong, 2022; Quesada Leyva *et al.*, 2017).

En resumen, el estudio de las células madre es un campo dinámico con implicaciones significativas para la medicina moderna, ofreciendo soluciones potenciales a problemas médicos complejos y desafiantes.

La presente revisión tiene como objetivo exponer la aplicación de células madre de ganado vacuno y sus implicaciones para la salud animal y humana.

DESARROLLO

El presente artículo es para llevar a efecto una revisión sistemática de la literatura científica sobre artículos publicados en los últimos diez años, en inglés y español y revisados por pares que tratan la aplicación de células madre de ganado vacuno y sus implicaciones en la salud animal y humana. Se consultaron las bases de datos científicas como PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect en y Google Scholar con los términos de búsqueda: "Bovine stem cells", "Cattle stem cell applications", "Stem cell therapy in veterinary medicine", "Bovine stem cells in human health", "Ethical implications of bovine stem cells."

Los temas de revisión fueron:

- ✓ Mecanismos de acción de las células madre;
- ✓ Fuentes y tipos de células madre derivadas del ganado vacuno.
- ✓ Aplicaciones tienen estas células madre en la medicina veterinaria y humana.
- ✓ Beneficios y riesgos asociados con su uso.
- ✓ Avances recientes se han logrado en este campo.
- ✓ Se analizaron en las referencias las tendencias, avances significativos y brechas en la investigación.

Mecanismos de acción de las células madre

Las células madre tienen la capacidad única de autorrenovarse y diferenciarse en varios tipos celulares, lo que les permite desempeñar un papel crucial en la regeneración y reparación de tejidos (Yang *et al.*, 2023). Estas células pueden dividirse de manera simétrica (produciendo dos células madre) o asimétrica (produciendo una célula madre y una célula diferenciada). La división asimétrica es esencial para mantener la población de células madre mientras se generan células especializadas. La autorrenovación y diferenciación están reguladas por factores de transcripción como NANOG, OCT3/4 y SOX2, que mantienen el estado indiferenciado de las células madre. La actividad de la telomerasa también juega un papel importante al permitir que las células madre se dividan indefinidamente sin envejecer (Molnar *et al.*, 2022).

El plasma rico en plaquetas (PRP) es un producto sérico condicionado producido por centrifugación o filtración con una concentración aumentada de plaquetas frente al plasma normal. Cuando estas se activan in vivo por inflamación, cloruro cálcico, trombina o lisis, liberan

numerosos factores de crecimiento y citocinas inmunomoduladoras. Los factores de crecimiento en el PRP favorecen la proliferación de células mesenquimatosas y epiteliales, la producción de colágeno tipo I, la angiogénesis y la diferenciación de células progenitoras locales para acelerar el proceso de cicatrización de los tejidos lesionados. Por otra parte, los productos de suero autólogo condicionado (SAC) se usan principalmente para modular la señalización de citocinas inflamatorias en la osteoartritis. Otro es la solución de proteína autóloga (SPA) es un tratamiento disponible más recientemente que concentra plaquetas, factores de crecimiento y citocinas antiinflamatorias a través de un proceso de centrifugación y activación con perlas de poliacrilamida (Jaya Baquero, 2024; Tornero-Tornero & Fernández Rodríguez, 2021).

Las células madre residen en un microambiente específico conocido como "nicho", donde interactúan con otros tipos celulares y factores solubles. Esta interacción es crucial para regular su comportamiento, ya que el nicho proporciona señales que pueden activar o inhibir procesos de autorrenovación y diferenciación. Factores de crecimiento y citoquinas liberados por las células del nicho influyen en la proliferación y diferenciación de las células madre (Yang *et al.*, 2023).

Las células madre pueden liberar diversas moléculas que actúan sobre ellas mismas (efecto autocrino) o sobre células vecinas (efecto paracrino). Estos factores pueden incluir citocinas, quimiocinas y factores de crecimiento, que son esenciales para la migración, proliferación y diferenciación celular. Mecanismos como la autofagia permiten a las células madre eliminar componentes dañados y mantener su integridad celular. Este proceso es crucial para que las células madre entren en un estado de reposo adecuado, evitando su agotamiento prematuro (Chirveches, 2024).

En algunos casos, las células madre pueden diferenciarse en un tipo celular diferente al que normalmente producen. Este fenómeno, conocido como transdiferenciación, permite a las células madre adaptarse a diferentes contextos fisiológicos o patológicos, integrándose en el tejido circundante para participar en procesos regenerativos (Salazar-Villegas, 2024).

Fuentes y tipos de células madre derivadas del ganado vacuno

Las células madre bovinas se obtienen de diversas fuentes y se clasifican según su origen y potencial de diferenciación. A continuación, se detallan las principales fuentes y tipos:

- ✓ Células madre embrionarias (CME): Se extraen de blastocistos (embriones en etapas tempranas de desarrollo, alrededor del día 5-7). Son pluripotentes, lo que les permite diferenciarse en cualquier tipo celular del organismo, incluyendo células musculares, cardíacas, hepáticas y neuronales. Son utilizadas en investigación para clonación, producción de tejidos y estudios de desarrollo embrionario. Se llevan a cabo estudios de la situación ético-jurídica que regula estos modelos de desarrollo. (Alomar y Erbaş, 2024)
- ✓ Células madre fetales: Derivadas de tejidos de fetos bovinos en desarrollo. Tienen un potencial de diferenciación más limitado que las CME, pero aún son multipotentes, pudiendo generar células de tejidos específicos como hueso, cartílago o músculo. Usadas en medicina

regenerativa para tratar enfermedades como artritis o lesiones musculoesqueléticas en animales y humanos (Kaptan y Erbaş, 2024).

- ✓ Células Madre Adultas:
 - Médula ósea: Producen células sanguíneas y del sistema inmunológico(Toco *et al.*, 2024).
 - Tejido adiposo (grasa): Utilizadas para regenerar tejidos como músculo o cartílago(Sánchez-Leal *et al.*, 2024).
- ✓ Células madre pluripotentes inducidas (iPSCs) (Cerneckis *et al.*, 2024) Células somáticas adultas (ej. de piel) reprogramadas genéticamente para adquirir pluripotencia. Pluripotentes, similares a las CME, pero sin necesidad de usar embriones, lo que reduce dilemas éticos.
- ✓ Sangre del cordón umbilical: Aunque menos común en bovinos, es una fuente potencial de células madre hematopoyéticas (Solís *et al.*, 2018).

Las células madre bovinas no solo revolucionan la medicina veterinaria y humana (ej. terapias regenerativas), sino que también ofrecen soluciones sostenibles para la ganadería, como la producción de carne cultivada o la preservación de biodiversidad genética. Sin embargo, su desarrollo requiere superar desafíos técnicos y éticos para garantizar aplicaciones seguras y responsables.

Aplicaciones de las células madre en la medicina veterinaria y humana

Las células madre bovinas han demostrado un potencial significativo en ambos campos, con aplicaciones que van desde la regeneración de tejidos hasta la innovación en biotecnología. A continuación, se detallan sus principales usos:

Las células madre de ganado vacuno se emplean principalmente en el tratamiento de enfermedades y lesiones en animales, destacando:

- Enfermedades musculo esqueléticas: Displasia de cadera y artritis: Las células madre mesenquimales (CMM) derivadas de tejido adiposo o médula ósea reducen la inflamación y regeneran cartílago, mejorando la movilidad en perros y caballos . Lesiones de tendones y ligamentos: Aceleran la curación en caballos con tendinitis y desmitis, mejorando la calidad del tejido regenerado (Fortier y Travis, 2011).

Una gran cantidad de enfermedades musculoesqueléticas afectan a una gran parte de la población mundial desde el nacimiento hasta la muerte. Innumerables enfermedades patológicas y lesiones traumáticas (agudas y crónicas) contribuyen a diferentes discapacidades humanas, causando un tremendo costo financiero en la economía de la atención médica. El campo médico está continuamente buscando nuevas formas de combatir las enfermedades relacionadas con la ortopedia. El objetivo inmediato es la restauración de la anatomía y, en última instancia, la recuperación de la función con la esperanza de mejorar la calidad, si no la cantidad, de vida. Los métodos tradicionales implican la corrección/reconstrucción quirúrgica de las deformidades esqueléticas por fracturas/daño/ruptura de tejidos blandos o el reemplazo/resección de

articulaciones degeneradas. La investigación moderna se concentra actualmente en procedimientos innovadores para reponer/restaurar el cuerpo humano a un estado cercano a su estado original/natural (Zumwalt y Reddy, 2020).

- **Patologías neurológicas:** neurológicas primarias, incluida la enfermedad de Parkinson (EP), la enfermedad de Alzheimer (EA), la esclerosis lateral amiotrófica (ELA), la esclerosis múltiple (EM), el accidente cerebrovascular, la lesión de la médula espinal (LME) y otros trastornos relacionados. La revisión comienza con una introducción detallada a la biología de las células madre, que analiza los tipos, las fuentes y los mecanismos de acción de las células madre en terapias neurológicas. Luego examina críticamente la evidencia preclínica de modelos animales y ensayos humanos tempranos que investigan la seguridad, la viabilidad y la eficacia de diferentes tipos de células madre, como las células madre embrionarias (CME), las células madre mesenquimales (CME), las células madre neuronales (CME) y las células madre (Rahimi Darehbagh *et al.*, 2024).

Lesiones medulares y degeneración discal: Promueven la reparación de tejido nervioso en perros y gatos, mejorando la función motora . (Feijo, 2024)

- **Enfermedades internas:** Insuficiencia renal y hepática: Ayudan a regenerar tejidos dañados, como en casos de hepatitis crónica o enfermedad renal en mascotas y humanos (José Antonio *et al.*, 2024).
- **Diabetes mellitus:** Estudios en perros muestran mejoras en la secreción de insulina al usar CMM derivadas de tejido adiposo . (Ghoneim *et al.*, 2024)
- **Aplicaciones en ganado:** Mejora reproductiva: Clonación de animales con características genéticas superiores mediante células madre embrionarias (CME) . (Goszczynski *et al.*, 2023)

Producción sostenible: Desarrollo de carne cultivada in vitro para reducir el impacto ambiental (Soleymani *et al.*, 2024).

Aplicaciones en medicina humana

- Las CMM bovinas sirven como modelo para estudiar la reparación de cartílago en osteoartritis humana, gracias a su similitud biológica (Focsa *et al.*, 2024).
- **Biotechnología y producción farmacéutica:** Uso de células madre bovinas para producir proteínas terapéuticas o factores de crecimiento aplicables en tratamientos humanos (Takematsu *et al.*, 2022) .
- Los estudios en ganado vacuno permiten probar terapias regenerativas antes de su aplicación en humanos, especialmente en áreas como la ingeniería de tejidos (Park *et al.*, 2024).

Beneficios Transversales

- Propiedades antiinflamatorias: Las CMM secretan citocinas que modulan la respuesta inmunitaria, útiles en enfermedades autoinmunes como la enfermedad inflamatoria intestinal.
- Reducción de dolor crónico: Efecto analgésico en pacientes con artrosis o lesiones degenerativas . - Alternativa a cirugías invasivas: Menos riesgos y recuperación más rápida comparado con métodos tradicionales (Salari *et al.*, 2020).
- Aspectos éticos: Uso de embriones en investigación y bienestar animal en aplicaciones ganaderas (Quesada Leyva *et al.*, 2021).

Futuro y perspectivas

Avances en ingeniería genética: Modificación de células madre para mejorar su eficacia terapéutica.

- Terapias combinadas: Uso de CMM con plasma rico en plaquetas (PRP) para potenciar la regeneración.
- Regulación y normativas: Necesidad de marcos legales claros para garantizar seguridad y transparencia, tanto en veterinaria como en humanos (Gupta y Singh, 2024) Las células madre bovinas son una herramienta versátil con aplicaciones transformadoras en medicina veterinaria (tratamiento de displasia, lesiones medulares) y humana (modelos de investigación, biotecnología). Sin embargo, su éxito depende de superar desafíos técnicos y éticos, así como de consolidar protocolos estandarizados. La colaboración entre ambos campos médicos promete acelerar innovaciones que beneficien tanto a animales como a personas (Muniz *et al.*, 2024; Özeydin *et al.*, 2024; Talavera *et al.*, 2017).

Avances en ingeniería genética: Modificación de células madre para mejorar su eficacia terapéutica.

- Terapias combinadas: Uso de CMM con plasma rico en plaquetas (PRP) para potenciar la regeneración.
- Regulación y normativas: Necesidad de marcos legales claros para garantizar seguridad y transparencia, tanto en veterinaria como en humanos (Gupta y Singh, 2024).

Beneficios del uso de células madre

a) Medicina regenerativa: Las células madre tienen la capacidad de transformarse en diferentes tipos de células especializadas del cuerpo, lo que las convierte en un recurso valioso para la medicina regenerativa.

b) Mejora de la piel: En tratamientos faciales, las células madre estimulan la producción de colágeno y elastina, contribuyendo a una piel más firme, elástica y rejuvenecida. También ayudan a reducir arrugas y líneas de expresión, mejorando la textura y elasticidad de la piel.

c) Regeneración de tejidos: Promueven la renovación celular, reparando el daño cutáneo y fortaleciendo la estructura de la piel.

d) Tratamiento de lesiones y enfermedades musculoesqueléticas: En traumatología y cirugía ortopédica, las células madre son una herramienta prometedora para tratar lesiones y enfermedades musculoesqueléticas, acelerando la consolidación ósea en fracturas complejas.

e) Disminución del dolor: El nuevo tejido cartilaginoso generado por las células madre puede reducir el dolor y actuar como antiinflamatorio en enfermedades como la artrosis (Quesada Leyva *et al.*, 2017; Vizoso *et al.*, 2023b).

Riesgos asociados a la terapia con células madre

Existe el riesgo de que las células madre se vuelvan cancerosas si se dividen sin control o se diferencian en células anormales, el cuerpo puede reconocer a las células madre extrañas como una amenaza y atacarlas, causando inflamación y daño, puede causar infecciones u otras complicaciones asociadas con procedimientos médicos invasivos, puede interactuar de manera impredecible con otros medicamentos que esté tomando el paciente, lo que puede resultar en interacciones farmacológicas adversas (Salazar-Villegas, 2024; Vizoso *et al.*, 2023a).

Existe el riesgo de encontrarse con profesionales poco éticos que ofrecen terapias con células madre no probadas o contrastadas que no son seguras ni efectivas (Torneró-Torneró y Fernández Rodríguez, 2021)

Avances recientes en terapias con células madre para bovinos y humanos

a) Medicina regenerativa: Uso de células madre mesenquimales (CMM) derivadas de tejido adiposo o médula ósea para tratar lesiones en pezuñas y articulaciones en vacas lecheras, reduciendo la cojera y mejorando la productividad (Salazar-Villegas, 2024).

- Bioimpresión 3D de tejido cartilaginoso a partir de CMM bovinas para reparar defectos articulares en ganado (Szychlińska *et al.*, 2022).

b) Clonación y mejora genética

- Clonación de animales élite: con técnicas de transferencia nuclear de células somáticas (SCNT) para replicar bovinos con alta productividad lechera o resistencia a enfermedades. Modificación de células madre bovinas para introducir genes de resistencia a enfermedades como la tuberculosis bovina o la fiebre aftosa (Tristan *et al.*, 2023).

c) Producción de carne cultivada

- Desarrollo de células madre pluripotentes inducidas (iPSCs) bovinas para producir carne cultivada en laboratorio, reduciendo la dependencia de la ganadería tradicional y las emisiones de metano (Olenic *et al.*, 2024; Soleymani *et al.*, 2024).

d) Modelos de enfermedades

- Creación de organoides bovinos (mini-órganos in vitro) a partir de células madre para estudiar patologías infecciosas como la mastitis, acelerando el desarrollo de tratamientos (Gabriel *et al.*, 2024).

Avances en terapias para humanos

a) Ingeniería de tejidos y órganos

- Bioimpresión 3D de órganos: Uso de células madre humanas y andamios biocompatibles para crear tejidos funcionales, como piel o córneas, con potencial para trasplantes. Organoides cerebrales: Modelos derivados de células madre pluripotentes para estudiar enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer (Edri *et al.*, 2024).

b) Terapias contra el cáncer: Modificación genética de células madre hematopoyéticas para atacar células cancerosas, con éxito en leucemias y linfomas (Everette *et al.*, 2023; Salazar, 2023).

- Células madre NK (Natural Killer): Potenciadas para combatir tumores sólidos, como los de mama o pulmón (Coënon *et al.*, 2024) .

c) Medicina personalizada: Reprogramación de células de pacientes para generar modelos personalizados de enfermedades como la distrofia muscular o la fibrosis quística, probando fármacos in vitro (Tello Vera, 2022).

- Terapias cardiovasculares: Inyección de CMM en corazones dañados para regenerar miocardio tras infartos, con ensayos clínicos en fase III (Kumar *et al.*, 2024; Terzic y Perez-Terzic, 2010) .

d) Superación de barreras Inmunológicas:

- Células "universales": Edición de células madre humanas (mediante CRISPR) para eliminar moléculas HLA, reduciendo el rechazo en trasplantes (Zheng *et al.*, 2024).

Avances cruzados (bovino-humano)

- Uso de células madre bovinas para probar terapias regenerativas antes de aplicarlas en humanos, aprovechando similitudes anatómicas (ej.: estudios de reparación de cartílago) (Lee *et al.*, 2024) .
- Biotecnología farmacéutica: Producción de anticuerpos monoclonales y factores de crecimiento en cultivos de células madre bovinas, útiles para tratar enfermedades humanas como la artritis reumatoide (Gutiérrez-Chávez *et al.*, 2024) .
- Ética y sostenibilidad: - Investigación colaborativa para resolver dilemas éticos comunes, como el uso de embriones o la regulación de la carne cultivada (Cabezas, 2025; Quesada Leyva *et al.*, 2021; Quesada Leyva *et al.*, 2017; Salazar, 2023) .

Futuro y perspectivas

- Inteligencia artificial: Optimización de protocolos de diferenciación celular mediante algoritmos predictivos (Vo *et al.*, 2024).
- Terapias génico-celulares combinadas: Uso de células madre editadas genéticamente para tratar enfermedades multifactoriales (Deneault, 2024).

- Regulaciones globales: Armonización de normas para garantizar seguridad en aplicaciones tanto veterinarias como humanas (Han *et al.*, 2024; Talavera *et al.*, 2017).

Análisis crítico basado en la revisión bibliográfica realizada

1. Tendencias Actuales

- Enfoque en células madre pluripotentes inducidas (iPSCs):
 - Creciente interés en reprogramar células somáticas bovinas (ej.: fibroblastos) para generar iPSCs, evitando el uso de embriones y facilitando aplicaciones como la producción de carne cultivada o la preservación genética.
 - Uso de CRISPR/Cas9 para editar iPSCs y mejorar su diferenciación en tejidos específicos (músculo, cartílago).
- Integración de biotecnologías avanzadas:
 - Combinación de células madre con bioimpresión 3D para crear tejidos estructurados (ej.: cartílago bovino para reparar articulaciones en caballos o humanos).
 - Desarrollo de organoides bovinos como modelos para estudiar enfermedades infecciosas (ej.: mastitis) o probar fármacos.
- Traducción interspecies (One Health):
 - Aprovechamiento de similitudes biológicas entre bovinos y humanos para validar terapias regenerativas (ej.: reparación de cartílago en osteoartritis) antes de aplicarlas en medicina humana.
- Sostenibilidad y ética:
 - Investigación en carne cultivada para reducir el impacto ambiental de la ganadería.
 - Debate sobre regulaciones para el uso de embriones y bienestar animal en aplicaciones ganaderas.

CONCLUSIONES

La investigación sobre células madre de ganado vacuno ha demostrado ser un campo de estudio transformador, con implicaciones profundas tanto en medicina veterinaria como humana. A continuación, se sintetizan las conclusiones clave derivadas de esta revisión:

1. Potencial transformador en medicina:

Las células madre bovinas, especialmente las mesenquimales (CMM) y las pluripotentes inducidas (iPSCs), han revolucionado el tratamiento de enfermedades musculoesqueléticas (artritis, lesiones tendinosas), neurológicas (lesiones medulares) y metabólicas (diabetes) en

animales. En humanos, sirven como modelos preclínicos para terapias regenerativas, como la reparación de cartílago en osteoartritis o la bioimpresión 3D de tejidos.

2. Innovaciones tecnológicas:

La integración de herramientas como CRISPR/Cas9, bioimpresión 3D y organoides bovinos ha permitido avances sin precedentes, desde la edición génica para resistencia a enfermedades hasta la producción sostenible de carne cultivada, reduciendo el impacto ambiental de la ganadería tradicional.

3. Sinergias interspecies (One Health):

La similitud biológica entre bovinos y humanos facilita la traslación de hallazgos veterinarios a aplicaciones médicas humanas. Por ejemplo, los estudios en reparación de cartílago bovino han inspirado protocolos para tratar osteoartritis en pacientes humanos.

4. Desafíos críticos:

Persisten barreras técnicas, como la baja eficiencia en diferenciación celular y la falta de estandarización de protocolos. Además, los riesgos de tumorigenicidad y rechazo inmunológico exigen estudios de seguridad a largo plazo.

Los dilemas éticos, como el uso de embriones y la clonación, junto con los altos costos de las terapias, limitan su accesibilidad y aceptación global.

En resumen, las células madre bovinas representan un puente entre la salud animal y humana, con potencial para revolucionar la medicina regenerativa, la producción alimentaria y la conservación de biodiversidad. Sin embargo, su impacto máximo solo se logrará superando desafíos técnicos, éticos y económicos mediante una investigación rigurosa y políticas inclusivas. Este campo, en constante evolución, exige un compromiso global para garantizar que sus beneficios alcancen tanto a comunidades rurales como a sistemas de salud públicos.

REFERENCIAS

- Alomar, R., & Erbaş, O. (2024). Stem Cells and Ethics. *Journal of Experimental and Basic Medical Sciences*, 5(1), 164-169. https://jebms-org.translate.goog/full-text/173?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc
- Barfoot, J., Doherty, K., & Blackburn, C. C. (2017). EuroStemCell: A European infrastructure for communication and engagement with stem cell research. *Seminars in cell & developmental biology*,
- Barrera, J. B., González, J. L.-P., López, J. G.-F., & Cardoso, F. P. (2007). Células madre y cáncer: dilucidando el origen de la célula madre tumoral. *Revista de Medicina de la Universidad de Navarra*, 14-17. <https://revistas.unav.edu/index.php/revista-de-medicina/article/view/7679/6724>

- Cabezas, M. R. (2025). Modelos embrionarios con células madre: una reflexión ético-jurídica pendiente. *Medicina y Ética*, 36(1), 78-131. <https://revistas.anahuac.mx/index.php/bioetica/article/view/2742/2765>
- Cerneckis, J., Cai, H., & Shi, Y. (2024). Induced pluripotent stem cells (iPSCs): molecular mechanisms of induction and applications. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 9(1), 112. <https://www.nature.com/articles/s41392-024-01809-0.pdf>
- Chirveches, A. P. (2024). Contribuciones fundamentales sobre el rol del tejido adiposo en el humano. *Cuadernos Hospital de Clínicas*, 65(1), 67-76. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1652-67762024000100067
- Coënon, L., Geindreau, M., Ghiringhelli, F., Villalba, M., & Bruchard, M. (2024). Natural Killer cells at the frontline in the fight against cancer. *Cell Death & Disease*, 15(8), 614. https://www-nature-com.translate.goog/articles/s41419-024-06976-0?error=cookies_not_supported&code=a01d27a2-0772-4cd9-ab83-4a4db8ddfffc&x_tr_sl=en&x_tr_tl=es&x_tr_hl=es&x_tr_pto=tc#auth-Mannon-Geindreau-Aff2-Aff3
- Deneault, E. (2024). Recent Therapeutic Gene Editing Applications to Genetic Disorders. *Current Issues in Molecular Biology*, 46(5), 4147-4185. https://www-mdpi-com.translate.goog/1467-3045/46/5/255?x_tr_sl=en&x_tr_tl=es&x_tr_hl=es&x_tr_pto=tc
- Edri, S., Newman Frisch, A., Safina, D., Machour, M., Zavín, J., Landsman, L., Pierreux, C. E., Spagnoli, F. M., & Levenberg, S. (2024). 3D Bioprinting of Multicellular Stem Cell-Derived Constructs to Model Pancreatic Cell Differentiation. *Advanced Functional Materials*, 2315488. https://advanced-onlinelibrary-wiley-com.translate.goog/doi/epdf/10.1002/adfm.202315488?x_tr_sl=en&x_tr_tl=es&x_tr_hl=es&x_tr_pto=tc
- Everette, K. A., Newby, G. A., Levine, R. M., Mayberry, K., Jang, Y., Mayuranathan, T., Nimmagadda, N., Dempsey, E., Li, Y., & Bhoopalan, S. V. (2023). Ex vivo prime editing of patient haematopoietic stem cells rescues sickle-cell disease phenotypes after engraftment in mice. *Nature biomedical engineering*, 7(5), 616-628. https://www-nature-com.translate.goog/articles/s41551-023-01026-0?error=cookies_not_supported&code=a9885ee8-b2ed-48fa-9ae3-785807a32f68&x_tr_sl=en&x_tr_tl=es&x_tr_hl=es&x_tr_pto=tc
- FAO. (2024). Producción Animal. <https://www.fao.org/animal-production/es/>
- Feijo, M. E. A. (2024). Avances en Terapia Celular para la Rehabilitación Neuromuscular Canina: Revisión de Ensayos Clínicos y Evidencia Científica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 10876-10889. <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/13229>

- Focsa, M. A., Florescu, S., & Gogulescu, A. (2024). Emerging Strategies in Cartilage Repair and Joint Preservation. *Medicina*, 61(1), 24. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11766557/pdf/medicina-61-00024.pdf>
- Fortier, L. A., & Travis, A. J. (2011). Stem cells in veterinary medicine. *Stem cell research & therapy*, 2, 1-6. <https://link.springer.com/article/10.1186/scrt50>
- Gabriel, V., Zdyski, C., Sahoo, D. K., Ralston, A., Wickham, H., Bourgois-Mochel, A., Ahmed, B., Merodio, M. M., Paukner, K., & Piñeyro, P. (2024). Adult animal stem cell-derived organoids in biomedical research and the one health paradigm. *International journal of molecular sciences*, 25(2), 701. <https://www-mdpi-com.translate.goog/1422-0067/25/2/701? x tr sl=en& x tr tl=es& x tr hl=es& x tr pto=tc>
- García Pedraza, E. (2024). Evaluación de la seguridad de la administración intraarticular única y repetida de células madre de cordón umbilical equino (EUC-MSC) en perros jóvenes y sanos. <https://docta.ucm.es/entities/publication/247915c9-f8d3-4545-ada2-9b2df5e3a53a>
- Ghoneim, M. A., Gabr, M. M., El-Halawani, S. M., & Refaie, A. F. (2024). Current status of stem cell therapy for type 1 diabetes: a critique and a prospective consideration. *Stem cell research & therapy*, 15(1), 23. <https://stemcellres.biomedcentral.com/counter/pdf/10.1186/s13287-024-03636-0.pdf>
- Goszczynski, D., Navarro, M., & Mutto, A. (2023). Review: embryonic stem cells as tools for in vitro gamete production in livestock. *Animal* 17 (Suppl 1): 100828. <https://www-sciencedirect-com.translate.goog/science/article/pii/S1751731123001246? x tr sl=en& x tr tl=es& x tr hl=es& x tr pto=tc>
- Gupta, D. R., & Singh, S. (2024). Stem cells: Current applications and future prospects. *Indian Journal of Medical Sciences*, 1-5. <https://ijmsweb.com/content/101/2024/76/1/pdf/IJMS-76-002.pdf>
- Gutiérrez-Chávez, D., Gómez-Valencia, M. F., Reyes-Pérez, I. V., Arellano-García, M. E., & Torres-Bugarín, O. (2024). Anticuerpos monoclonales para el tratamiento de cáncer: Breve revisión panorámica. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*(92). <https://revistas.uaa.mx/index.php/investycien/article/view/4653>
- Han, H., Chen, B.-T., Liu, Y., Wang, Y., Xing, L., Wang, H., Zhou, T.-J., & Jiang, H.-L. (2024). Engineered stem cell-based strategy: A new paradigm of next-generation stem cell product in regenerative medicine. *Journal of Controlled Release*, 365, 981-1003. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168365923008088>
- Hong, I.-S. (2022). Enhancing stem cell-based therapeutic potential by combining various bioengineering technologies. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 10, 901661. <https://www.frontiersin.org/journals/cell-and-developmental-biology/articles/10.3389/fcell.2022.901661/full>

- Jaya Baquero, E. K. (2024). *Comparación del efecto terapéutico de células madres de líquido amniótico y plasma rico en plaquetas contra mastitis subclínica en ganado lechero*
- José Antonio, C. A., Milagros, C. Q., Niurka, P. C., & Yelec, E. G. (2024). Terapia celular regenerativa. Retos y perspectivas en la cirrosis hepática. *Capítulo de Gastroenterología de la Provincia de Ciego de Ávila (Gastroávila 2024)*. <https://gastroavila2021.sld.cu/index.php/gastroavila2024/2024/paper/viewFile/195/112>
- Kaptan, B., & Erbaş, O. (2024). Stem Cells in Surgery. *Journal of Experimental and Basic Medical Sciences*, 5(1), 125-128. https://jebms-org.translate.goog/full-text/167?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc
- Kumar, D., Talluri, T. R., Selokar, N. L., Hyder, I., & Kues, W. A. (2021). Perspectives of pluripotent stem cells in livestock. *World Journal of Stem Cells*, 13(1), 1. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7859985/pdf/WJSC-13-1.pdf>
- Kumar, R., Mishra, N., Tran, T., Kumar, M., Vijayaraghavalu, S., & Gurusamy, N. (2024). Emerging Strategies in Mesenchymal Stem Cell-Based Cardiovascular Therapeutics. *Cells*, 13(10), 855. https://www-mdpi-com.translate.goog/2073-4409/13/10/855?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc
- Lee, H. J., Hossain, R., Baek, C.-H., Lee, C. J., & Hwang, S.-C. (2024). Intra-articular injection of stem cells for the regeneration of knee joint cartilage: a therapeutic option for knee osteoarthritis—a narrative review. *Biomolecules & Therapeutics*, 33(1), 86. https://www-biomolther-org.translate.goog/journal/view.html?uid=1583&vmd=Full&&_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc
- Molnar, V., Pavelić, E., Vrdoljak, K., Čemerin, M., Klarić, E., Matišić, V., Bjelica, R., Brlek, P., Kovačić, I., & Tremolada, C. (2022). Mesenchymal stem cell mechanisms of action and clinical effects in osteoarthritis: a narrative review. *Genes*, 13(6), 949. https://www-mdpi-com.translate.goog/2073-4425/13/6/949?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc
- Muniz, T. D. P. T. P., Rossi, M. C., de Vasconcelos Machado, V. M., & Alves, A. L. G. (2024). Mesenchymal stem cells and tissue bioengineering applications in sheep as ideal model. *Stem Cells International*, 2024(1), 5176251. https://onlinelibrary-wiley-com.translate.goog/doi/10.1155/2024/5176251?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc
- Olenic, M., Deelkens, C., Heyman, E., De Vlieghere, E., Zheng, X., van Hengel, J., De Schauwer, C., Devriendt, B., De Smet, S., & Thorrez, L. (2024). Livestock cell types with myogenic differentiation potential: considerations for the development of cultured meat. *animal*, 101242. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101242>

- Özaydın, T., Tunç, K. C., & Erbaş, O. (2024). Revolutionizing Health Technologies: The Transformative Power of Stem Cells. *Journal of Experimental and Basic Medical Sciences*, 5(1), 39-43. <https://jebms-org.translate.goog/full-text/158? x tr sl=en& x tr tl=es& x tr hl=es& x tr pto=tc>
- Park, S., Rahaman, K. A., Kim, Y.-C., Jeon, H., & Han, H.-S. (2024). Fostering tissue engineering and regenerative medicine to treat musculoskeletal disorders in bone and muscle. *Bioactive Materials*, 40, 345-365. <https://www.sciencedirect-com.translate.goog/science/article/pii/S2452199X24002457? x tr sl=en& x tr tl=es& x tr hl=es& x tr pto=tc>
- Quesada Leyva, L., Gracia Barrios, C., & Fuentes Diaz, Z. (2021). Ética en el ámbito de la investigación en medicina regenerativa. *Revista Cubana de Hematología, Inmunología y Hemoterapia*, 37(4). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-02892021000400007
- Quesada Leyva, L., León Ramentol, C. C., Fernández Torres, S., & Nicolau Pestana, E. (2017). Células madre: una revolución en la medicina regenerativa. *MediSan*, 21(5), 574-581. <http://scielo.sld.cu/pdf/san/v21n5/san09215.pdf>
- Rahimi Darehbagh, R., Seyedoshohadaei, S. A., Ramezani, R., & Rezaei, N. (2024). Stem cell therapies for neurological disorders: current progress, challenges, and future perspectives. *European Journal of Medical Research*, 29(1), 386. <https://eurjmedres-biomedcentral-com.translate.goog/articles/10.1186/s40001-024-01987-1? x tr sl=en& x tr tl=es& x tr hl=es& x tr pto=tc>
- Ruiz, E., Gil, A., & Allonca, A. (2024). Células Madre y La Terapia Regenerativa: De La Investigación a La Práctica. *Portal de Revista| Visión 360*, 3(3), 21-24. <http://portalrevista360escueladeenfermeria.com/index.php/vision360/article/view/55/53>
- Salari, V., Mengoni, F., Del Gallo, F., Bertini, G., & Fabene, P. F. (2020). The anti-inflammatory properties of mesenchymal stem cells in epilepsy: Possible treatments and future perspectives. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(24), 9683. <https://www-mdpi-com.translate.goog/1422-0067/21/24/9683? x tr sl=en& x tr tl=es& x tr hl=es& x tr pto=tc>
- Salazar-Villegas, B. (2024). Avances de la medicina regenerativa, revisión de las investigaciones recientes en células madre. *Horizon Nexus Journal*, 2(1), 46-61. <https://horizonnexusjournal.editorialdoso.com/index.php/home/article/view/33/147>
- Salazar, M. M. (2023). Las Células Madre Mesenquimales Endometriales modificadas genéticamente como Terapia Celular para la Endometriosis. *Revista Iberoamericana de Fertilidad y Reproducción Humana*, 40(1 Enero-Febrero-Marzo-Abril). <https://revistafertilidad.com/index.php/rif/article/view/81>

- Sánchez-Leal, A., Noriega-Rodríguez, D., Montalvo-Benítez, O., Ramírez-Gómez, M., Angulo-Lugo, A., & Varona-Martin, J. D. (2024). Evaluación del tratamiento de quemaduras dérmicas profundas con células madre mesenquimales. *Revista de Ciencias Médicas de Pinar del Río*, 28(4), e6501. <http://scielo.sld.cu/pdf/rpr/v28n4/1561-3194-rpr-28-04-e6501.pdf>
- Soleymani, S., Naghib, S. M., & Mozafari, M. (2024). An overview of cultured meat and stem cell bioprinting: How to make it, challenges and prospects, environmental effects, society's culture and the influence of religions. *Journal of Agriculture and Food Research*, 101307. <https://www.sciencedirect.com.translate.goog/science/article/pii/S2666154324003442? x tr sl=en& x tr tl=es& x tr hl=es& x tr pt=tc>
- Solís, M. C., Rodríguez, R. E., Quirós, S. R., Vargas, M. A. V., Cubillo, M. Z., & Román, J. J. M. (2018). Células madre de sangre de cordón umbilical: obtención, aplicaciones y situación en Costa Rica. *Revista Médica de la Universidad de Costa Rica*, 12(1). <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/medica/article/view/34612>
- Szychlińska, M. A., Bucchieri, F., Fucarino, A., Ronca, A., & D' Amora, U. (2022). Three-dimensional bioprinting for cartilage tissue engineering: insights into naturally-derived bioinks from land and marine sources. *Journal of Functional Biomaterials*, 13(3), 118. <https://www.mdpi-com.translate.goog/2079-4983/13/3/118? x tr sl=en& x tr tl=es& x tr hl=es& x tr pt=tc>
- Takematsu, E., Massidda, M., Auster, J., Chen, P.-C., Im, B., Srinath, S., Canga, S., Singh, A., Majid, M., & Sherman, M. (2022). Transmembrane stem cell factor protein therapeutics enhance revascularization in ischemia without mast cell activation. *Nature communications*, 13(1), 2497.
- Talavera, J., Gil-Chinchilla, J., García, D., Castellanos, G., López-Lucas, M., Atucha, N., & Moraleda, J. (2017). Terapia con células madre en medicina veterinaria: conceptos generales y evidencias clínicas. *Clínica veterinaria de pequeños animales: revista oficial de AVEPA, Asociación Veterinaria Española de Especialistas en Pequeños Animales*, 37(2), 87-101. <https://www.clinvetpeqanim.com/img/pdf/1329600056.pdf>
- Tello Vera, S. (2022). Tratamiento de fibrosis pulmonar idiopática con células madre adultas autólogas de médula ósea. *Revista Cubana de Hematología, Inmunología y Hemoterapia*, 38(3). <http://scielo.sld.cu/pdf/hih/v38n3/1561-2996-hih-38-03-e1651.pdf>
- Terzic, A., & Perez-Terzic, C. (2010). Terapia celular para la insuficiencia cardíaca. *Revista española de cardiología*, 63(10), 1117-1119. <https://www.revespcardiolog.es-terapia-celular-insuficiencia-cardiaca-articulo-13155716>
- Toco, I., Pérez, P., Velásquez, R., Velarde, J., Mamani, R., Carrasco, M., & Amaru, R. (2024). TRATAMIENTO EXITOSO DE LESIÓN DE MÉDULA ESPINAL CON CÉLULAS MADRES MESENQUIMALES DE MÉDULA ÓSEA. *Revista Médica La Paz*, 30(2),

- 52-58. <https://institutobiologiacelular.org/wp-content/uploads/2024/09/Tratamiento-exitoso-de-lesion-de-medula-espinal-con-celulas-madres-mesenquimales-de-medula-osea.-Agosto-2024.pdf>
- Tornero-Tornero, J., & Fernández Rodríguez, L. (2021). Plasma rico en plaquetas y células madre mesenquimales intrarticulares en artrosis. *Revista de la Sociedad Española del Dolor*, 28, 80-84. <https://scielo.isciii.es/pdf/dolor/v28s1/1134-8046-dolor-28-s1-0080.pdf>
- Tristan, C. A., Hong, H., Jethmalani, Y., Chen, Y., Weber, C., Chu, P.-H., Ryu, S., Jovanovic, V. M., Hur, I., & Voss, T. C. (2023). Efficient and safe single-cell cloning of human pluripotent stem cells using the CEPT cocktail. *Nature protocols*, 18(1), 58-80. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11009857/pdf/nihms-1962556.pdf>
- Vizoso, F., Costa, L., & Eiro, N. (2023a). New era of mesenchymal stem cell-based medicine: Basis, challenges and prospects. *Revista Clínica Española (English Edition)*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0014256523001881>
- Vizoso, F., Costa, L., & Eiro, N. (2023b). Nueva era de la medicina basada en las células madre mesenquimales: bases, retos y perspectivas. *Revista Clínica Española*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014256523001881?via%3Dihub>
- Vo, Q. D., Saito, Y., Ida, T., Nakamura, K., & Yuasa, S. (2024). The use of artificial intelligence in induced pluripotent stem cell-based technology over 10-year period: A systematic scoping review. *Plos one*, 19(5), e0302537. https://journals-plos-org.translate.goog/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0302537& x tr sl=en& x tr tl=es& x tr hl=es& x tr_pto=tc
- Yang, G., Fan, X., Liu, Y., Jie, P., Mazhar, M., Liu, Y., Dechsupa, N., & Wang, L. (2023). Immunomodulatory mechanisms and therapeutic potential of mesenchymal stem cells. *Stem Cell Reviews and Reports*, 19(5), 1214-1231. https://www.sciencedirect-com.translate.goog/science/article/pii/S2090123224002510? x tr sl=en& x tr tl=es& x tr hl=es& x tr_pto=tc
- Zhao, L., Gao, X., Zheng, Y., Wang, Z., Zhao, G., Ren, J., Zhang, J., Wu, J., Wu, B., & Chen, Y. (2021). Establishment of bovine expanded potential stem cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(15), e2018505118. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8053967/pdf/pnas.202018505.pdf>
- Zheng, Y., Li, Y., Zhou, K., Li, T., VanDusen, N. J., & Hua, Y. (2024). Precise genome-editing in human diseases: mechanisms, strategies and applications. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 9(1), 47. https://www.nature.com/articles/s41392-024-01750-2.pdf?error=cookies_not_supported&code=c1a45cf0-4c86-4b0e-9969-bbe22179496b
- Zumwalt, M., & Reddy, A. P. (2020). Stem cells for treatment of musculoskeletal conditions-orthopaedic/sports medicine applications. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease*, 1866(4), 165624. <https://www.sciencedirect->

[com.translate.googleusercontent.com/science/article/pii/S0925443919303527? x tr sl=en& x tr tl=es& x tr hl=es& x tr pto=tc](https://com.translate.googleusercontent.com/science/article/pii/S0925443919303527?x_tr_sl=en&x_tr_tl=es&x_tr_hl=es&x_tr_pto=tc)

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Concepción y diseño de la investigación: LQL, JABB; análisis e interpretación de los datos: JABB; redacción del artículo: JABB, LQL, ZARH.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflicto de intereses.