



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), noviembre-diciembre 2024,
Volumen 8, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6

NANOTECNOLOGÍA APLICADA A LA SALUD ANIMAL: AVANCES, POTENCIAL Y RETOS

**NANOTECHNOLOGY APPLIED TO ANIMAL HEALTH:
ADVANCES, POTENTIAL, AND CHALLENGES**

Leidy Iden Andino Rueda

Universidad UTE, Ecuador

Cesar Ariel Chucuyan González

Universidad UTE, Ecuador

Odalys Sthefany Frías Realpe

Universidad UTE, Ecuador

Angeles Fabiana Gómez Cotto

Universidad UTE, Ecuador

Jaslady Jamileth Sánchez Hidalgo

Universidad UTE, Ecuador

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15988

Nanotecnología Aplicada a la Salud Animal: Avances, Potencial y Retos

Leidy Iden Andino Rueda¹leidy.andino@ute.edu.ec<https://orcid.org/0009-0002-7803-7578>Universidad UTE – Sede Santo Domingo
Ecuador**Odalys Sthefany Frías Realpe**odalys.frias@ute.edu.ec<https://orcid.org/0009-0001-0727-9951>Universidad UTE
Ecuador**Angeles Fabiana Gómez Cotto**angeles.gomez@ute.edu.ec<https://orcid.org/0009-0001-8072-496X>Universidad UTE
Ecuador**Cesar Ariel Chucuyan González**cesar.chucuyan@ute.edu.ec<https://orcid.org/0009-0002-9289-3629>Universidad UTE
Ecuador**Jaslady Jamileth Sánchez Hidalgo**jaslady.sanchez@ute.edu.ec<https://orcid.org/0009-0009-9549-2426>Universidad UTE
Ecuador

RESUMEN

La nanotecnología ha emergido como una herramienta clave en el ámbito de la salud animal, ofreciendo soluciones innovadoras para el diagnóstico, tratamiento y prevención de enfermedades en animales. El objetivo principal de este artículo es analizar los avances recientes en nanotecnología aplicada a la medicina veterinaria, destacando su potencial en la administración de fármacos, diagnóstico temprano y mejora del bienestar animal. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva de la literatura científica de los últimos 15 años, evaluando estudios relacionados con las aplicaciones de nanomateriales en especies animales. Los resultados esperados incluyen una identificación clara de las aplicaciones más prometedoras y las áreas donde la nanotecnología ha demostrado mayor efectividad. Como conclusión, se prevé que la nanotecnología revolucionará la medicina veterinaria, aunque se deben superar retos relacionados con la seguridad y la regulación de los nanomateriales. Además, se plantean futuras líneas de investigación para optimizar su implementación práctica.

Palabras clave: nanotecnología, salud animal, nanomateriales, medicina veterinaria

¹ Autor principal.

Correspondencia: leidy.andino@ute.edu.ec

Nanotechnology Applied to Animal Health: Advances, Potential, and Challenges

ABSTRACT

Nanotechnology has emerged as a key tool in animal health, offering innovative solutions for the diagnosis, treatment, and prevention of diseases in animals. The main objective of this article is to analyze recent advances in nanotechnology applied to veterinary medicine, highlighting its potential in drug delivery, early diagnosis, and animal welfare improvement. To achieve this, an exhaustive bibliographic review of the scientific literature from the last 15 years was carried out, evaluating studies related to the application of nanomaterials in animal species. The expected outcomes include a clear identification of the most promising applications and the areas where nanotechnology has demonstrated the greatest effectiveness. In conclusion, nanotechnology is expected to revolutionize veterinary medicine, although challenges related to the safety and regulation of nanomaterials must be addressed. Furthermore, future research directions are suggested to optimize its practical implementation.

Keywords: nanotechnology, animal health, nanomaterials, veterinary medicine

Artículo recibido 15 noviembre 2024

Aceptado para publicación: 20 diciembre 2024



INTRODUCCIÓN

La nanotecnología, una rama de la ciencia que trabaja a nivel nanométrico, ha comenzado a transformar significativamente diversos campos de la medicina, incluida la veterinaria. En los últimos años, su aplicación en la salud animal ha abierto nuevas fronteras para la prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades, mejorando la eficiencia terapéutica y reduciendo efectos adversos. Al manipular la materia a escala atómica y molecular, la nanotecnología permite desarrollar sistemas de administración de fármacos más inteligentes y precisos, así como herramientas diagnósticas altamente sensibles que pueden detectar enfermedades en etapas tempranas (Rizzo et al., 2013; Ghosh et al., 2024).

Uno de los campos más prometedores es el uso de nanopartículas en sistemas de administración de fármacos en animales. Estos sistemas no solo aumentan la biodisponibilidad de los medicamentos, sino que también permiten su liberación controlada y dirigida hacia tejidos específicos, lo que minimiza la dosis requerida y los efectos secundarios. Por ejemplo, las nanopartículas que transportan antibióticos han demostrado ser más eficaces y menos tóxicas que los fármacos convencionales, abordando, además, uno de los mayores desafíos en medicina veterinaria: la resistencia a los antibióticos (Lira-Saldívar & Méndez-Arguello, 2018).

Además, las aplicaciones nanotecnológicas también se extienden al diagnóstico y la prevención de enfermedades. Tecnologías como los biochips y los nanosensores permiten una detección más rápida y precisa de patógenos y enfermedades infecciosas en animales, lo que facilita la identificación temprana de brotes y mejora la seguridad alimentaria (Rizzo et al., 2013). Estas herramientas permiten analizar muestras biológicas a nivel molecular, identificando rastros mínimos de patógenos o contaminantes en el ganado, lo cual es crucial para evitar la propagación de enfermedades zoonóticas (Carroza & Brieva, 2020).

A pesar de los avances, aún existen varios desafíos por superar. La seguridad de los nanomateriales es un tema de preocupación, ya que su comportamiento en los organismos vivos y en el medio ambiente aún no está completamente comprendido. Las regulaciones para su uso en medicina veterinaria son limitadas, y es necesario desarrollar normativas más claras que aseguren su seguridad y eficacia antes de su implementación a gran escala (Riley & Vermerris, 2017).



Nanotecnología en la salud animal

La nanotecnología es un campo emergente que ha revolucionado diversas áreas científicas, desde la medicina humana hasta la biotecnología (Manuja et al., 2012). En el contexto veterinario, esta tecnología ofrece soluciones innovadoras para mejorar el diagnóstico, tratamiento y prevención de enfermedades en animales (Cervera-Villaseñor et al., 2023).

La nanotecnología permite el diseño de materiales a escala nanométrica (menos de 100 nanómetros), lo que proporciona características únicas como mayor superficie específica, capacidad para transportar moléculas bioactivas y comportamientos físico-químicos mejorados (Coppo, 2009). Estas propiedades han permitido el desarrollo de aplicaciones que van desde la liberación controlada de medicamentos hasta la mejora en los sistemas diagnósticos y preventivos en medicina veterinaria (Robles & de Gortari, 2021).

Nanopartículas y administración de fármacos en medicina veterinaria

Uno de los avances más prometedores en el campo de la nanotecnología aplicada a la salud animal es el uso de nanopartículas para la administración de fármacos (Carvahlo et al., 2020). Las nanopartículas, debido a su pequeño tamaño y propiedades fisicoquímicas, pueden mejorar la biodisponibilidad de los medicamentos, aumentando la eficiencia terapéutica y reduciendo los efectos secundarios. Las nanopartículas pueden diseñarse para liberar medicamentos de manera controlada y dirigida, lo que resulta en una mejor absorción en el sitio específico de acción (Ghosh et al., 2024). Un ejemplo de su aplicación es el uso de nanopartículas de quitosano en tratamientos antimicrobianos, que han demostrado aumentar la efectividad en el tratamiento de infecciones bacterianas en animales de producción, reduciendo la dosis necesaria y minimizando la resistencia a los antibióticos (Alghuthaymi et al., 2021).

Asimismo, las nanopartículas lipídicas se han utilizado en el desarrollo de vacunas veterinarias de nueva generación. Estas partículas permiten que los antígenos sean presentados de manera más eficiente al sistema inmunológico del animal, mejorando la respuesta inmunitaria sin los efectos adversos asociados con las vacunas tradicionales (Buldain et al., 2024; Martínez & Mera, 2024). Este enfoque ha mostrado ser particularmente efectivo en la prevención de enfermedades virales como la fiebre aftosa en bovinos y el virus de la peste porcina africana.



Nanotecnología para el diagnóstico de enfermedades

Para Rizzo et al. (2013), el diagnóstico temprano de enfermedades es crucial en la medicina veterinaria, especialmente en animales de producción donde las infecciones pueden propagarse rápidamente, causando pérdidas económicas significativas. La nanotecnología ha permitido el desarrollo de sistemas de diagnóstico más precisos y rápidos (Shanker et al., 2020). Uno de los enfoques más innovadores es el uso de biosensores basados en nanopartículas para la detección de patógenos y biomarcadores específicos de enfermedades en animales (Younis et al., 2022).

Por ejemplo, los biosensores basados en oro y plata han demostrado ser altamente efectivos para la detección de bacterias y virus en tiempo real, sin necesidad de técnicas invasivas o costosas. Estos biosensores pueden integrarse en plataformas portátiles, lo que facilita su uso en campo y reduce el tiempo necesario para obtener un diagnóstico (Shanker et al., 2020; Robles & de Gortari, 2021). Además, la nanotecnología también ha permitido la creación de nanochips para la secuenciación rápida de ADN y ARN en animales, lo que permite la identificación rápida de mutaciones genéticas responsables de enfermedades hereditarias (Riley & Vermerris, 2017).

Impacto en la producción animal y seguridad alimentaria

La nanotecnología no solo mejora la salud animal individual, sino que también tiene un impacto significativo en la producción animal y la seguridad alimentaria (Castro-Silva & WingChing-Jones, 2023). El uso de nanopartículas en alimentos para animales ha demostrado mejorar la eficiencia en la absorción de nutrientes, lo que resulta en un mayor crecimiento y producción en animales de granja (Noormans, 2009). Por ejemplo, los nanonutrientes se utilizan para mejorar la biodisponibilidad de vitaminas y minerales esenciales, lo que promueve el bienestar animal y la calidad de los productos derivados, como la carne y la leche (Lira-Saldívar & Méndez-Arguello, 2018).

Además, la nanotecnología también se ha utilizado para desarrollar recubrimientos antimicrobianos basados en nanomateriales, que se aplican en las superficies de las granjas y mataderos para reducir la proliferación de patógenos (Buldain et al., 2024). Estos recubrimientos, hechos con nanopartículas de óxido de zinc y plata, son efectivos para prevenir la contaminación cruzada y mejorar la seguridad de los productos alimenticios que llegan al consumidor (Meena et al., 2018).



Retos y consideraciones éticas

A pesar de los beneficios potenciales de la nanotecnología en la salud animal, existen varios retos y consideraciones éticas que deben abordarse antes de su implementación generalizada. Uno de los principales desafíos es la falta de regulación clara sobre el uso de nanomateriales en animales. Si bien se han realizado estudios sobre su efectividad y seguridad, se necesitan investigaciones a largo plazo para evaluar los posibles efectos secundarios y riesgos ambientales asociados con la liberación de nanopartículas en los ecosistemas (Leyton, 2010; Páez, 2022).

Asimismo, existe una preocupación creciente por el impacto de los residuos de nanomateriales en la cadena alimentaria humana. La acumulación de nanopartículas en los tejidos animales podría representar un riesgo para la salud humana si no se gestionan adecuadamente los residuos de la nanotecnología aplicada en el sector alimentario (Leyton, 2010; Danchuk et al., 2023). Esto subraya la necesidad de una regulación estricta y monitoreo continuo para garantizar que los beneficios superen los posibles riesgos.

Futuro de la nanotecnología en la salud animal

A medida que la investigación avanza, es probable que la nanotecnología continúe transformando la medicina veterinaria y la producción animal (Alghuthaymi et al., 2021). Se espera que las futuras aplicaciones incluyan sistemas de liberación de fármacos aún más avanzados, con capacidades de respuesta a estímulos específicos como el pH o la temperatura corporal, lo que permitiría un control preciso sobre cuándo y cómo se administran los tratamientos en los animales (Abbas et al., 2023). También se prevé el desarrollo de terapias génicas basadas en nanotecnología, que podrían ofrecer soluciones personalizadas para enfermedades genéticas en animales de compañía y de producción (Martínez & Mera, 2024).

En cuanto a los sistemas de diagnóstico, se espera que las herramientas basadas en nanotecnología se vuelvan más accesibles y estén disponibles para un uso más amplio en granjas y clínicas veterinarias. Esto facilitaría una monitorización continua de la salud animal, lo que permitiría intervenciones más tempranas y una mejor gestión de las enfermedades emergentes (Abbas et al., 2023; Robles & de Gortari, 2021).



METODOLOGÍA

Tipo de estudio y diseño

El presente trabajo se basa en una revisión bibliográfica de tipo descriptivo, que tiene como objetivo reunir y analizar información relevante sobre los avances y aplicaciones de la nanotecnología en la salud animal. Para lograrlo, se empleó un enfoque cualitativo, revisando estudios previos y artículos científicos publicados en bases de datos académicas especializadas. La revisión se centró en estudios que tratan el uso de nanomateriales para la prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades en animales, con especial atención a sus aplicaciones en medicina veterinaria.

Se utilizaron bases de datos científicas como *PubMed*, *ScienceDirect*, *Google Scholar* y *Scopus* para localizar artículos relevantes. La búsqueda incluyó términos como “nanotecnología en salud animal”, “nanopartículas en veterinaria”, “administración de fármacos en animales mediante nanotecnología” y “diagnóstico de enfermedades en animales con nanotecnología”. Además, se incluyeron revisiones sistemáticas, estudios experimentales y meta-análisis que describen el uso de nanotecnología en animales.

El análisis cualitativo de los datos obtenidos, permitió comparar los resultados entre diferentes estudios para identificar patrones, divergencias y áreas que requieren mayor investigación. Sin embargo, la investigación presentó limitaciones por la falta de estudios experimentales a largo plazo que evalúen la seguridad del uso de nanomateriales en animales. Además, la mayoría de las investigaciones se centraron en modelos de laboratorio, lo que limita la generalización de los resultados a la práctica veterinaria cotidiana.

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En el ámbito de la medicina veterinaria, los nanomateriales antimicrobianos representan una herramienta innovadora con un impacto significativo en el tratamiento y prevención de enfermedades infecciosas. Su capacidad para interactuar a nivel molecular con microorganismos patógenos les otorga propiedades únicas que superan a los métodos tradicionales en términos de eficacia y precisión. A continuación, se presenta una tabla que sintetiza los principales nanomateriales antimicrobianos utilizados en veterinaria:



Tabla 1 Nanomateriales más utilizados en veterinaria

Nanomaterial	Aplicaciones
Nanopartículas de plata	Tratamiento de infecciones bacterianas en heridas y superficies contaminadas.
Nanopartículas de óxido de zinc	Uso en recubrimientos antimicrobianos para instalaciones ganaderas y alimentos.
Nanopartículas de quitosano	Administración de antimicrobianos en animales de producción.
Nanopartículas lipídicas	Desarrollo de vacunas veterinarias y terapias dirigidas.
Nanocompuestos de óxido de hierro	Diagnóstico y tratamiento dirigido de infecciones específicas mediante sistemas magneto-sensibles.
Nanotubos de carbono	Transporte de medicamentos para infecciones bacterianas en animales de producción.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados presentados en la Tabla 1 destacan los principales nanomateriales más utilizados en medicina veterinaria, junto con sus aplicaciones clave. Esto demuestra que los nanomateriales se destacan por sus aplicaciones en diversas áreas de la medicina veterinaria, proporcionando soluciones innovadoras para la prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades en animales.

Tabla 2 Ventajas de los Nanomateriales

Nanomaterial	Ventajas
Nanopartículas de plata	Alta actividad antimicrobiana, incluso contra bacterias resistentes; fácil integración en recubrimientos.
Nanopartículas de óxido de zinc	Reducción de patógenos en superficies y alimentos; bajo costo relativo.
Nanopartículas de quitosano	Biocompatibilidad, biodegradabilidad, y reducción de la resistencia antimicrobiana.
Nanopartículas lipídicas	Mejoran la eficacia de las vacunas al presentar antígenos de manera eficiente al sistema inmune.
Nanocompuestos de óxido de hierro	Permiten terapias localizadas y menor daño a tejidos sanos.
Nanotubos de carbono	Alta capacidad de carga y estabilidad química; mejora en la biodisponibilidad de fármacos.

Fuente: Elaboración propia



Los resultados de la Tabla 2 resaltan las ventajas clave de los nanomateriales en medicina veterinaria. En general, estos materiales ofrecen soluciones innovadoras para mejorar el tratamiento y diagnóstico de enfermedades animales. Las nanopartículas de plata son efectivas contra infecciones resistentes, mientras que las nanopartículas de óxido de zinc destacan por su capacidad para reducir patógenos a bajo costo. Las nanopartículas de quitosano combinan biocompatibilidad y biodegradabilidad, lo que las hace seguras y eficaces para combatir la resistencia antimicrobiana. Además, las nanopartículas lipídicas mejoran la respuesta inmune en vacunación, y los nanocompuestos de óxido de hierro permiten terapias más precisas, minimizando daños a tejidos sanos. Por último, los nanotubos de carbono optimizan la biodisponibilidad de los medicamentos, mejorando su efectividad. Estos beneficios demuestran el potencial transformador de los nanomateriales en la medicina veterinaria.

Tabla 3 Limitaciones de los Nanomateriales

Nanomaterial	Limitaciones
Nanopartículas de plata	-Toxicidad potencial en altas concentraciones. -Peligro de acumulación en organismos vivos.
Nanopartículas de óxido de zinc	-Toxicidad a dosis altas, especialmente en su forma nano.
Nanopartículas de quitosano	-Costos de producción relativamente altos. - Requiere optimización para maximizar la liberación controlada de fármacos.
Nanopartículas lipídicas	-Costos elevados de producción. -Estabilidad limitada dependiendo de la formulación.
Nanocompuesto de óxido de hierro	-Riesgo de liberación no controlada en el medio ambiente. -Pueden generar reacciones inflamatorias si no se manejan adecuadamente.
Nanotubos de carbono	-Toxicidad potencial debido a su forma y tamaño. -Dificultad en la producción a gran escala.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 3 exhibe que estos avances no están exentos de limitaciones. Una de las principales preocupaciones radica en la toxicidad potencial de algunos nanomateriales, especialmente su acumulación en tejidos animales, lo que podría tener implicaciones negativas para la salud humana a través de la cadena alimentaria. Además, los costos de producción de nanomateriales son elevados, lo que dificulta su adopción en países con recursos económicos limitados. A esto se suma la falta de



regulación específica que garantice el uso seguro de la nanotecnología en la salud animal, un desafío que impide su implementación generalizada (Danchuk et al., 2023).

Estos hallazgos evidencian que los nanomateriales se destacan por sus aplicaciones en diversas áreas de la medicina veterinaria, proporcionando soluciones innovadoras para la prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades en animales. Además, cada uno de estos materiales presenta ventajas específicas, como mayor eficiencia terapéutica, reducción de efectos secundarios y mejor control de infecciones. Sin embargo, sus aplicaciones prácticas deben ser gestionadas cuidadosamente para abordar las limitaciones en términos de seguridad, costos y regulaciones.

DISCUSIÓN

La nanotecnología aplicada a la salud animal ha demostrado ser un área prometedora que está transformando diversos aspectos de la medicina veterinaria y la producción animal. Este campo ofrece avances significativos en áreas como la administración de medicamentos, el diagnóstico de enfermedades y la mejora de la seguridad alimentaria.

Al respecto, los autores Cervera-Villaseñor et al. (2023), consideran que el uso de nanopartículas permite una liberación más controlada y dirigida de medicamentos, lo que aumenta la eficacia terapéutica y reduce los efectos adversos, aspectos críticos en el tratamiento de enfermedades infecciosas y crónicas en animales. Por ejemplo, las nanopartículas permiten que los medicamentos lleguen directamente al tejido afectado, reduciendo la toxicidad y mejorando los resultados terapéuticos. En el ámbito de las infecciones bacterianas y virales, los nanomateriales antimicrobianos, como las nanopartículas de plata y óxido de zinc, han mostrado una capacidad destacada para combatir patógenos de manera más efectiva que los tratamientos tradicionales. (Ghosh et al., 2024).

Además, las herramientas diagnósticas basadas en nanotecnología, como los biosensores, ofrecen una detección temprana y precisa de enfermedades, como la detección de mastitis en vacas o enfermedades zoonóticas, mejorando significativamente la gestión sanitaria en animales de granja. Esto reduce los costos de tratamiento y mejora el bienestar animal (Cervera-Villaseñor et al., 2023).

Otro aporte notable es el uso de nanonutrientes para mejorar la absorción de minerales esenciales, lo que favorece el crecimiento de los animales y la calidad de los productos derivados. Asimismo, en la industria alimentaria, los recubrimientos antimicrobianos basados en nanomateriales han incrementado



la vida útil de productos cárnicos, contribuyendo a la seguridad alimentaria y reduciendo el desperdicio (Thulasi et al., 2013). La posibilidad de detectar y controlar patógenos en etapas tempranas, así como el desarrollo de nuevos enfoques para combatir la resistencia antimicrobiana, posicionan a esta tecnología como una herramienta clave para mejorar la salud animal y, a su vez, garantizar la calidad de los productos de origen animal (Carvahlo et al., 2020).

Pese a estos aspectos positivos, la discusión en torno a la nanotecnología aplicada a la salud animal permite profundizar en sus implicaciones éticas, científicas y prácticas. Si bien los resultados muestran un avance notable en áreas específicas, la interpretación de estos datos desde un marco crítico y comparativo con otros estudios revela que el potencial transformador de esta tecnología está acompañado de desafíos sustanciales.

Uno de los temas más debatidos es la necesidad de equilibrio entre innovación y regulación. Aunque la nanotecnología ha demostrado un impacto positivo en la administración de medicamentos y la detección temprana de enfermedades, su aplicación está limitada por la falta de normativas internacionales uniformes (Jafary et al., 2023). Por ejemplo, estudios recientes han señalado que la ausencia de protocolos claros para el manejo de nanomateriales podría llevar a riesgos de toxicidad acumulativa en animales y el medio ambiente (Medina-Pérez & Fernández-Luqueño, 2018; Adibhesami et al., 2017). Esto plantea un dilema ético: ¿cómo garantizar la seguridad mientras se fomenta la innovación? Comparado con la medicina humana, donde se ha avanzado significativamente en este aspecto, la salud animal sigue rezagada debido a la menor inversión en investigación normativa.

Otro punto crítico es la sostenibilidad de estas tecnologías en contextos rurales o en economías en desarrollo. Mientras que los biosensores basados en nanopartículas han demostrado ser herramientas efectivas para el diagnóstico temprano, su alto costo y la necesidad de personal capacitado limitan su adopción en áreas de menor acceso a recursos tecnológicos (El-Sayed & Kamel, 2020). Esta brecha tecnológica es un desafío que la comunidad científica debe abordar mediante el desarrollo de alternativas más accesibles, como tecnologías de código abierto o la adaptación de procesos de fabricación para reducir costos.

Comparativamente, en el ámbito de la producción alimentaria, los recubrimientos antimicrobianos basados en nanotecnología representan una solución innovadora para extender la vida útil de productos



cárnicos y lácteos. Sin embargo, los estudios han mostrado preocupaciones sobre los residuos de estos nanomateriales en la cadena alimenticia. Esto refleja un problema similar al encontrado en la industria agrícola con los pesticidas químicos: la innovación tecnológica debe ir acompañada de estudios exhaustivos sobre seguridad a largo plazo para evitar impactos adversos en la salud humana y ambiental (Lira-Saldívar & Méndez-Arguello, 2018; Erazo & Reverend, 2024; Navarro-Espinoza et al., 2021).

Desde una perspectiva ética, la nanotecnología abre debates sobre el bienestar animal. Aunque se ha promocionado como una herramienta para reducir el uso indiscriminado de antibióticos, su implementación podría ser percibida como un intento de intensificar aún más la producción animal sin abordar los problemas estructurales subyacentes, como el hacinamiento y las malas prácticas en la cría (Jafary et al., 2023; Hill & Li, 2017). Este enfoque contrasta con las tendencias actuales hacia una ganadería sostenible y éticamente responsable, evidenciando la necesidad de un cambio de paradigma en la integración de tecnologías emergentes.

Finalmente, cabe destacar que el desarrollo de la nanotecnología en la salud animal aún está en una etapa inicial en comparación con otros sectores. Para Hill & Li (2017), los estudios realizados hasta la fecha han arrojado resultados prometedores, la mayoría de ellos son limitados en cuanto a escalabilidad y aplicabilidad práctica. Por ejemplo, aunque las nanopartículas lipídicas han demostrado ser efectivas en modelos experimentales, su producción masiva enfrenta barreras técnicas y económicas (Ali et al., 2021; Senel, 2021). Esto subraya la importancia de fomentar colaboraciones interdisciplinarias y de inversión pública y privada para garantizar que estos avances no se queden en el ámbito experimental. Es decir, la nanotecnología en la salud animal tiene el potencial de transformar profundamente la forma en que se diagnostican, tratan y previenen las enfermedades en los animales. Sin embargo, para que este potencial se materialice plenamente, es crucial abordar de manera simultánea las limitaciones éticas, regulatorias y prácticas. Solo así será posible garantizar que estas tecnologías no solo sean innovadoras, sino también equitativas, sostenibles y éticamente responsables.

CONCLUSIONES

La nanotecnología ha demostrado mejorar significativamente la administración de medicamentos en animales mediante sistemas controlados y dirigidos, como las nanopartículas. Esto aumenta la eficacia



terapéutica, reduce los efectos secundarios y aborda problemas críticos como la resistencia a los antibióticos, marcando un avance frente a las terapias convencionales.

Los avances nanotecnológicos en herramientas diagnósticas, como biosensores y nanochips, han permitido detectar enfermedades de manera más rápida y precisa. Esto facilita intervenciones tempranas en animales de producción, reduciendo pérdidas económicas y mejorando la seguridad alimentaria.

Aunque la nanotecnología ofrece soluciones prometedoras, su implementación enfrenta desafíos importantes, como la falta de regulaciones específicas y los posibles riesgos asociados a la toxicidad de nanomateriales en animales y el medio ambiente. Estos aspectos requieren atención prioritaria para garantizar su aplicación segura y sostenible.

A pesar de los costos elevados y las limitaciones en su accesibilidad, la nanotecnología tiene un potencial transformador en la salud animal. Su integración exitosa dependerá de investigaciones más extensas, normativas claras y un enfoque hacia tecnologías más accesibles para contextos con recursos limitados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbas, G. Jaffrery, S., Hashmi, A., Arshad, M., Usmani, S., MSImran, AJTanveer, Tariq, M., M.Saleem, Amin, Q., Khan, A., Alvi, M., Shabbir, S., Qureshi, R., Mustafa, A., Iqbal, A., Hassan, M., Abbas, S. Abbas, W., Abbas, H., Mohyuddin, S., Ismail, W., AL-Taey & Shaukat. B. (2023). Perspectivas actuales de los usos de la nanotecnología en la producción animal y su escenario futuro. *Revista de Ciencias de Pakistán*, 74(3), 203-222.

<https://doi.org/10.57041/pjs.v74i3.789>

Adibhesami, M., Ahmadi, M., Farshid, A. A., Sarrafzadeh-Rezaei, F., & Dalir-Naghadeh, B. (2017). Effects of silver nanoparticles on *Staphylococcus aureus* contaminated open wounds healing in mice: An experimental study. *Veterinary research forum : an international quarterly journal*, 8(1), 23–28.

Alghuthaymi, M., Hassan, A., Kalia, A., Sayed El Ah, R., El Hamaky, A., Oleksak, P., Kuca, K. & Abd-El salam, K. (2021). Antifungal Nano-Therapy in Veterinary Medicine: Current Status and Future Prospects. *Journal of Fungi*. 7(7):494.

<https://doi.org/10.3390/jof7070494>



- Ali, A., Ijaz, M., Khan, Y. R., Sajid, H. A., Hussain, K., Rabbani, A. H., Shahid, M., Naseer, O., Ghaffar, A., Naeem, M. A., Zafar, M. Z., Malik, A. I., & Ahmed, I. (2021). Role of nanotechnology in animal production and veterinary medicine. *Tropical animal health and production*, 53(5), 508.
<https://doi.org/10.1007/s11250-021-02951-5>
- Buldain, D., Mestorino, O. & Islan, G. (2024). Nanobiotecnología como alternativa para el tratamiento de mastitis bovina por *Staphylococcus aureus*: Nanopartículas conteniendo aceite esencial de *Melaleuca armillaris* sm. y cloxacilina. *Revista Investigación Joven*, 10(3); 420-421.
- Carroza, T. & Brieva, S. (2020). Nanotecnología y salud animal: alianzas, políticas públicas y aprendizajes en torno al desarrollo de una estrategia para prevención y tratamiento para la brucelosis ovina. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 119(1): 1-11.
- Carvalho, S., Souza, V., Martins, A., Lobato, J., Polli, A., Fonseca-Santos, B., Oliveira, J., Daflón, M. & Chorilli, M. (2020). Advances and challenges in nanocarriers and nanomedicines for veterinary application. *International Journal of Pharmaceutics*, 580.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2020.119214>
- Castro-Silva, Y. & WingChing-Jones, R. (2023). Utilización de compuestos de plata en la producción animal y su impacto sobre parámetros fisiológicos: Una revisión. *Nutrición Animal Tropical* 17(2): 146-215. DOI: 10.15517/natv17i2.58102
- Cervera-Villaseñor, B., Sánchez-Ciprés, D., Zamudio-Ojeda, A. & Guevara-Martínez, S. (2023). Importancia de la nanotecnología en las ciencias veterinarias. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinar*, 7(1), 9549-9561
. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.5077
- Coppo, J. A. (2009). Nanotecnología, medicina veterinaria y producción agropecuaria. *Revista Veterinaria*, 20(1), 61–71.
<https://doi.org/10.30972/vet.2011886>
- Danchuk, O., Levchenko, A., Da Silva, R., Danchuk, V., Cengiz, S., Cengiz, M. & Grafov, A. Meeting Contemporary Challenges: Development of Nanomaterials for Veterinary Medicine. *Pharmaceutics*, 15(9), 2326,
<https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15092326>



- El-Sayed, A., & Kamel, M. (2020). Advanced applications of nanotechnology in veterinary medicine. *Environmental science and pollution research international*, 27(16), 19073–19086.
<https://doi.org/10.1007/s11356-018-3913-y>
- Erazo-Ordóñez, M. & Réverend-Lizcano, C. (2024). Impacto en la salud causado por los nanoplásticos contenidos en alimentos y su posible atenuación mediante un proceso de bioingeniería *Revista EIA*, 21(41): 1-60.
<https://doi.org/10.24050/reia.v21i41.1712>
- Ghosh, M., Chowdhury, A., Patki, H. (2024). *Nanotechnology Based Strategies for the Improvement of Conventional Diagnostics and Therapeutics in Veterinary Medicine*. In: Prasad, M., Kumar, R., Ghosh, M., Syed, S.M., Chakravarti, S. (eds) *Nanotechnology Theranostics in Livestock Diseases and Management*. Livestock Diseases and Management. Springer, Singapore.
https://doi.org/10.1007/978-981-16-1610-5_27
- Hill, E. K., & Li, J. (2017). Current and future prospects for nanotechnology in animal production. *Journal of animal science and biotechnology*, 8, 26
<https://doi.org/10.1186/s40104-017-0157-5>
- Jafary, F., Motamedi, S., & Karimi, I. (2023). Veterinary nanomedicine: Pros and cons. *Veterinary medicine and science*, 9(1), 494–506.
<https://doi.org/10.1002/vms3.1050>
- Leyton, F. (2010). Animales y nanotecnología: algunas implicaciones bioéticas. En *Bioética y nanotecnología* (cap. 11). Civitas, Editorial Aranzadi, SA.
- Lira-Saldívar, R. & Méndez-Arguello, B. (2018). Nanotecnología: Un nuevo paradigma científico en la producción agropecuaria del siglo XXI. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5(13).
<https://doi.org/10.19136/era.a5n13.1500>
- Manuja, A., Kumar, B., y Singh, RK (2012). Desarrollos en nanotecnología: oportunidades para la salud y la producción animal. *Nanotechnology Development*, 2 (1), e4.
<https://doi.org/10.4081/nd.2012.e4>



- Martínez Martínez, R. & Mera Andrade, R. (2024). La Nanobiotecnología como Método de Diagnóstico y Tratamiento de Mastitis Bovina. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(3), 7722-7733.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.11964
- Medina-Pérez, G., & Fernández-Luqueño, F. (2018). Nanotoxicidad: retos y oportunidades. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencias Y Nanotecnología*, 11(20), 7–16.
<https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2018.20.64105>
- Meena, N., Sahni, Y., Thakur, D. & Singh, R. (2018). Applications of nanotechnology in veterinary therapeutics. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(2): 167-175.
- Navarro Espinoza, S., Meza-Figueroa, D., Soto-Puebla, D., Castañeda, B., & Pedroza-Montero, M. (2021). Nanopartículas: efectos en la salud humana y el medio ambiente. *Epistemus*, 15(30): 58-64.
<https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i30.166>
- Noormans, A. G. (2010). Impacto de la Nanotecnología en la Producción de Alimentos. *Lámpsakos (revista Descontinuada)*, (4), 28–35. <https://doi.org/10.21501/21454086.801>
- Páez, T. (2022). *Nanotecnología en el Mundo: Marco Regulatorio*. [Artículo de Maestría: Universidad Internacional SEK]. Repositorio digital:
<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/4603/1/P%c3%a1ez%20Aguinaga%20Tania%20Judith.pdf>
- Riley, M. & Vermerris, W. (2017). Avances recientes en nanomateriales para la administración de genes: una revisión. *Nanomaterials*, 7 (5), 94;
<https://doi.org/10.3390/nano7050094>
- Rizzo, L. Y., Theek, B., Storm, G., Kiessling, F., & Lammers, T. (2013). Recent progress in nanomedicine: therapeutic, diagnostic and theranostic applications. *Current opinion in biotechnology*, 24(6), 1159–1166.
<https://doi.org/10.1016/j.copbio.2013.02.020>



Robles Belmont, E., & de Gortari Rabiela, R. (2023). La integración de redes transnacionales en nanociencias y nanotecnología: el rol de la diáspora científica y la medicina traslacional. *Redes. Revista De Estudios Sociales De La Ciencia Y La Tecnología*, 27(53).

<https://doi.org/10.48160/18517072re53.105>

Şenel S. (2021). Nanotechnology and Animal Health. *Pharmaceutical nanotechnology*, 9(1), 26–35.

<https://doi.org/10.2174/2211738508666200910101504>

Shanker, R., Gulshan, S., Anurag, J., Premendra, D. & Surinder, P. (2020). Chapter 29 - Nanotechnology and detection of microbial pathogens. *Animal Biotechnology (2Ed)*, 593-611.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811710-1.00026-4>

Thulasi A, Rajendran D, Jash S, Selvaraju, S., Lyju, V., Velusamy, S. & Mathivanan, S. (2013). Nanobiotechnology in animal nutrition. *Chapter24*, 499–515.

Younis S., Zia, R., Tahir, N., Zunaira, S. Khan, W. & Bajwa, S. 24 - Nanosensors for animal health monitoring. *Nanosensors for Smart Agriculture*. 509-529

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824554-5.00026-4>

