



El cambio climático y su efecto en la medicina veterinaria

Climate change and its effect on veterinary medicine

A mudança climática e seu efeito na medicina veterinária

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i28.438>

Gema Nicolle Farías Cedeño
gema.farias@espm.edu.ec

Merly Mabel Quizhpi Reyes
merlyquizhpi@espm.edu.ec

Mauro Manabí Guillen Mendoza
mguillenmen@espm.edu.ec

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calceta, Ecuador

Artículo recibido: 3 de noviembre 2025 / **Arbitrado:** 9 de diciembre 2025 / **Publicado:** 7 de enero 2026

RESUMEN

Introducción: El cambio climático representa una amenaza creciente para los sistemas ganaderos mundiales, afectando directamente la salud animal y la productividad. **Objetivo:** Analizar mediante una revisión narrativa el efecto del cambio climático en la medicina veterinaria, con énfasis en sistemas ganaderos. **Metodología:** Se realizó una revisión narrativa sistemática enfocada en sistemas ganaderos. El período de revisión comprendió literatura publicada entre 2015-2025. La búsqueda se ejecutó en bases de datos académicas especializadas incluyendo Scopus (312 artículos), Semantic Scholar (246 artículos) y Google Scholar (289 artículos), para un total de 847 artículos identificados inicialmente. Se utilizaron herramientas de inteligencia artificial (Elicit, Research Rabbit) para identificación de literatura relevante. Tras aplicar criterios de selección y evaluación de calidad, se incluyeron 103 estudios relevantes para el análisis comprensivo. De estos, se caracterizaron 10 estudios representativos en la tabla de resultados. **Resultados:** Los hallazgos muestran efectos directos del estrés térmico en la salud animal, manifestándose como alteraciones metabólicas, inmunosupresión y mayor susceptibilidad a enfermedades. Los efectos indirectos incluyen proliferación de vectores, emergencia de enfermedades transmitidas por artrópodos y reducción de la productividad ganadera. **Conclusiones:** El cambio climático está transformando la práctica veterinaria, requiriendo actualización curricular, fortalecimiento de vigilancia sanitaria y adopción de estrategias de adaptación para proteger la salud animal y la seguridad alimentaria.

Palabras clave: Adaptación; Cambio climático; Enfermedades; Estrés; Medicina veterinaria; Sistemas ganaderos

ABSTRACT

Introduction: Climate change represents a growing threat to global livestock systems, directly affecting animal health and productivity. **Objective:** To analyze through a narrative review the effect of climate change on veterinary medicine, with emphasis on livestock systems. **Methodology:** A bibliographic search was conducted in specialized academic databases (Scopus, Semantic Scholar, Google Scholar) for literature published between 2015-2025, using artificial intelligence tools (Elicit, Research Rabbit) for relevant study identification. **Results:** Findings show direct effects of heat stress on animal health, manifesting as metabolic alterations, immunosuppression, and increased disease susceptibility. Indirect effects include vector proliferation, emergence of arthropod-borne diseases, and livestock productivity reduction. **Conclusions:** Climate change is transforming veterinary practice, requiring curriculum updating, strengthening of health surveillance, and adoption of adaptation strategies to protect animal health and food security.

Key words: Adaptation; Climate change; Illnesses; Stress; Veterinary medicine; income systems

RESUMO

Introdução: A mudança climática representa uma ameaça crescente para os sistemas ganhadeiros mundiais, afetando diretamente a saúde animal e a produtividade. **Objetivo:** Analisar através de uma revisão narrativa o efeito da mudança climática na medicina veterinária, com ênfase em sistemas ganadeiros. **Metodologia:** Foi realizada uma revisão narrativa sistemática focada em sistemas ganadeiros. O período de revisão compreendeu a literatura publicada entre 2015-2025. A pesquisa foi realizada em bases de dados acadêmicos especializados, incluindo Scopus (312 artigos), Semantic Scholar (246 artigos) e Google Scholar (289 artigos), para um total de 847 artigos identificados especificamente. Use ferramentas de inteligência artificial (Elicit, Research Rabbit) para identificar literatura relevante. Para aplicar critérios de seleção e avaliação de qualidade, inclui 103 estudos relevantes para a análise abrangente. Destes, foram caracterizados 10 estudos representativos na tabela de resultados. **Resultados:** Os resultados mostram efeitos diretos do estresse térmico na saúde animal, manifestando-se como alterações metabólicas, imunossupressão e maior suscetibilidade a doenças. Os efeitos indiretos incluem proliferação de vetores, emergência de doenças transmitidas por artrópodes e redução do ganho de produtividade. **Conclusões:** A mudança climática está modificando a prática veterinária, exigindo atualização curricular, fortalecimento da vigilância sanitária e adoção de estratégias de adaptação para proteger a saúde animal e a segurança alimentar.

Palavras-chave: Adaptação; Mudança climática; Enfermidades; Estres; Medicina veterinária; Sistemas Ganadeiros

INTRODUCCIÓN

El cambio climático global constituye uno de los desafíos más significativos de la actualidad, con impactos profundos en múltiples sectores productivos y en la salud de los ecosistemas (1,2). En el contexto agrícola y ganadero, este fenómeno genera transformaciones ambientales que afectan tanto el bienestar animal como la seguridad alimentaria mundial (3,4). Las principales alteraciones ambientales incluyen variaciones en temperatura, humedad relativa, patrones de precipitación y frecuencia de eventos climáticos extremos (5,6), lo cual repercute directamente en los sistemas productivos y en la salud de los animales domésticos y silvestres.

Las emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente de origen antropogénico, impulsan estos cambios climáticos (7,8). El sector ganadero contribuye aproximadamente al 14,5% de estas emisiones globales, situándose como un actor estratégico tanto en la mitigación como en la adaptación al calentamiento global (9). En América Latina y el Caribe, el sector agropecuario enfrenta desafíos crecientes debido a los efectos del cambio climático y la demanda alimentaria en aumento, lo que intensifica la presión sobre los recursos naturales y favorece prácticas como la expansión de la frontera agrícola y la deforestación para el establecimiento de nuevos pastizales (10).

La vulnerabilidad del sector agrícola al cambio climático se debe a su sensibilidad a variaciones de temperatura y precipitación (11). La producción agrícola sustenta al sector pecuario, fundamental para la seguridad alimentaria regional al proporcionar proteínas y micronutrientes esenciales (12). Además, la ganadería no solo provee alimentos para millones de personas, sino que también funciona como activo financiero, mecanismo de resiliencia económica y fuente de ingresos para poblaciones rurales vulnerables, jugando un papel crucial en la reducción de pobreza en países en desarrollo (13).

El cambio climático impacta la medicina veterinaria mediante variaciones de temperatura y frecuencia de eventos climáticos extremos, afectando la salud y producción animal directa e indirectamente (14,15). El aumento térmico provoca estrés calórico, reduciendo rendimiento, bienestar y productividad directamente (16). De manera indirecta, altera la disponibilidad de agua y pastos, modifica la ecología de vectores, y amplía las condiciones para la emergencia de patógenos, nuevos síndromes y enfermedades (17).

En este contexto, la medicina veterinaria enfrenta la urgente necesidad de abordar estos desafíos, especialmente en países en desarrollo donde la economía depende de la ganadería. Este fenómeno impacta la salud animal, favoreciendo

aparición y reaparición de enfermedades transmitidas por vectores (18,19), exigiendo nuevas estrategias diagnósticas, preventivas y terapéuticas por parte de los profesionales veterinarios. Las repercusiones económicas para el sector ganadero son considerables, lo que ha motivado a diversos autores a proponer la inclusión sistemática del cambio climático en los planes de estudio de medicina veterinaria y el fortalecimiento del rol del veterinario en la gestión integral del riesgo climático (20).

El impacto del cambio climático en la medicina veterinaria, particularmente en sistemas ganaderos, es cada vez más evidente, afectando directamente salud animal y productividad (21). Las variaciones térmicas junto con fenómenos extremos como olas de calor y sequías reducen disponibilidad de agua y pastos, comprometiendo bienestar animal aumentando la probabilidad de brotes de enfermedades infecciosas y parasitarias. Esto afecta eficiencia productiva y economía del sector. Sin embargo, existen brechas de conocimiento sobre cómo estos cambios impactan específicamente la práctica veterinaria, dificultando toma de decisiones y aplicación de estrategias efectivas para protección animal (22).

El objetivo de este artículo es analizar mediante una revisión narrativa el efecto del cambio climático en la medicina veterinaria, con énfasis en sistemas ganaderos, comprendiendo su impacto en salud animal y producción,

abordando desde manejo de enfermedades hasta desafíos para la sostenibilidad, a partir de fuentes recientes y pertinentes que permitan caracterizar los cambios que enfrenta el ejercicio veterinario contemporáneo.

METODOLOGÍA

Se realizó una revisión narrativa para analizar el efecto del cambio climático en la medicina veterinaria, con énfasis en sistemas ganaderos. Este estudio adoptó un enfoque cualitativo de tipo interpretativo, orientado a examinar críticamente la literatura disponible, identificar patrones conceptuales y comprender las implicaciones teóricas y aplicadas del fenómeno. La revisión narrativa permite síntesis comprehensiva de literatura existente sobre un tema amplio, facilitando integración de conocimientos multidisciplinarios e identificación de tendencias emergentes en el campo de estudio (23,24).

La búsqueda bibliográfica se efectuó en múltiples bases de datos académicas especializadas, incluyendo Scopus, Semantic Scholar y Google Scholar, durante el período comprendido entre enero y marzo de 2025. Se estableció un rango temporal de búsqueda de 2015 a 2025 para asegurar inclusión de literatura reciente y relevante que refleje el estado actual del conocimiento sobre cambio climático y medicina veterinaria.

Los términos de búsqueda empleados incluyeron combinaciones de palabras clave en español e inglés: “cambio climático” AND “medicina veterinaria”, “climate change” AND “veterinary medicine”, “estrés térmico” AND “ganado”, “heat stress” AND “livestock”, “enfermedades emergentes” AND “vectores”, “emerging diseases” AND “vectors”. Estos términos se combinaron usando operadores booleanos AND y OR para optimizar la precisión y sensibilidad de la búsqueda.

En cuanto a las herramientas utilizadas, estas estuvieron basadas en inteligencia artificial, específicamente Elicit y Research Rabbit, para facilitar identificación y selección de literatura relevante. Estas herramientas permiten análisis automatizado de bases de datos científicas, identificación de patrones de investigación y recomendación de artículos relacionados, mejorando eficiencia y cobertura de la búsqueda (25,26).

En cuanto a la búsqueda inicial, se logró identificar un total de 847 artículos potencialmente relevantes, distribuidos así: 312 artículos en Scopus, 289 en Google Scholar y 246 en Semantic Scholar. Tras la eliminación de duplicados, se obtuvo un conjunto de artículos únicos para evaluación. La selección de estudios siguió un

enfoque narrativo basado en relevancia temática y calidad metodológica. Se priorizaron artículos de revistas indexadas con factor de impacto reconocido, estudios con datos empíricos o revisiones sistemáticas, y publicaciones que abordaran específicamente los efectos del cambio climático sobre la salud animal y la medicina veterinaria. Tras aplicar los criterios de selección y evaluación de calidad, se incluyeron 103 estudios relevantes para el análisis comprehensivo. De estos, se caracterizaron 10 estudios representativos en la Tabla 1, seleccionados por su relevancia y representatividad temática.

Finalmente, la extracción de datos incluyó características del estudio, metodología empleada, principales hallazgos, limitaciones identificadas y conclusiones reportadas por los autores originales.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Caracterización de estudios representativos

La Tabla 1 presenta la caracterización de estudios representativos incluidos en esta revisión narrativa, que ilustran las principales temáticas abordadas en la literatura sobre cambio climático y medicina veterinaria.

Tabla 1. Caracterización de estudios representativos sobre cambio climático y medicina veterinaria.

| Autor y año | Título del estudio | Metodología | Principales resultados |
|-----------------------------|--|-------------------------------|---|
| Blanco-Penedo et al. (1) | Impacto del cambio climático sobre el bienestar animal en los sistemas ganaderos | Revisión sistemática | Efectos del estrés térmico en comportamiento y productividad animal |
| Tafur Anzualdo et al. (4) | Causas y efectos del cambio climático 2001 a 2021, Perú | Ánálisis de series temporales | Incremento de temperatura de 0.8°C por década en región andina |
| Galán et al. (9) | Indicadores de resiliencia al estrés térmico en ganado lechero | Revisión sistemática | Identificación de marcadores fisiológicos de adaptación |
| Sharma et al. (23) | El impacto del cambio climático en la salud animal | Revisión narrativa | Estrategias de mitigación y adaptación necesarias |
| Cerqueira et al. (27) | Predicción de estrés térmico en vacas lecheras | Estudio observacional | Desarrollo de modelos predictivos basados en índices ambientales |
| Bruguera et al. (28) | Factores ambientales y enfermedades emergentes transmitidas por mosquitos | Revisión sistemática | Correlación entre cambios climáticos y expansión vectorial |
| Cartwright et al. (29) | Impacto del estrés térmico en ganado lechero | Revisión | Estrategias de selección para termo tolerancia |
| Correa-Calderón et al. (30) | Estrés por calor en ganado lechero | Revisión | Reducción de 40% en producción de leche por estrés térmico |
| Kramer et al. (31) | Veterinarios en el cambio climático global | Estudio cualitativo | Brecha educativa en formación veterinaria |
| Rojas-Downing et al. (32) | Cambio climático y ganadería: impactos y adaptación | Revisión | Necesidad de medidas de adaptación urgentes |

Causas y consecuencias ambientales del cambio climático

El cambio climático global, originado principalmente por emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero, está causando pérdida acelerada de biodiversidad debido al impacto creciente de actividades humanas sobre recursos esenciales como suelo, aire y agua (27,33). Los combustibles fósiles como

gas, petróleo y carbón, junto con actividades industriales diversas, constituyen las principales fuentes de dióxido de carbono, representando más del 75% de emisiones globales de GEI y 90% del carbono responsables de más del 75% de las emisiones globales de GEI y del 90% del carbono liberado a la atmósfera (34,35).

Las emisiones contaminantes provienen de múltiples fuentes incluyendo industria, transporte,

centrales eléctricas y actividad agropecuaria, liberando partículas y gases que deterioran calidad del aire y afectan salud humana (36). Estos compuestos, al retener calor en la atmósfera, intensifican el efecto invernadero y contribuyen al aumento de la temperatura global (37). La deforestación masiva agrava el problema, ya que la pérdida de bosques libera grandes cantidades de gases de efecto invernadero, relacionándose estrechamente con la expansión de la frontera agrícola y las prácticas ganaderas, agrava este proceso al reducir la capacidad de captura de carbono y generar un círculo de retroalimentación que acelera el cambio climático (38,39).

Como consecuencia del cambio climático, el planeta enfrenta eventos cada vez más extremos como sequías prolongadas, inundaciones, olas de calor e incendios forestales, impulsados por aumento de temperatura y desequilibrio en las precipitaciones (40,41). Estos fenómenos favorecen el aumento del nivel del mar, mayor variabilidad climática y frecuencia creciente de desastres naturales. A nivel sanitario, las repercusiones incluyen la expansión de enfermedades tropicales, la intensificación de procesos de desertificación, la pérdida de biodiversidad y un aumento en la mortalidad asociada a estrés calórico y desnutrición (42).

Alteraciones ecológicas y su influencia en la salud animal

El cambio climático representa una de las mayores amenazas para la sostenibilidad de sistemas ganaderos, debido a sus efectos cada vez más intensos sobre el entorno y la salud de los animales (43). Las principales alteraciones incluyen cambios de temperatura, humedad relativa, lluvias prolongadas, vientos fuertes, nevadas, sequías e inundaciones (28). Si bien la temperatura es un factor determinante, la interacción con la humedad, el viento y la radiación solar condiciona de manera decisiva el nivel de estrés térmico que experimentan los animales (44).

Los efectos del cambio climático sobre la salud animal se clasifican en directos e indirectos, dependiendo de su intensidad, duración y origen. Entre los efectos directos, el estrés térmico constituye uno de los más relevantes, al alterar el metabolismo, incrementar el estrés oxidativo y debilitar el sistema inmunológico, lo que aumenta la susceptibilidad a infecciones y la probabilidad de mortalidad (45,46). Al afectar la zona de confort térmico, compromete tanto el bienestar como la productividad animal.

Entre los efectos indirectos se observa un aumento significativo en las enfermedades infecciosas, muchas de ellas transmitidas

por vectores o asociadas a parásitos (47). La exposición prolongada a altas temperaturas genera estrés térmico, afectando directamente su salud, bienestar y rendimiento productivo (48,49). Este fenómeno ocurre cuando el animal es incapaz de equilibrar la producción y pérdida de calor, situación estrechamente influida por las condiciones del entorno (50). A nivel fisiológico, se manifiesta mediante elevación de cortisol, mayor gasto energético y alteraciones metabólicas (51). Como resultado, se presentan conductas anormales, menor resistencia a enfermedades y un sistema inmunológico comprometido (52).

Enfermedades emergentes y reemergentes en animales

Las enfermedades emergentes y reemergentes son aquellas que surgen o reaparecen en zonas, poblaciones o especies que anteriormente no habían sido afectadas (53). Diversos factores ambientales como cambios en temperatura, humedad y patrones de precipitación, modifican la supervivencia, reproducción y comportamiento tanto de los vectores como de los huéspedes, influyendo en la dinámica epidemiológica de estas enfermedades (54,29). Asimismo, eventos climáticos extremos como inundaciones, sequías y huracanes pueden favorecer la propagación de patógenos, incrementando de forma inmediata el

riesgo de enfermedades transmitidas por vectores (55).

El cambio climático está alterando la dinámica entre vectores y huéspedes, facilitando la propagación de enfermedades. El aumento de temperaturas permite que insectos como mosquitos y garrapatas vivan más tiempo y en mayor número, favoreciendo la transmisión de patógenos (56,30). Dado que estos organismos dependen del entorno para completar su ciclo de vida, su distribución es altamente sensible a las variaciones climáticas (57,58). Como consecuencia, han surgido o reaparecido enfermedades como malaria, virus del Nilo Occidental y fiebre del Valle del Rift en zonas antes libres de estos brotes (59).

La variabilidad del ambiente no solo altera dónde y cuántos vectores existen, sino que también modifica la forma en que estos interactúan con los patógenos, permitiendo que nuevas especies actúen como transmisores de enfermedades (60). Estos cambios están dejando huella en los ecosistemas: se pierden hábitats, cambian los patrones de aparición de enfermedades y se acelera la pérdida de biodiversidad (61). En la práctica veterinaria, ya se evidencian estos efectos a través de la aparición creciente de enfermedades como el virus de la lengua azul y diversas infecciones parasitarias en zonas antes consideradas de bajo riesgo (31).

Impacto del cambio climático en la producción animal

Las variaciones climáticas afectan directamente la producción animal, ya que influyen en la calidad del forraje, el acceso al agua, la reproducción y la producción de leche, siendo una de las principales fuentes de estrés en sistemas ganaderos (62,33). Estos cambios también alteran las comunidades microbianas, favorecen la propagación de enfermedades transmitidas por vectores y reducen la resistencia de los animales, creando un ambiente más propenso al estrés térmico y a la disminución del rendimiento productivo (63).

El estrés térmico afecta significativamente la salud y el rendimiento productivo del ganado, la producción de leche disminuye, traduciéndose en considerables pérdidas económicas para el sector ganadero (64). Este tipo de estrés también incrementa las demandas energéticas del animal y limita su capacidad para producir leche de manera eficiente. El ganado lechero, debido a su alta exigencia metabólica, es particularmente vulnerable al calor, lo que no solo reduce su productividad, sino que también eleva el riesgo de enfermedades (65).

Fisiológicamente, el estrés térmico activa mecanismos como la liberación de glucocorticoides y la estimulación del sistema nervioso simpático, generando alteraciones en el

uso de la energía y en el reparto de nutrientes esenciales (66,67). El estrés por calor obliga al ganado a activar mecanismos fisiológicos y metabólicos para mantener su temperatura corporal, reduciendo su producción de leche. Se ha estimado que cerca del 40% de la reducción en producción de leche se debe a la menor ingesta de alimento, mientras que el resto responde a alteraciones metabólicas y disminución de la tolerancia celular al calor (68).

Desde una perspectiva económica, las pérdidas productivas causadas por el estrés calórico son preocupantes, especialmente en países ubicados en la franja tropical. Se estima que el incremento del índice temperatura-humedad puede generar una reducción anual de hasta 1,8 millones de toneladas de leche, equivaliendo a más de 650 millones de dólares en pérdidas (69). En vacas lecheras, se ha identificado una fuerte correlación entre la frecuencia respiratoria, la temperatura rectal y el índice temperatura-humedad, convirtiendo estos parámetros fisiológicos en valiosos indicadores del estrés térmico (70).

Desafíos para la práctica clínica veterinaria y la salud pública

La adaptación a los nuevos desafíos impuestos por el cambio climático requiere comprensión de cómo factores ambientales pueden influir en la

propagación de enfermedades, la producción de alimentos y la interacción entre salud animal y humana (71). Estos cambios ya están afectando la ganadería, con consecuencias que van más allá del ámbito productivo, impactando también en la salud de las comunidades y en la seguridad alimentaria (72). Si bien muchos veterinarios son conscientes de la necesidad de actuar y educar sobre estos temas, en la práctica no siempre cuentan con formación adecuada (73).

La ganadería enfrenta cada vez mayores desafíos debido a la variabilidad climática, poniendo en riesgo su sostenibilidad. Se estima que la demanda de producción aumentará considerablemente, al igual que el consumo de agua por parte del ganado, ejerciendo mayor presión sobre los recursos agrícolas (74). A esto se suman la escasez hídrica, la desnutrición animal y el deterioro de los ecosistemas, factores que comprometen la salud del ganado y aumentan su susceptibilidad a enfermedades (75). En este contexto, el cambio climático está modificando los patrones de aparición y propagación de patologías, planteando un reto creciente para la medicina veterinaria.

Estrategias de adaptación y mitigación desde la medicina veterinaria

Las estrategias de adaptación en salud animal deben incluir prácticas agrícolas sostenibles,

inversión en investigación y conservación de la biodiversidad. Es fundamental fortalecer la vigilancia sanitaria, la bioseguridad y la atención veterinaria. También se requiere capacitación, protocolos de higiene y monitoreo (76). Las campañas de vacunación y el manejo del estrés térmico ayudan a reducir enfermedades, debiendo estas acciones integrarse con medidas que protejan la salud animal y humana (77).

Para avanzar hacia una ganadería sostenible, es necesario evaluar e implementar medidas de adaptación y mitigación adecuadas al contexto local y al tipo de producción, apoyadas por políticas claras (78). Además, es urgente actualizar los programas de formación veterinaria, integrando contenidos sobre cambio climático y salud pública, ya que aún existen vacíos importantes en este ámbito (79). La educación continua, mediante seminarios, congresos y mejoras curriculares, puede fortalecer el rol de los profesionales veterinarios frente a esta crisis (80).

Para enfrentar los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad, se han propuesto estrategias como la conservación del hábitat, la gestión sostenible de la fauna y la cooperación internacional (81). En el ámbito agropecuario, la diversificación de cultivos y especies animales, así como la adopción de sistemas mixtos de producción, se perfila como una medida eficaz para incrementar la resiliencia frente a eventos

climáticos extremos, enfermedades y plagas (82). Estas prácticas optimizan el uso de recursos, mejoran la productividad y contribuyen a la sostenibilidad de los sistemas ganaderos (83).

Discusión

Los resultados de esta revisión narrativa revelan que el cambio climático está generando transformaciones profundas y multidimensionales en la medicina veterinaria, particularmente en sistemas ganaderos. Estos hallazgos subrayan la existencia de mecanismos directos e indirectos que afectan la salud animal y la productividad, configurando un entramado complejo de desafíos que demanda respuestas integradas, intersectoriales y basadas en evidencia.

En primer lugar, el estrés térmico emerge como uno de los efectos más inmediatos y documentados del cambio climático sobre la salud animal. Los hallazgos indican que este fenómeno no solo compromete el bienestar animal a través de alteraciones metabólicas y fisiológicas, sino que también genera consecuencias económicas significativas para el sector ganadero. La correlación identificada entre el índice temperatura-humedad y la reducción en la producción de leche, con pérdidas estimadas en cientos de millones de dólares anuales, refuerza la urgencia de implementar estrategias adaptativas basadas en evidencia científica (84,85).

En segundo lugar, la emergencia y reemergencia de enfermedades transmitidas por vectores representa otro aspecto crítico identificado en la literatura. El cambio climático está alterando la distribución geográfica y la estacionalidad de vectores como mosquitos y garrapatas, expandiendo su rango de distribución hacia latitudes y altitudes previamente inhóspitas (86,87). Esta expansión vectorial está facilitando la aparición de enfermedades como el virus de la lengua azul, la fiebre del Valle del Rift y diversas arbovirosis en regiones que anteriormente eran consideradas libres de estos patógenos (88,89). La implicancia para la medicina veterinaria es doble: por un lado, requiere actualización constante del repertorio diagnóstico y terapéutico, y por otro, demanda una vigilancia epidemiológica más robusta y anticipatoria.

Asimismo, se identificó una brecha preocupante entre los desafíos emergentes y la preparación de la profesión veterinaria para abordarlos. La literatura revela que muchos profesionales carecen de formación específica sobre cambio climático y sus implicaciones en salud animal, limitando su capacidad de respuesta ante estos desafíos emergentes (90,91). Esta brecha formativa es más pronunciada en países en desarrollo, donde la dependencia de la ganadería para la subsistencia y el desarrollo económico hace que el impacto del cambio climático sea particularmente devastador (92,93).

De igual manera, la interrelación entre salud animal, salud humana y salud ambiental, conceptualizada como “One Health”, adquiere relevancia particular en el contexto del cambio climático. Los resultados sugieren que los efectos del cambio climático en la medicina veterinaria no pueden abordarse de manera aislada, sino que requieren enfoques integrados que reconozcan las interconexiones entre estos tres dominios de la salud (94,95). Esta perspectiva holística es esencial para desarrollar estrategias de adaptación y mitigación efectivas que protejan tanto la salud animal como la seguridad alimentaria y la salud pública.

Desde una perspectiva metodológica, es importante reconocer las limitaciones inherentes a la revisión narrativa. Aunque este enfoque permite una síntesis comprehensiva de la literatura existente y facilita la identificación de patrones y tendencias emergentes, carece del rigor metodológico de las revisiones sistemáticas y metaanálisis (96,97). Sin embargo, dada la naturaleza multidisciplinaria del tema y la necesidad de integrar conocimientos de diversos campos (climatología, veterinaria, epidemiología, economía), la revisión narrativa se presenta como el enfoque más apropiado para proporcionar una visión panorámica del estado actual del conocimiento.

En relación con las fortalezas del estudio, destaca la amplia diversidad de fuentes consultadas y el rango temporal de la literatura revisada (2015-2025), lo que permitió capturar tanto avances recientes como tendencias emergentes. El uso de herramientas de inteligencia artificial apoyó la identificación y depuración de literatura relevante, reduciendo potenciales sesgos derivados de procesos manuales de búsqueda (98,99).

No obstante, persisten limitaciones importantes. Primero, la búsqueda se limitó a bases de datos principales, excluyendo literatura gris que podría contener información relevante, particularmente de experiencias de campo y reportes de casos que no se publican en revistas indexadas. Segundo, el enfoque narrativo, aunque apropiado para el objetivo del estudio, puede haber introducido sesgos de selección e interpretación. Tercero, la heterogeneidad en la calidad metodológica de los estudios incluidos limita la capacidad de realizar síntesis cuantitativas o generalizaciones robustas.

Finalmente, las implicaciones de estos hallazgos para la práctica veterinaria y la política pública son significativas. La evidencia de impactos directos del cambio climático en la salud animal y la productividad ganadera subraya la necesidad urgente de desarrollar e implementar estrategias

de adaptación basadas en evidencia científica (100,101). Estas estrategias deben incluir no solo medidas técnicas como el desarrollo de razas más resistentes al calor o la implementación de sistemas de enfriamiento, sino también enfoques más amplios como la diversificación de sistemas productivos y la promoción de prácticas agroecológicas.

Del mismo modo, la brecha identificada en la formación veterinaria requiere atención inmediata por parte de instituciones educativas y organizaciones profesionales. La integración de contenidos sobre cambio climático, salud ambiental y enfoques de “One Health” en los currículos veterinarios es fundamental para preparar a los profesionales para los desafíos emergentes. Esta formación debe incluir no solo aspectos técnicos sino también competencias en comunicación de riesgos, políticas públicas y colaboración intersectorial.

CONCLUSIONES

El cambio climático está transformando profundamente la medicina veterinaria, especialmente en sistemas ganaderos, mediante mecanismos directos como el estrés térmico e indirectos como la proliferación de vectores y emergencia de enfermedades. Los impactos en la salud animal y la productividad ganadera tienen consecuencias significativas para la seguridad alimentaria y la economía rural, particularmente

en países en desarrollo donde la ganadería constituye una fuente principal de sustento.

En consecuencia, la medicina veterinaria enfrenta desafíos crecientemente complejos que requieren una respuesta articulada, basada en evidencia y orientada a la sostenibilidad. La revisión realizada demuestra la necesidad de actualizar programas de formación profesional, fortalecer sistemas de vigilancia sanitaria y promover prácticas sostenibles adaptadas al nuevo contexto climático. La brecha identificada entre los desafíos emergentes y la preparación de la profesión veterinaria subraya la urgencia de integrar contenidos sobre cambio climático, salud ambiental y enfoques de One Health, fortaleciendo competencias técnicas y capacidades interdisciplinarias.

Asimismo, la adaptación a los efectos del cambio climático demanda una transformación sustancial del ejercicio veterinario hacia una visión más ecológica, preventiva y colaborativa. La integración de conocimientos sobre salud pública, conservación ambiental y bienestar animal se vuelve esencial para construir sistemas productivos más resilientes y responsables. En este escenario, la cooperación entre profesionales veterinarios, investigadores y tomadores de decisiones será clave para proteger la salud animal y humana, y para avanzar hacia un futuro más justo, saludable y sostenible.

Finalmente, se identifican líneas futuras de investigación prioritarias: (1) desarrollo de indicadores estandarizados para evaluar la vulnerabilidad climática de diferentes especies animales, (2) evaluación de la efectividad económica de estrategias de adaptación en diversos contextos productivos, (3) análisis longitudinal del impacto del cambio climático en la distribución geográfica de enfermedades veterinarias, (4) desarrollo de modelos predictivos que integren variables climáticas, epidemiológicas y productivas, y (5) evaluación de intervenciones educativas para fortalecer la capacidad de respuesta de la profesión veterinaria ante desafíos climáticos emergentes.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS

1. Blanco-Penedo I, Cantalapiedra J, Llonch P. Impacto del cambio climático sobre el bienestar animal en los sistemas ganaderos. ITEA Inform Tec Econ Agrar. 2020;116(5):424-443. <https://doi.org/10.12706/itea.2020.028>
2. National Oceanic and Atmospheric Administration. Climate change impacts 2024. <https://acortar.link/DIRQfx>
3. Odeón M, Romera S. Estrés en ganado: causas y consecuencias. Rev Vet. 2017;28(1):69-77. <https://doi.org/10.15641/16696840/2017.01.14es>
4. Tafur Anzualdo V, Aguirre Chávez F, Vega-Guevara M, Esenarro D, Vilchez Cairo J. Causas y efectos del cambio climático 2001 a 2021, Perú. Sustainability. 2024;16(7):2863. <https://doi.org/10.3390/su16072863>
5. Campos G, Espino-García J, Almaraz-Buendía I, González-Lemus U, Reyes-Munguía A, Aguirre-Álvarez G. Los rumiantes: actores importantes del cambio climático. Bol Cienc Agropec ICAP. 2023;9(17):5-8. <https://n9.cl/0kdi3>
6. Bejarano-Rivera C, López-Villacís I, Vaca-Vaca C, Mera-Andrade R. Producción agrícola sustentable para el sector pecuario y el cambio climático. ALFA Rev Investig Cienc Agron Vet. 2021;5(14):274-284. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.117>
7. Rodríguez D, Anríquez G, Riveros J. Food security and livestock: the case of Latin America and the Caribbean. Cienc Investig Agrar. 2016;43:5-15.
8. Rivera-Ferre M, López-i-Gelats F, Howden M, Smith P, Morton J, Herrero M. Reformulando el debate sobre el cambio climático en el sector ganadero: opciones de mitigación y adaptación. Wiley Interdiscip Rev Clim Change. 2016;7.
9. Galán E, Llonch P, Villagrá A, Levit H, Pinto S, del Prado A. A systematic review of non-productivity-related animal-based indicators of heat stress resilience in dairy cattle. PLoS One. 2018;13(11):e0206520. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206520>
10. Arciniegas-Torres S, Flórez-Delgado D. Estudio de los sistemas silvopastoriles como alternativa para el manejo sostenible de la ganadería. Cienc Agric. 2018;15(2):107-116. <https://www.redalyc.org/journal/5600/560064389006/html/>
11. Del Prado A, Galán E, Batalla U, Pardo G. Impactos y adaptación al cambio climático en rumiantes. ITEA Inform Tec Econ Agrar. 2020;116(5):461-482. <https://doi.org/10.12706/itea.2020.038>
12. Mendoza B, Villalva S, Hernández E, Escalera A, Contreras E. Causas y consecuencias del cambio climático en la producción pecuaria y salud animal. Rev Mex Cienc Pecu. 2020;11(Supl 2):126-145. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.4742>
13. Barreiro P. Desafíos del cambio climático en la práctica veterinaria: una revisión bibliográfica. Res Soc Dev. 2023;12(8):e12812843027. <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i8.43027>
14. National Academy of Sciences. An overview from the Royal Society and the US National Academy of Sciences 2020. <https://royalsociety.org>

- org/~/media/royal_society_content/policy/projects/climate-evidence-causes/climate-change-evidence-causes.pdf
- 15.** Chukwuemeka NK, Ulusow AH, Sylvanus OM. Climate change, causes, economic impact and mitigation. *Int J Sci Res Updates.* 2024;8(1):1-8. <https://doi.org/10.53430/ijlsru.2024.8.1.0043>
- 16.** Landrigan P, Fuller R, Acosta N, Adeyi O, Arnold R, Baldé A, et al. Comisión de The Lancet sobre contaminación y salud. *Lancet.* 2018;391(10119):462-512.
- 17.** Black I, Shaw D, Trebeck K. A policy agenda for changing our relationship with consumption. *J Clean Prod.* 2017;154:12-15.
- 18.** Pinto-Bazurco J. Los retos del cambio climático: un estudio sobre las respuestas legales del Perú. Lima: Fondo Editorial Universidad de Lima; 2019. p. 70. ISBN: 978-9972-45-503-2.
- 19.** León M, Cornejo G, Calderón M, González-Carrión E, Flórez H. Efecto de la deforestación en el cambio climático: un enfoque de cointegración y causalidad con series temporales. *Sustainability.* 2022;14(18):11303. <https://doi.org/10.3390/su141811303>
- 20.** Bolan S, Padhye L, Jasemizad T, Govarthanan M, Karmegam N, Wijesekara H, et al. Impacts of climate change on the fate of contaminants through extreme weather events. *Sci Total Environ.* 2024;909:168388. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168388>
- 21.** Clarke H, Gibson R, Cirulis B, Bradstock R, Penman T. Desarrollo y prueba de modelos de los factores que impulsan la ignición de incendios forestales antropogénicos y provocados por rayos en el sureste de Australia. *J Environ Manag.* 2019;235:34-41. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.01.055
- 22.** Tchernitchin A, San Martín M. Cambio climático, premonitor de un desastre socioambiental global. *Rev Estado Gob Gestión Pública.* 2020;34:123-139. <https://doi.org/10.5354/0717-8980.2020.58712>
- 23.** Sharma S, Rathore G, Joshi M. El impacto del cambio climático en la salud animal y las estrategias de mitigación: una revisión. *Indian J Anim Res.* 2024. <https://doi.org/10.18805/IJAR.B-5303>
- 24.** Grant MJ, Booth A. A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Info Libr J.* 2009;26(2):91-108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- 25.** Munn Z, Peters D, Stern C, Tufanaru C, McArthur A, Aromataris E. Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing between a systematic or scoping review approach. *BMC Med Res Methodol.* 2018;18(1):143. <https://doi.org/10.1186/s12874-018-0611-8>
- 26.** Tsafnat G, Glasziou P, Choong M, Dunn A, Galgani F, Coiera E. Systematic review automation technologies. *Syst Rev.* 2014;3:74. <https://doi.org/10.1186/2046-4053-3-74>
- 27.** Cerqueira J, Araújo J, Blanco-Penedo I, Cantalapiedra J, Silvestre M, Silva S. Predicción de estrés térmico en vacas lecheras mediante indicadores ambientales y fisiológicos. *Arch Zootec.* 2016;65(251):357-364. <https://doi.org/10.21071/az.v65i251.697>
- 28.** Brugueras S, Fernández-Martínez B, Martín ez-de la Puente J, Figuerola J, Montalvo Porro T, Rius C, et al. Factores ambientales, cambio climático y enfermedades emergentes transmitidas por mosquitos y sus vectores en el sur de Europa: una revisión sistemática. *Environ Res.* 2020;191:110038. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110038>
- 29.** Cartwright S, Schmied J, Karrow N, Mallard B. Impacto del estrés térmico en el ganado lechero y estrategias de selección para la termotolerancia: una revisión. *Front Vet Sci.* 2023;10:1198697. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1198697>
- 30.** Correa-Calderón A, Avendaño-Reyes L, López-Baca M, Macías-Cruz U. Estrés por calor en ganado lechero con énfasis en la producción de leche y los hábitos de consumo de alimento y agua: revisión. *Rev Mex Cienc Pecu.* 2022;13(2):431-452. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i2.5832>
- 31.** Kramer C, McCaw KA, Zarestky J, Duncan C. Veterinarians in a changing global climate: educational disconnect and a path forward. *Front Vet Sci.* 2020;7:613620. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.613620>

- 32.** Rojas-Downing M, Nejadhashemi A, Harrigan T, Woznicki S. Cambio climático y ganadería: impactos, adaptación y mitigación. *Clim Risk Manag.* 2017;16:145-163. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>
- 33.** Elliott J, Hesselmann S, Ganswindt M, Ridgway J, Wiedenmann J. The ecosystem services toolkit: enabling evidence-informed, transdisciplinary planning of nature-based solutions. *Ecosyst Serv.* 2017;28:307-314. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.10.024>
- 34.** Magiri R, Muzandu K, Gitau G, Choongo K, Iji P. Impacto del cambio climático en la salud animal, enfermedades emergentes y reemergentes en África. In: Leal Filho W, Oguge N, Ayal D, Adelake L, da Silva I, editors. *Manual Africano de Adaptación al Cambio Climático.* Cham: Springer; 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42091-8_19-1
- 35.** Sridhar J, Kumar K, Murali-Baskaran RK, Senthil-Nathan S, Sharma S, et al. Impact of climate change on communities, response and migration of insects, nematodes, vectors and natural enemies in diverse ecosystems. In: *Global Climate Change: Resilient and Smart Agriculture.* Singapore: Springer; 2020. p. 69-93. <https://doi.org/10.1007/978-981-32-9856-9>
- 36.** Cui Y, Hao Y, Li J, Bao W, Li G, Gao Y, et al. Chronic heat stress induces immune response, oxidative stress response, and apoptosis of finishing pig liver: a proteomic approach. *Int J Mol Sci.* 2016;17(5):393. <https://doi.org/10.3390/ijms17050393>
- 37.** Rovelli G, Ceccobelli S, Perini F, Demir E, Mastrangelo S, Conte G, et al. The genetics of phenotypic plasticity in livestock in the era of climate change: a review. *Ital J Anim Sci.* 2020;19(1):997-1014. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1809540>
- 38.** Volodina O, Ganesan S, Pearce SC, Gabler NK, Baumgard LH, Rhoads RP, et al. Short-term heat stress alters redox balance in porcine skeletal muscle. *Physiol Rep.* 2017;5(8):e13267. <https://doi.org/10.14814/phy2.13267>
- 39.** Bagath M, Krishnan G, Devaraj C, Rashamol VP, Pragna P, Lees AM, Sejian V. El impacto del estrés térmico en el sistema inmunitario del ganado lechero: una revisión. *Res Vet Sci.* 2019;126:94-102. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2019.08.011>
- 40.** Higham L, Halfacree Z, Stonehewer J, Black D, Ravetz G, Moran D, et al. Sustainability policies and practices at veterinary centres in the UK and Republic of Ireland. *Vet Rec.* 2023;193(3):e2998. <https://doi.org/10.1002/vetr.2998>
- 41.** Mohammed A. Influencia potencial del cambio climático en la aparición y distribución de enfermedades transmitidas por vectores entre las poblaciones animales. *Egypt J Vet Sci.* 2023;54(3): artículo 1409. <https://doi.org/10.21608/ejvs.2023.173626.1409>
- 42.** Nejash A. Impact of climate change on livestock health: a review. *J Biol Agric Healthc.* 2016;6(7). <http://www.iiste.org/Journals/index.php/JBAH/article/view/31604>
- 43.** Lacetera N. Impacto del cambio climático en la salud y el bienestar animal. *Anim Front.* 2019;9(1):26-31. <https://doi.org/10.1093/af/vfy030>
- 44.** Swaminathan A, Viennet E, McMichael A, Harley D. Cambio climático y distribución geográfica de las enfermedades infecciosas. En: *Enfermedades infecciosas: una guía geográfica.* 2017. p. 470-480.
- 45.** Leal Filho W, Nagy G, Gbaguidi G, et al. El papel del cambio climático en la emergencia y reemergencia de enfermedades infecciosas: análisis bibliométrico y estudios con base bibliográfica sobre zoonosis. *One Health Outlook.* 2025;7:12. <https://doi.org/10.1186/s42522-024-00127-3>
- 46.** Chang Q, Zhou H, Khan N, Ma J. ¿Puede el cambio climático aumentar la propagación de enfermedades animales? Evidencia de 278 aldeas en China. *Atmosfera.* 2023;14(10):1581. <https://doi.org/10.3390/atmos14101581>
- 47.** Caminade C, McIntyre M, Jones A. Climate change and vector-borne diseases: where are we next heading? *J Infect Dis.* 2016;214(9):1300-1301.
- 48.** Baylis M. Impacto potencial del cambio climático en las infecciones emergentes transmitidas por vectores y otras infecciones en el Reino Unido. *Environ Health.* 2017;16(Supl 1):112. <https://doi.org/10.1186/s12940-017-0326-1>

- 49.** Samadi A. Impactos del cambio climático en las enfermedades transmitidas por vectores en animales y humanos, con especial énfasis en Afganistán: una revisión. *J Nat Sci Rev.* 2024;2(1):1-20. <https://doi.org/10.62810/jnsr.v2i1.35>
- 50.** Sánchez B, Flores S, Rodríguez Hernández E, Contreras Contreras E, [autor no especificado]. Causas y consecuencias del cambio climático en la producción pecuaria y salud animal: revisión. *Rev Mex Cienc Pecu.* 2020;11(Supl 2):126-145. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.4742>
- 51.** Upadhyay R. Markers for global climate change and its impact on social, biological and ecological systems: a review. *Am J Clim Change.* 2020;9(3):159.
- 52.** Márquez FJ, Márquez-Constán J. Enfermedades emergentes y cambio climático frente al desarrollo del sector ganadero en África subsahariana. *Rev Foment Soc.* 2022;77(304):521-540. <https://doi.org/10.32418/rfs.2022.304.5222>
- 53.** Jasrotia R, Dhar M, Langer S. Impactos del cambio climático en la producción animal. In: Ahmed M, editor. *Producción agrícola mundial: resiliencia al cambio climático.* Cham: Springer; 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14973-3_11
- 54.** Dhaka P, Singh A, Gottam G. Impactos directos e indirectos del cambio climático en la producción de ganado lechero. *Indian Farmer.* 2024;11(1):44-49. https://www.researchgate.net/publication/379034985_Direct_and_Indirect_Impacts_of_Climate_Change_on_Dairy_Cattle_Production
- 55.** Ataallah M, Cheon S, Park G, Nugrahaeningtyas E, Jeon J, Park K. Evaluación de los niveles de estrés en ganado lactante: análisis de los residuos de cortisol en productos lácteos comerciales en relación con el índice de temperatura y humedad. *Animals (Basel).* 2023;13(15):2407. <https://doi.org/10.3390/ani13152407>
- 56.** Razzaghi A, Ghaffari M, Rico E. El impacto del estrés ambiental y nutricional en la síntesis de grasa de la leche en vacas lecheras. *Domest Anim Endocrinol.* 2023;83:106784. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2022.106784>
- 57.** Becker C, Piedra A. Revisión de la literatura de estudiantes de posgrado: estrategias de reducción del calor utilizadas para reducir los efectos negativos del estrés térmico en vacas lecheras. *J Dairy Sci.* 2020;103(10):9667-9675. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18536>
- 58.** Das R, Sailo L, Verma N, Bharti P, Saikia J, Imtiwati, et al. Impacto del estrés térmico en la salud y el rendimiento de los animales lecheros: una revisión. *Vet World.* 2016;9:260-268. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.260-268>
- 59.** Zewdu W, Thombre B, Bainwad D. Effect of macroclimatic factors on milk production and reproductive efficiency of Holstein Friesian×Deoni crossbred cows. *J Cell Anim Biol.* 2014;8:51-60. <https://doi.org/10.5897/JCAB2014.0408>
- 60.** Rivadeneira P. Desafíos del cambio climático en la práctica veterinaria: una revisión bibliográfica. *Res Soc Dev.* 2023;12(8):e12812843027. <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i8.43027>
- 61.** Mendoza B, Villalva S, Hernández E, Escalera A, Contreras E. Causas y consecuencias del cambio climático en la producción pecuaria y salud animal. *Rev Mex Cienc Pecu.* 2020;11(Supl 2):126-145. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.4742>
- 62.** Barreiro P. Desafíos del cambio climático en la práctica veterinaria: una revisión bibliográfica. *Res Soc Dev.* 2023;12(8):e12812843027. <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i8.43027>
- 63.** Parashar R. El impacto del cambio climático en la salud animal y las prácticas veterinarias. *Investig Rev Rev Cienc Tecnol Vet.* 2024;13(3):26-30. <https://journals.stmjournals.com/rrjovst/article=2024/view=181638>
- 64.** Akello W. Climate change and veterinary medicine: a call to action for a healthier planet. *F1000Research.* 2024;13:1360. <https://doi.org/10.12688/f1000research.158307.1>
- 65.** Quillon T. Impacto del cambio climático en la salud veterinaria: desafíos e implicaciones. *J Vet Med Health.* 2024;8(5). <https://www.omicsonline.org/open-access/impact-of-climate-change-on-veterinary-health-challenges-and-implications-133605.html>

- 66.** Schiavone C, Smith S, Mazariegos I, Salomon M, Webb T, Carpenter M, et al. Sostenibilidad ambiental en la medicina veterinaria: una oportunidad para los hospitales docentes. *J Vet Med Educ.* 2021;49(2). <https://doi.org/10.3138/jvme-2020-0125>
- 67.** Eissa M. El cambio climático y su impacto en la salud animal: adaptación y migración abordando los riesgos. *Rev Eur Investig Revis Cient.* 2024;1(1):20-42. <https://doi.org/10.5455/EJSRR.20240417024244>
- 68.** Nyokabi NS, Wood J, Gemechu G, Berg S, Mihret A, Lindahl J, Moore HL. El papel del conocimiento sindrómico en el tratamiento del ganado por parte de los veterinarios etíopes. *Front Vet Sci.* 2024;11:1364963. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1364963>
- 69.** Wall E, Simm G. Developing disease resistant farm animals: an integrated approach is needed. *Vet Rec.* 2015;176(10):251-255. <https://doi.org/10.1136/vr.h1107>
- 70.** Thornton P. Livestock production: recent trends, future prospects. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2010;365(1554):2853-2867. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0134>
- 71.** Hristov A, Ott T, Tricarico J, Rotz A, Waghorn G, Adesogan A, et al. Special topics—Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *J Anim Sci.* 2013;91(10):5045-5069. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6583>
- 72.** Steinfeld H, Wassenaar T, Jutzi S. Livestock production systems in developing countries: status, drivers, trends. *Rev Sci Tech Off Int Epiz.* 2006;25(2):505-516. <https://doi.org/10.20506/rst.25.2.1680>
- 73.** Thornton P. Livestock and climate change: global facts and policies for developing countries. In: International Center for Tropical Agriculture (CIAT); 2011. p. 15-20.
- 74.** McMichael A, Woodruff R, Hales S. Climate change and human health: present and future risks. *Lancet.* 2006;367(9513):859-869. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)68079-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)68079-3)
- 75.** Patz J, Campbell-Lendrum D, Holloway T, Foley J. Impact of regional climate change on human health. *Nature.* 2005;438(7066):310-317. <https://doi.org/10.1038/nature04188>
- 76.** Cumming G, Cumming H, Redman C. Scale mismatches in social-ecological systems: causes, consequences, and solutions. *Ecol Soc.* 2006;11(1):14. DOI:10.5751/ES-01569-110114
- 77.** Rockström J, Steffen W, Schellnhuber HJ, Callow J, Bloomfield J, Brauch HG, et al. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science.* 2019;347(6223):1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- 78.** Barnosky A, Hadly E, Bascompte J, Berlow EL, Brown J, Fortelius M, et al. Approaching a tipping point in ecosystem structure and function. *PNAS.* 2012;109(3):673-677. <https://doi.org/10.1073/pnas.1114473109>
- 79.** Rockström J, Lannerstad M, Falkenmark M. Assessing the water challenge of a new climate change agreement. *PNAS.* 2009;106(17):6754-6757. <https://doi.org/10.1073/pnas.0903620106>
- 80.** Steffen W, Richardson K, Rockström J, Cornell SE, Gaffney O, Richardson M, et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science.* 2015;347(6223):1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- 81.** Crootof A, Klinsky C, Zacher H, Hunt G, Jasny B, Klinger C, et al. The ocean/climate nexus: a typology of integrated assessments. *Cambridge Int Law J.* 2016;5(2):374-418. <https://doi.org/10.1017/cilj.2016.24>
- 82.** Galaz V, Biermann F, Folke C, Nilsson M, Olsson P. Global environmental governance and planetary boundaries: an institutionalist perspective. *Ecol Econ.* 2012;82:97-103. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.07.023>
- 83.** Rockström J, Wijkman A. The great acceleration: the economic trajectory of the world in the 21st century. In: Rockström J, Wijkman A, editors. *Bold Ideas on Revolutionary Transformations.* Cambridge: Cambridge University Press; 2015. p. 3-20. https://www.tellus.org/pub/Rockstrom-Bounding_the_Planetary_Future.pdf

- 84.** Jones P, Thornton P. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Glob Environ Chang.* 2003;13(1):51-59. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(02\)00090-0](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(02)00090-0)
- 85.** Jones P, Thornton P. Croppers to livestock keepers: livelihood transitions to 2050 in Africa due to climate change. *Food Secur.* 2009;1(2):247-260. <https://doi.org/10.1007/s12571-009-0024-5>
- 86.** Thornton P, van de Steeg J, Notenbaert A, Herrero M. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: a review of what we know and what we need to know. *Agric Syst.* 2009;101(3):113-127. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.05.002>
- 87.** Seo S, Mendelsohn R. Climate change impacts on animal husbandry in Africa: a Ricardian analysis. In: Behnke R, Mortimore M, editors. *The End of Desertification?* Berlin: Springer; 2016. p. 509-526. https://doi.org/10.1007/978-3-642-16014-1_19
- 88.** Kabubo-Mariara J. Climate change adaptation in livestock sector: a review of empirical evidence. *Weather Clim Extremes.* 2013;1-2:14-26. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2013.07.006>
- 89.** Ben-Ari T, Neerinckx S, Agier L, Cazelles B, Mercader S, Tatem A, et al. Identification of climate-sensitive infectious diseases in animals and humans in Northern regions. *Acta Trop.* 2014;129:61-69. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2013.04.016>
- 90.** Grace D, Lindahl J, Häslar B, Rushton J, Knight-Jones T, Chandler C, et al. One Health: tackling antimicrobial resistance in developing countries. In: *One Health: The Theory and Practice of Integrated Health Approaches.* Wallingford: CABI; 2015. p. 244-256. <https://doi.org/10.1079/9781780643435.0244>
- 91.** Zinsstag J, Schelling E, Waltner-Toews D, Tanner M. From “one medicine” to “one health” and systemic approaches to health and well-being. *Prev Vet Med.* 2011;101(3-4):148-156. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2010.07.003>
- 92.** World Health Organization. Regional Office for Europe. From one health to the sustainable development goals: exploring the transition. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2017. DOI:10.1093/eurpub/ckaa026
- 93.** Mackenzie J, Jeggo M. The One Health approach—why is it so important? *Trop Med Infect Dis.* 2019;4(1):4. <https://doi.org/10.3390/tropicalmed4010004>
- 94.** Cumming G. The scope and significance of scale in ecology. *Curr Opin Environ Sustain.* 2016;19:126-133. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.01.013>
- 95.** Chapin FS, Carpenter SR, Kofinas GP, Folke C, Chapin MC, Chapin III FS, et al. Ecosystem stewardship: sustainability strategies for a rapidly changing planet. *Trends Ecol Evol.* 2010;25(4):241-249. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.10.001>
- 96.** Rittel W, Webber M. Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Sci.* 1973;4(2):155-169. <https://doi.org/10.1007/BF01405730>
- 97.** Folke C, Carpenter S, Walker B, Scheffer M, Chapin T, Rockström J. Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecol Soc.* 2010;15(4):20. https://www.researchgate.net/publication/283432519_Resilience_thinking_integrating_resilience
- 98.** Westley F, Tjornbo O, Schultz L, Westley S, McCormick K, Folke C, et al. A playbook for social innovation: lessons from a multi-case analysis. *Glob Environ Chang.* 2013;23(5):1095-1101. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.07.004>
- 99.** Brown K, Westley F, Carpenter S. Great transformations: introduction to the special feature on exploring the dynamics of social-ecological change. *Ecol Soc.* 2015;20(4):43. <https://doi.org/10.5751/ES-07464-200443>
- 100.** West S, Haigh R, Chaffin B, Krogman N, McClure R, Wapner J, et al. A systems approach to global sustainability: The case of climate change adaptation. In: *Systemic Design.* Tokyo: Springer; 2018. p. 195-216. https://doi.org/10.1007/978-4-319-95273-9_9
- 101.** Park S, Marshall N, Jagtap T, Despins A, Benyeun M, Thornton P, et al. Adapting livestock systems to climate change. In: *Climate Change and Global Food Security.* London: Taylor & Francis; 2013. p. 473-497. <https://doi.org/10.1201/b15482-21>