



El cambio climático y su relación con la emergencia y reemergencia de las enfermedades zoonóticas rabia e influenza aviar. Scoping review

Autoras

Paola Andrea Mosquera López

Karina Rodríguez Hernández

Director

Daniel Alejandro Buitrago Medina

Título por el que optan

Magíster en Salud Pública

Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud

Maestría en Salud Pública

Universidad Del Rosario

Bogotá - Colombia

2025

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá Ana y a David por estar siempre conmigo y en la distancia a Lukas, a quienes amo. Y a mis queridos animalitos Emilio, Donatello, Orión Bigotes, Tygro Ramón y Chitara Petunia.

A mi querida familia multiespecie: A mi madre Nelcy, por su amor inquebrantable y sabiduría; y a mi padre Carlos, cuyo legado y presencia siguen iluminando nuestro camino. A mi hermana Tania, por su constante apoyo, y a mis adorados sobrinos Natys y Carlitos, por su alegría y valentía. A Germán, mi compañero de vida, por su amor, paciencia y fortaleza en cada paso compartido. Y, con especial reverencia, a mis fieles compañeros de cuatro patas: Aurelito, Monetcito, Tsuki, Lilu, Pelusita, Pepita, Pipo, Mamurita, Nucita, Negrurita, Estrellita, Maximilianito, Gazy y Goyito, así como a aquellos seres amados que, habiendo trascendido a otro plano, permanecen vivos en mi memoria y corazón.

TABLA DE CONTENIDO

1.	RESUMEN	5
2.	ANTECEDENTES	6
3.	OBJETIVOS	12
4.	CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN	12
5.	TIPO Y DISEÑO DEL ESTUDIO	14
5.1.	Preguntas secundarias	14
6.	TIPO DE FUENTES	14
6.1.	Estrategia de búsqueda	14
7.	RESULTADOS	19
7.1.	<i>¿Cuáles son las características sociodemográficas de la población afectada por rabia e influenza aviar relacionadas con el cambio climático? (Población)</i>	25
	Rabia	27
	<i>Condiciones sociodemográficas</i>	27
	<i>Clima y mortalidad</i>	28
	<i>Distribución en áreas geográficas y predicción</i>	28
	Influenza aviar	29
	<i>Condiciones sociodemográficas</i>	29
7.2.	<i>¿Cómo influye el cambio climático en la propagación y severidad de las enfermedades zoonóticas como la rabia y la influenza aviar? (Concepto: rabia e influenza aviar)</i>	30
	Rabia	32
	<i>VARIABLES CLIMÁTICAS</i>	32
	<i>Reservorios</i>	32
	<i>Distribución en área geográfica y predicción</i>	37
	Influenza aviar	37
	<i>VARIABLES CLIMÁTICAS Y AMBIENTALES</i>	37
	<i>Posibles efectos en la terapia</i>	38
7.3.	<i>¿Qué variables del cambio climático tienen impacto en la presentación de las zoonosis rabia e influenza aviar? (Contexto: cambio climático)</i>	39
	Rabia	40
	<i>VARIABLES CLIMÁTICAS</i>	40

<i>Reservorios</i>	41
<i>Distribución en área geográfica y predicción</i>	42
Influenza aviar	42
<i>Reservorios</i>	42
<i>Variables climáticas</i>	43
<i>Factores ecológicos</i>	44
8. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y LIMITACIONES	46
9. BIBLIOGRAFÍA	56
10. ANEXOS	61

1. RESUMEN

Antecedentes: La rabia e influenza aviar son zoonosis virales de gran importancia para la salud pública. La rabia provoca cerca de 59.000 muertes humanas anuales, especialmente en África y Asia, donde los perros domésticos son los principales transmisores. En América Latina, los murciélagos hematófagos transmiten la rabia al ganado y, ocasionalmente, a humanos, mientras que en Estados Unidos los murciélagos representan el 70 % de los casos desde 1990. La influenza aviar, causada por virus de alta y baja patogenicidad, genera brotes en aves domésticas y silvestres con graves repercusiones sanitarias, económicas y riesgo de adaptación al ser humano. El cambio climático altera ecosistemas, rutas migratorias e interacciones entre especies, favoreciendo la propagación y la aparición de variantes más peligrosas.

Métodos: Se realizó un scoping review siguiendo las directrices del Joanna Briggs Institute (JBI, 2020) para describir la relación entre cambio climático y la reemergencia de la rabia y la influenza aviar. Se buscaron estudios en PubMed, Embase, BVS, PAHO-BVS y Google Scholar. Los datos se organizaron según la estrategia Población–Concepto–Contexto (PCC) y se sintetizaron de manera narrativa y visual.

Resultados: Se revisaron 20 artículos que señalan factores climáticos —como aumento de temperatura, variación en las precipitaciones y eventos extremos— asociados en la literatura con cambios en la distribución de reservorios animales y patrones de transmisión. La evidencia proviene de pocos países, con publicaciones escasas y dispersas. Algunos estudios indican que el cambio climático agrava condiciones sociales y ambientales preexistentes, como pobreza y vulnerabilidad de comunidades humanas y animales, lo que incrementa su susceptibilidad y reduce su capacidad de respuesta.

Discusión: Los hallazgos mapean la evidencia y muestran que, aunque algunos estudios sugieren asociaciones entre variables climáticas y la dinámica de la rabia y la influenza aviar, la información sigue siendo limitada, fragmentada y concentrada en pocos contextos. La literatura también señala que el cambio climático agrava factores como pobreza, desigualdad y vulnerabilidad, dejando a comunidades humanas y animales menos preparadas. Esto refuerza la necesidad de un enfoque Una Salud, con vigilancia integrada, investigación interdisciplinaria y políticas basadas en evidencia.

2. ANTECEDENTES

En la actualidad el planeta cursa por una transformación generada y acelerada por la actividad humana que ha llevado al estrés ambiental y deterioro del equilibrio entre los seres vivos y los diferentes agentes etiológicos de las enfermedades (1) donde las zoonosis, rabia e influenza aviar resultan especialmente impactadas. La relación entre cambio climático con el medio ambiente, las enfermedades zoonóticas, el clima y el impacto humano resulta ser muy compleja y a hoy en muchos aspectos escasamente estudiada. (2)

Con relación al cambio climático y medio ambiente, al aumentarse la temperatura por efecto del primero, se genera la alteración de los ecosistemas y el desplazamiento de especies animales, lo que favorece la emergencia de enfermedades zoonóticas. Así mismo, los cambios en los patrones climáticos influyen en la distribución de reservorios de enfermedades (murciélagos, aves, zorros), lo que aumenta el riesgo de contacto con humanos y animales domésticos. La rabia y la influenza aviar son enfermedades zoonóticas influenciadas también por los cambios ambientales, donde factores como el clima y la migración animal influyen en la transmisión de estas enfermedades. Es importante señalar que el cambio climático también puede afectar la biología de los virus, favoreciendo su diseminación. (3)

Una zoonosis, es una enfermedad infecciosa que ha pasado de un animal a humanos. Los patógenos zoonóticos pueden ser bacterias, virus, parásitos o agentes no convencionales que pueden propagarse a los humanos por contacto directo o a través de los alimentos, el agua o el medio ambiente. Las zoonosis representan un importante problema de salud pública en todo el mundo debido a nuestra estrecha relación con los animales en el medio agrícola, la vida cotidiana (animales de compañía) y el entorno natural, con posibilidad de causar alteraciones en la producción y el comercio de productos de origen animal destinados a la alimentación y otros usos (OMS, 2020).

La distribución de las enfermedades zoonóticas en general está determinada por un conjunto complejo de factores demográficos, medioambientales, sociales y de política pública, entre otros, que sumados entre sí influyen en la presentación, tendencias, perfiles y los comportamientos epidemiológicos, situaciones que podrían ser medidas o cuantificadas. De acuerdo con los agentes etiológicos implicados en las zoonosis e inclusive las enfermedades transmitidas por vectores, se pueden agrupar algunas de estas de acuerdo con la Tabla 1

Tabla 1. Enfermedades zoonóticas y transmitidas por vectores clasificadas por grandes grupos de agentes etiológicos.

Bacterias	Virus	Parásitos	Hongos	Agentes no convencionales
Leptospirosis Brucelosis Rickettsia (Fiebre maculosa, fiebre Q) Salmonelosis Listeriosis Enfermedad de Lyme (Borreliosis) Tuberculosis bovina Peste Tifus murino Cólera Disentería Peste bubónica Fiebre recurrente transmitida por piojos	Rabia Rabia Encefalitis virales (EEE, EEV, EEO, ENO) Ébola Arenavirus (Junín, Machupo, Guanarito y Sabia - Congo Crimea) Zika SARS Influenza aviar H5N1 Encefalitis virus Nipah Hantavirus Fiebre amarilla Chikungunya Dengue Mayaro COVID - 19	Malaria Leishmania Ácaros (Sarcoptes) Infección con tenias - hymenolepsis - Hymenolepiasis Toxocariosis Toxoplasmosis Filariasis linfática Esquistosomiasis (bilharziasis) Oncocercosis Tungiasis Enfermedad de Chagas Enfermedad del sueño	Cryptococcus Trichophyton mentagrophytes Microsporium canis	Priones

Fuente: elaborado a partir de Enfermedades transmitidas por vectores, OMS. 2024. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases?utm_source=chatgpt.com

Manual de MSD. Enfermedades zoonóticas. 2024. <https://www.msdsvetmanual.com/public-health/zooses/zoosotic-diseases>

Rupasinghe y colaboradores, mencionan que el cambio climático y las variaciones geoclimáticas están alterando la epidemiología de estas enfermedades zoonóticas y transmitidas por vectores al modificar la dinámica de huéspedes, vectores y patógenos, así como sus interacciones. Mediante la evaluación de modelos climáticos, en 2022 proyectaron una posible expansión geográfica y un aumento en la gravedad de zoonosis transmitidas por vectores, agua, alimentos, roedores y aire. Sin embargo, persisten lagunas de conocimiento que requieren más investigación para comprender plenamente estos cambios, como sistemas fragmentados de vigilancia e intercambio de datos entre salud humana, animal y ambiental; mecanismos multisectoriales débiles; falta de evaluaciones conjuntas de riesgos; ausencia de monitoreo y evaluación sistemáticos; y una capacidad técnica aún insuficiente en el enfoque One Health. (4) Por lo anterior, entender el impacto del cambio climático en la aparición y distribución de zoonosis es crucial para planificar estrategias efectivas de mitigación y adaptación. (5)

Respecto al término Cambio climático (que en el presente trabajo se entenderá como el término Contexto), en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, es definido como "... un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera

global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables...” (6)

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud - OMS, entre 2030 y 2050 se estima que el cambio climático causará 250.000 muertes adicionales cada año. (7)

Numerosas variables biológicas, ambientales y antrópicas como sobrepoblación, migración poblacional, deforestación, emisión de combustibles fósiles, educación, temperatura global, sistemas económicos, productivos y de desarrollo asociadas al cambio climático, son determinantes en la proliferación y propagación de las enfermedades, aspectos a considerar para su inclusión en los análisis y modelos predictivos de las zoonosis, adicional a las variables biológicas y de los agentes etiológicos históricamente empleadas en estos abordajes en Colombia. (8)

Los efectos del cambio climático se describen como directos e indirectos, que en el caso de las zoonosis y las ETV, los efectos indirectos resultan más relevantes, ya que se reconoce que *“Los cambios globales del cambio climático provocan condiciones que afectan de manera indirecta a la salud humana. Los eventos extremos del clima pueden crear escenarios diferentes a los habituales que favorezcan la propagación de agentes infecciosos, tanto los que se transmiten a través de vectores como los que lo hacen por alimentos y agua”*. (9)

Teniendo en cuenta la definición de cambio climático realizada por la Convención Marco de la Naciones Unidas, es posible dividir los factores asociados al mismo de dos maneras, y dentro de este mismo identificar subdivisiones que serán de mayor interés para este trabajo. (Tabla 2)

Tabla 2. Clasificación de los factores asociados al cambio climático

Cambio climático de origen humano	Clima y variaciones naturales
<ul style="list-style-type: none"> • Gran Aceleración (impulso a las industrias y al consumo de productos que requieren procesos tecnificados). • Emisión de gases. • Efecto de invernadero. • Combustibles fósiles. • Incremento de las industrias (producción de plástico). • Desarrollo de las ciudades e infraestructura. • Consumo de recursos y uso en diario vivir. • Producen aceleración de cambios atmosféricos, hidrosfera y litosfera. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fenómenos de variabilidad climática interanual (tormentas, sequías). • Cambio en la temperatura y precipitación de una región • Pueden ser mitigadas o adaptadas para tomar medidas correctivas. • Pueden ser estacional, interestacional, interanual, interdecadal

Fuente: Construcción propia del autor.

Dentro de los efectos globales del cambio climático de origen humano podemos encontrar que a medida en que aumente la temperatura en el planeta, podrán presentarse impactos adversos sobre el agua, la salud, los ecosistemas y otros efectos, cuatro escenarios que se describen en la Tabla 3:

Tabla 3. Los efectos globales del cambio climático de acuerdo con el aumento de diversos grados de temperatura.

Aumento de la temperatura	Agua	Alimento	Salud	Tierra	Ambiente	Impactos abruptos y de gran escala
1°C	Pequeños glaciares en los Andes desaparecen completamente, agua amenazante suministros para 50 millones de personas.	Modestos incrementos en rendimientos de cereales en regiones templadas.	Al menos 300.000 personas cada año morir de enfermedades relacionadas con el clima (predominantemente diarrea, paludismo, y desnutrición). Reducción en invierno mortalidad en mayores latitudes (norte Europa, Estados Unidos).	La descongelación del permafrost daña edificios y carreteras en partes de Canadá y Rusia.	Al menos el 10% de la tierra especies enfrentadas extinción (Según uno estimar) 80% de blanqueo de los arrecifes de coral, incluyendo gran Barrera de Coral.	La circulación termohalina del atlántico comienza a debilitarse.
2°C	Disminución potencial en la disponibilidad de agua del 20 - 30% en algunas regiones vulnerables, p.ej. África del Sur y mediterráneo.	Caídas fuertes en los rendimientos de cultivos en regiones tropicales (5 - 10% en África).	40 - 60 millones más personas expuestas a paludismo en África.	Hasta más de 10 millones de personas afectadas por inundaciones en las costas cada año.	*15 - 40% de las especies en peligro de extinción (Según estimaciones) *Alto riesgo de extinción de especies en el ártico, incluyendo el oso polar y caribú	Potencial comienzo de derretimiento irreversible de la Capa de hielo de Groenlandia, acelerando la subida del nivel del mar y comprometiendo al mundo a una eventual subida de nivel del mar de 7 m.
3°C	En el sur de Europa, van a ocurrir sequías graves una vez cada 10 años. 1 - 4 mil millones más de personas sufren escasez de agua, mientras que 1 - 5 mil millones ganan agua, que puede aumentar el riesgo de inundación.	150 - 550 millones de más en riesgo de hambre (si la fertilización en carbono es débil). Probables rendimientos agrícolas en latitudes más altas que alcanzan su punto máximo.	1 - 3 millones más de personas mueren por desnutrición (si la fertilización con carbono es débil).	1 - 170 millones más personas afectadas por inundación costera cada año.	*20 - 50% de las especies en peligro de extinción (Según estimaciones), incluyendo 25 - 60% mamíferos, 30 - 40% aves y 15 - 70% mariposas en Sudáfrica. *Inicio del colapso del bosque del Amazonas (solo algunos modelos).	Aumento abrupto del riesgo de cambios en las circulaciones atmosféricas, por ej. el monzón.
4°C	Potencial disminución del 30 - 50% en la disponibilidad de agua en África del Sur y Mediterráneo.	Disminución en los rendimientos agrícolas en un 15 - 35% en África, y todas las regiones fuera de producción (por ej. partes de Australia).	Hasta más de 80 millones de personas expuestas a la malaria en África.	7 - 300 millones más personas afectadas por inundación costera cada año.	*Pérdida de alrededor de la mitad de la Tundra ártica. *Alrededor de la mitad de todas las reservas de la naturaleza del mundo no podrán cumplir objetivos.	Riesgo creciente de colapso de la capa occidental del hielo del antártico. Riesgo creciente de colapso de la circulación termohalina del atlántico.
5°C	Posible desaparición de grandes glaciares en Himalaya, afectando una cuarta parte de la población de China y cientos de millones en India.	Aumento continuo en la acidez del océano seriamente perturbando ecosistemas marinos y posiblemente pescado cepo.		Aumento del nivel del mar que amenaza pequeñas islas, áreas costeras bajas (Florida) y en ciudades grandes del mundo como Nueva York, Londres, y Tokio.		

Más de 5°C

La ciencia más reciente sugiere que la temperatura promedio de la Tierra aumentará incluso más de 5 o 6 °C si las emisiones continúan creciendo y las retroalimentaciones positivas amplifican el efecto de calentamiento de los gases de efecto invernadero (por ejemplo, la liberación de dióxido de carbono de los suelos o el metano del permafrost). Este nivel de aumento de la temperatura global sería equivalente a la cantidad de calentamiento que se produjo entre la última era y la actualidad, y es probable que provoque una gran perturbación y un movimiento de población a gran escala. Tales efectos "socialmente contingentes" podrían ser catastróficos, pero son actualmente es muy difícil de capturar con los modelos actuales ya que las temperaturas estarían muy lejos de la experiencia humana.

Nota: Esta tabla muestra impactos ilustrativos en diferentes grados de calentamiento. Parte de la incertidumbre se captura en los rangos que se muestran, pero habrá incertidumbres adicionales sobre el tamaño exacto de los impactos (más detalles en el Recuadro 3.2). Las temperaturas representan aumentos en relación con los niveles preindustriales. En cada temperatura, los impactos se expresan para una banda de 1°C alrededor de la temperatura central, p. 1°C representa el rango 0,5 – 1,5°C, etc. Números de personas afectadas a diferentes temperaturas asumen escenarios de población y PIB para la década de 2080 del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). Las cifras generalmente asumen la adaptación a nivel de un individuo o empresa, pero no adaptaciones en toda la economía debidas a la intervención de políticas (abordadas en la parte V).

Fuente: Adaptado del informe Stern (2006). https://grist.org/wp-content/uploads/2006/11/sternreview_report_part2.pdf

Específicamente para la rabia, con el cambio climático se observa que sus reservorios, como los murciélagos, se ven afectados por el clima, lo que modifica su comportamiento y aumenta el riesgo de transmisión a humanos. Diversos estudios evidencian que el cambio climático está modificando la ecología de los murciélagos, reservorios clave del virus de la rabia en América Latina. En particular, el murciélago vampiro común (*Desmodus rotundus*) ha ampliado su rango geográfico debido al aumento de temperaturas y a la mayor estabilidad climática, colonizando zonas que antes no habitaba. Estos cambios en su comportamiento y distribución incrementan las interacciones con humanos y animales domésticos, lo que eleva el riesgo de transmisión del virus y plantea nuevos desafíos para la vigilancia y prevención de la rabia. (10) Esto resulta más crítico en zonas rurales y urbanas con menos acceso a servicios veterinarios y a un insuficiente sistema de vigilancia epidemiológica activa y pasiva en salud humana y animal, que puede generar un riesgo de aumento de la rabia en estos lugares. (11)

En países como Colombia, existe una problemática asociada a la transmisión de rabia de origen silvestre a humanos, en la que el gato actúa como intermediario entre los ciclos silvestre y urbano. Los gatos contraen la enfermedad al entrar en contacto con murciélagos, particularmente hematófagos, debido a su comportamiento de caza. Los últimos casos de rabia humana han identificado a los gatos como agresores, especialmente en zonas con bajas o nulas coberturas de vacunación antirrábica y con sobrepoblación de perros y gatos. (12)

El cambio climático afecta las rutas migratorias de las aves, que son reservorios de la influenza aviar, facilitando la aparición de brotes en nuevas áreas. En el mismo sentido, la alteración de hábitats acuáticos y limitada o escasa disponibilidad de agua, resultan ser factores clave que influyen en la transmisión del virus. (13)

En Colombia el primer registro de influenza aviar fue en septiembre de 2022 en aves de traspatio que ingresó por la parte norte del país en los límites con Panamá (Chocó), y se

extendió a la región atlántica (Córdoba, Bolívar, Sucre y Magdalena) (14), situación que puede explicarse por la propagación del virus H5N1 desde Europa hacia América del Norte y su posterior avance hacia América del Sur a través de las rutas migratorias de aves silvestres. En 2021 y 2022, brotes masivos en Europa y América del Norte facilitaron su difusión intercontinental. Durante el invierno boreal, las aves migratorias transportaron el virus desde Norteamérica hasta Sudamérica, con Colombia como un punto estratégico de ingreso. La presencia de ecosistemas propicios y aves de traspasamiento con medidas de bioseguridad limitadas favorecen su establecimiento y transmisión. Además, la evolución del virus ha aumentado su capacidad de adaptación, lo que ha potenciado su propagación a nuevas regiones y especies como los mamíferos dentro de los que se encuentran los bovinos lecheros en Norteamérica y silvestres como leones marinos.

Las actividades humanas generalmente conllevan a la deforestación y urbanización e incrementan la posibilidad de interacción entre seres humanos y animales y con ellos, aumentan el riesgo de contraer enfermedades zoonóticas. (15) Así mismo a medida que la población humana crece, lo hace también la demanda de la explotación animal, que, en el marco de la producción industrial de animales, favorece la propagación de patógenos. (16)

La tendencia mundial de que la rabia afecta desproporcionadamente a poblaciones en condiciones de pobreza, quienes además enfrentan mayores riesgos climáticos y ambientales, tal como se relaciona en el informe *“Conexión de las prioridades globales: biodiversidad y salud humana: una revisión del estado del conocimiento”* (17) que explora la interconexión entre la biodiversidad, los ecosistemas y la salud humana. En particular, destaca cómo los cambios climáticos y las catástrofes ambientales (como inundaciones y sequías) afectan desproporcionadamente a las comunidades más pobres y con mayor desigualdad socioeconómica. Además, analiza cómo estas alteraciones ambientales aumentan el contacto entre humanos y animales, elevando el riesgo de enfermedades zoonóticas, como la rabia.

Por lo descrito anteriormente, es relevante realizar esta investigación dado que el cambio climático y las enfermedades zoonóticas se consideran áreas emergentes de investigación, por lo que una scoping review resulta útil para la exploración inicial de la literatura existente, identificando necesidades, vacíos de información y posibles interrelaciones de los elementos mencionados previamente y otros de interés.

Cuando se amplía, actualiza e interrelaciona el conocimiento y la comunicación entre las diferentes disciplinas y actores, se generan insumos que pueden ser empleados en el marco de la salud pública, ayudando a anticipar y mitigar el impacto de estas enfermedades emergentes.

En este scoping review se eligieron la rabia y la influenza aviar como ejemplos representativos para explorar cómo el cambio climático influye en la emergencia y reemergencia de enfermedades zoonóticas. La rabia, aunque prevenible, sigue siendo un desafío en fauna silvestre; mientras que la influenza aviar H5N1, recientemente introducida en América, genera preocupación por su letalidad y potencial pandémico. Ambas enfermedades reflejan los efectos de las alteraciones ambientales sobre la salud pública y refuerzan la importancia de fortalecer la vigilancia, la prevención e investigación desde un enfoque Una Salud.

3. OBJETIVOS

Objetivo general

Describir la extensión, variedad y naturaleza de la evidencia relacionada con la contribución del cambio climático en el aumento o emergencia de las enfermedades zoonóticas rabia e influenza aviar.

Objetivos específicos

- Caracterizar las poblaciones afectadas por rabia o influenza aviar, en el escenario de variabilidad climática.
- Describir la influencia de las características climáticas en la propagación y severidad de la rabia y la influenza aviar
- Explorar la modificación en las variaciones en magnitud, propagación y severidad de rabia e influenza aviar.

El propósito global de la presente investigación es examinar cómo el cambio climático modifica la emergencia de las enfermedades zoonóticas rabia e influenza aviar, a través de un scoping review que identifique factores de riesgo y vacíos de conocimiento, ejercicio que resulta útil en la generación de evidencia para el contexto actual.

4. CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

El trabajo de grado se desarrolla teniendo presente la orientación metodológica actualizada para la realización de revisiones de alcance (en inglés, scoping review) realizada por el Grupo de Metodología de Revisión de Alcance del Joanna Briggs Institute – JBI (18), documento en línea con lo señalado en PRISMA-ScR (19) específico para las revisiones de

alcance publicado en 2018, ambos documentos, tienen entre otros objetivos, ayudar a determinar si se justifica una revisión sistemática de la literatura. (Ilustración 1)

Ilustración 1. Pasos para la realización de un scoping review.



Fuente: Elaborado a partir de la información del documento Orientación metodológica actualizada para la realización de revisiones de alcance. Disponible en:

https://journals.lww.com/ibisrir/fulltext/2020/10000/updated_methodological_guidance_for_the_conduct_of.4.aspx

Para la investigación desde el abordaje cuantitativo, se incluyeron artículos y estudios de cualquier tipo de diseño epidemiológico, investigación primaria y secundaria, en todos los idiomas para el periodo que estuviera disponible sin restricción de para el año de inicio y hasta 2024.

Las publicaciones debían abordar alguna de las dos zoonosis en estudio y analizar su posible relación con variables indicadoras de cambio climático (precipitación, humedad o temperatura), incorporando un análisis cuantitativo de dicha asociación.

Se excluyeron las revisiones narrativas, artículos de opinión, editoriales y demás publicaciones que no abordaran de forma explícita las variables climáticas o la ocurrencia de rabia e influenza aviar.

5. TIPO Y DISEÑO DEL ESTUDIO

Se elaboró un estudio secundario, de revisión sistemática de la literatura, tipo scoping review, con el objetivo de abordar la pregunta de investigación *¿Cuál es la relación del cambio climático con la emergencia y reemergencia de las enfermedades zoonóticas rabia e influenza aviar?* Para formular la pregunta anterior, se siguió la estructura PCC propuesta por JBI para scoping review, de la siguiente manera:

- Población - P: Población humana mundial.
- Concepto – C: rabia e influenza aviar
- Contexto – C: el efecto del cambio climático en el incremento de las zoonosis rabia e influenza aviar.

5.1. Preguntas secundarias

Las preguntas secundarias en un scoping review son preguntas adicionales que complementan la pregunta principal y permiten explorar aspectos clave frente al tema, dentro de las cuales se proponen las siguientes:

- **Población – P (Población humana mundial):** *¿Cuáles son las características sociodemográficas de la población afectada por rabia e influenza aviar relacionadas con el cambio climático? (sexo, lugar, estrato socioeconómico, etc.).*
- **Concepto – C (rabia e influenza aviar):** *¿Cómo influye el cambio climático en la propagación y severidad de la rabia y de la influenza aviar? (modificaciones que ocurren en la magnitud y distribución de rabia e influenza aviar en función de las variables climáticas).*
- **Contexto – C (cambio climático):** *¿Qué variables del cambio climático tienen impacto en la presentación de rabia e influenza aviar? (variables climáticas relacionadas con cambio climático que probablemente modifican la magnitud y distribución de la rabia e influenza aviar).*

6. TIPO DE FUENTES

6.1. Estrategia de búsqueda

En primera instancia se definieron para los términos Población, Concepto y Contexto – PCC los siguientes: (Tabla 4)

Tabla 4. Términos empleados para la realización de la búsqueda bibliográfica.

	POBLACIÓN Población mundial	CONCEPTO Rabia e Influenza aviar	CONTEXTO Cambio climático
Lenguaje controlado	Población mundial No se define una población en particular ya que en su conjunto la población mundial tiene un riesgo similar de verse afectada por zoonosis.	Rabia: "Rabies", "Rabies virus" Influenza Aviar "Avian influenza"	Cambio climático "Climate change"

Fuente: Elaborado a partir de la revisión de términos MeSH para el presente documento.

Se realizó *búsqueda en las bases de datos* de Pubmed, Embase, BVS Biblioteca Virtual en Salud - Descriptores en Ciencias de la Salud (DeCS), PAHO – Biblioteca Virtual en Salud y *búsqueda manual* con la herramienta de Google scholar. El proceso de búsqueda en cada base de datos incluye las palabras clave, los términos MeSH u otro según la base de datos y la estrategia de búsqueda, así como, la búsqueda manual desarrollada.

Pubmed

Se efectuó búsqueda de acuerdo con la delimitación de los términos MeSH de los *conceptos* rabia e influenza aviar y del *contexto* cambio climático. (Tabla 5)

Tabla 5. Lenguaje controlado "MeSH", texto libre y filtros de acuerdo con la población sujeto, concepto y contexto del estudio en búsqueda por Pubmed.

Palabras clave	MeSH	OR	AND
Rabia	"Rabies"[Mesh] "Rabies virus"[Mesh]	"Rabies"[Mesh] OR "Rabies virus"[Mesh]	("Climate Change"[Mesh]) AND (((("Rabies"[Mesh] OR "Rabies virus"[Mesh]) OR ("Rabies"[Mesh] OR "Rabies virus"[Mesh])) OR ("Influenza in Birds"[Mesh] OR "Influenza A Virus, H5N1 Subtype"[Mesh]))
Influenza aviar	"Influenza in Birds"[MeSH Terms] "influenza a virus, h5n1 subtype"[MeSH Terms]	("Influenza in Birds"[Mesh]) OR "Influenza A Virus, H5N1 Subtype"[Mesh]	
Cambio climático	"Climate Change"[MeSH Terms]	Climate Change[MeSH Terms]	

Fuente: Consulta en la base de Pubmed.

Embase

En las consultas efectuadas en Embase se definieron los términos Emtree de búsqueda, para los conceptos relacionados con rabia e influenza aviar (concepto) y para los asociados a cambio climático (contexto).

Posteriormente fueron cruzadas ambas búsquedas para encontrar aquellos artículos que relacionaran aspectos de las dos zoonosis objeto de esta revisión con el tema de cambio climático. (Tabla 6)

Tabla 6. Lenguaje controlado “EMTREE”, texto libre y filtros de acuerdo con la población sujeto, concepto y contexto del estudio en búsqueda por Embase.

Palabras clave	MeSH	OR	AND
Rabia	rabies'OR rabies 'rabies virus' OR 'rabies virus'	#17 OR #18 OR #19 OR #20 OR #21	#14 AND #15
Influenza aviar	avian influenza"influenza a virus (h5n1) 'avian influenza virus'		
Cambio climático	climate change'		

Fuente: Consulta en la base de Embase.

Biblioteca Virtual en Salud - Descriptores en Ciencias de la Salud (DeCS)

Se realizó una búsqueda a partir de los términos DeCS definidos y seleccionados previamente con las temáticas del presente trabajo. (Tabla 7)

Tabla 7. Lenguaje controlado “DeCS”, texto libre y filtros de acuerdo con la población sujeto, concepto y contexto del estudio en búsqueda por Biblioteca Virtual en Salud.

Palabras clave	MeSH	OR	AND
*Rabia / Rabies / Raiva *Virus de la Rabia / Rabies virus / Vírus da Raiva	(mh:("Rabia")) (mh:("Virus de la Rabia"))	((mh:("Rabies"))) OR ((mh:("Rabies virus"))) OR OR ((mh:("Influenza in Birds"))) OR ((mh:("Influenza A Virus, H5N1 Subtype")))	(((mh:("Rabies"))) OR ((mh:("Rabies virus"))) OR ((mh:("Influenza in Birds"))) OR ((mh:("Influenza A Virus, H5N1 Subtype")))) AND ((mh:("Climate Change")))
*Gripe Aviar / Influenza in Birds / Influenza Aviária *Subtipo H5N1 del Virus de la Influenza A / Influenza A Virus, H5N1 Subtype / Virus da Influenza A Subtipo H5N1	(mh:("Gripe Aviar")) (mh:("Subtipo H5N1 del Virus de la Influenza A"))		
Cambio Climático / Climate Change / Mudança Climática	(mh:("Cambio Climático"))		

Fuente: Consulta en la base de Biblioteca Virtual en Salud - Descriptores en Ciencias de la Salud (DeCS).

Google scholar (Búsqueda manual)

Desarrollado a partir de información obtenida en exploración de la herramienta de Google scholar al integrar el concepto de cambio climático asociado a las zoonosis de rabia e influenza aviar. (Tabla 8)

Tabla 8. Lenguaje controlado “MesH”, texto libre y filtros “AND” de acuerdo con la población sujeto, concepto y contexto del estudio en búsqueda por Google scholar.

Concepto	Palabras clave	MesH	OR	AND
Zoonosis	*Rabia / Rabies / Raiva *Virus de la Rabia / Rabies virus / Vírus da Raiva	Rabies Rabies virus		"RABIES" AND "CLIMATE CHANGE" "Rabies virus" AND "CLIMATE CHANGE"
	*Gripe Aviar / Influenza in Birds / Influenza Aviária *Subtipo H5N1 del Virus de la Influenza A / Influenza A Virus, H5N1 Subtype /	Influenza in Birds Influenza A Virus, H5N1 Subtype	---	**"Influenza in Birds" AND "CLIMATE CHANGE" **"Influenza A Virus, H5N1 Subtype" AND "CLIMATE CHANGE"
Cambio climático	Cambio Climático / Climate Change / Mudança Climática	Climate Change	---	---

Fuente: Consulta manual en Google scholar.

En el proceso de búsqueda se utilizó la herramienta web Rayyan para agilizar la revisión de la literatura y facilitar el trabajo colaborativo en línea de manera remota en las etapas de selección, revisión, lectura y exclusión de artículos, conforme a los criterios de inclusión y exclusión definidos en el presente protocolo. La verificación de los artículos incluidos se realizó de forma independiente por cada una de las investigadoras.

Una vez finalizada la revisión en Rayyan, los artículos sobre los que no hubo acuerdo respecto a su inclusión o exclusión fueron reevaluados, definiendo la decisión final por consenso entre las investigadoras.

a. Selección

A partir de la lectura de los resúmenes de cada artículo, fue tomada la decisión de incluir, descartar o postergar la inclusión de la publicación, todo esto de acuerdo con los pasos o puntos descritos en el documento “Extensión PRISMA para revisiones de alcance (PRISMA-ScR): lista de verificación y explicación”. (20)

Para ello, en primer lugar, se identificaron artículos elegibles mediante una búsqueda manual en internet (Google académico) y en bases de datos. En una segunda etapa, se revisaron los aspectos de concordancia entre el objetivo del presente documento y la descripción general del título y resumen de cada artículo. A continuación, se aplicaron criterios de elegibilidad (tamización) basados en la inclusión de los términos PCC.

Finalmente, se llevó a cabo la inclusión definitiva tras la lectura completa de los artículos seleccionados, lo que permitió a partir de la construcción de una matriz en Excel, la extracción de información relevante para responder la pregunta de investigación.

b. Extracción de datos

Para la extracción de los datos se realizó una matriz en Excel en la que a partir de la pregunta PCC se definieron las variables de interés que dieron cuenta del desarrollo y conclusión para cada uno de los objetivos propuestos. Se realizó lectura completa de cada una de las publicaciones seleccionadas y extracción de información en consonancia, con diferentes secciones que incluyeron ítems como la identificación de cada artículo frente a aspectos bibliométricos (nombre, autor, revista, año, título) y un abordaje según los términos de Población-Contexto y Concepto – PCC, tal como se muestra a continuación: (Tabla 9)

Tabla 9. Matriz en Excel para la extracción de la información de las publicaciones de acuerdo con la identificación general y los aspectos de Población, Contexto y Concepto – PCC.

Publicación	Características de la población (P)	Características del contexto (Cambio climático)	Características del concepto (C)
ID del estudio. Autor. Revista. Título. DOI/PMID. Año. País. Objetivo. Tipo de estudio. Metodologías o modelos.	País. Ciudad/Área. Tiempo de estudio. Fuente de los datos. Casos humanos. Características socioeconómicas (unidades de medida). Características demográficas (unidades de medida). Casos animales (unidades de medida). Otras variables.	Variables de cambio climático (unidades de medida). Fuente de los datos. Causas de Cambio climático.	Enfermedad. Mediciones. Tipo análisis. Especie animal relacionada. Resultados o relaciones. Limitaciones. Recomendaciones. Covariables o variables adicionales. Mecanismos (unidades de medida)

Fuente: Tomado de la matriz de organización del trabajo del presente documento.

c. Análisis de datos

Para este paso se realiza una organización exhaustiva de los datos preliminares obtenidos, los cuales se someten a un análisis cualitativo y descriptivo. Este análisis permite identificar patrones y tendencias en la información recolectada. Los datos son clasificados en categorías previamente definidas y priorizados en función de su relevancia para los objetivos del estudio. A continuación, se procede a identificar la información clave que

puede proporcionar respuestas a las preguntas de investigación planteadas. Este proceso de análisis temático se estructura en torno a las diversas categorías o secciones de la matriz de extracción de información referenciada previamente, tales como la clasificación de los datos por países, los periodos o años analizados, datos epidemiológicos, las limitaciones encontradas, y la calidad de las publicaciones revisadas. Para el análisis cualitativo se procedió a interpretar los hallazgos referenciados en la tabla entregando párrafos resumen del contenido de la matriz de extracción.

Finalmente, toda esta información se organiza utilizando técnicas de visualización de datos, lo que facilita su interpretación y permite una mejor comprensión de los resultados obtenidos.

7. RESULTADOS

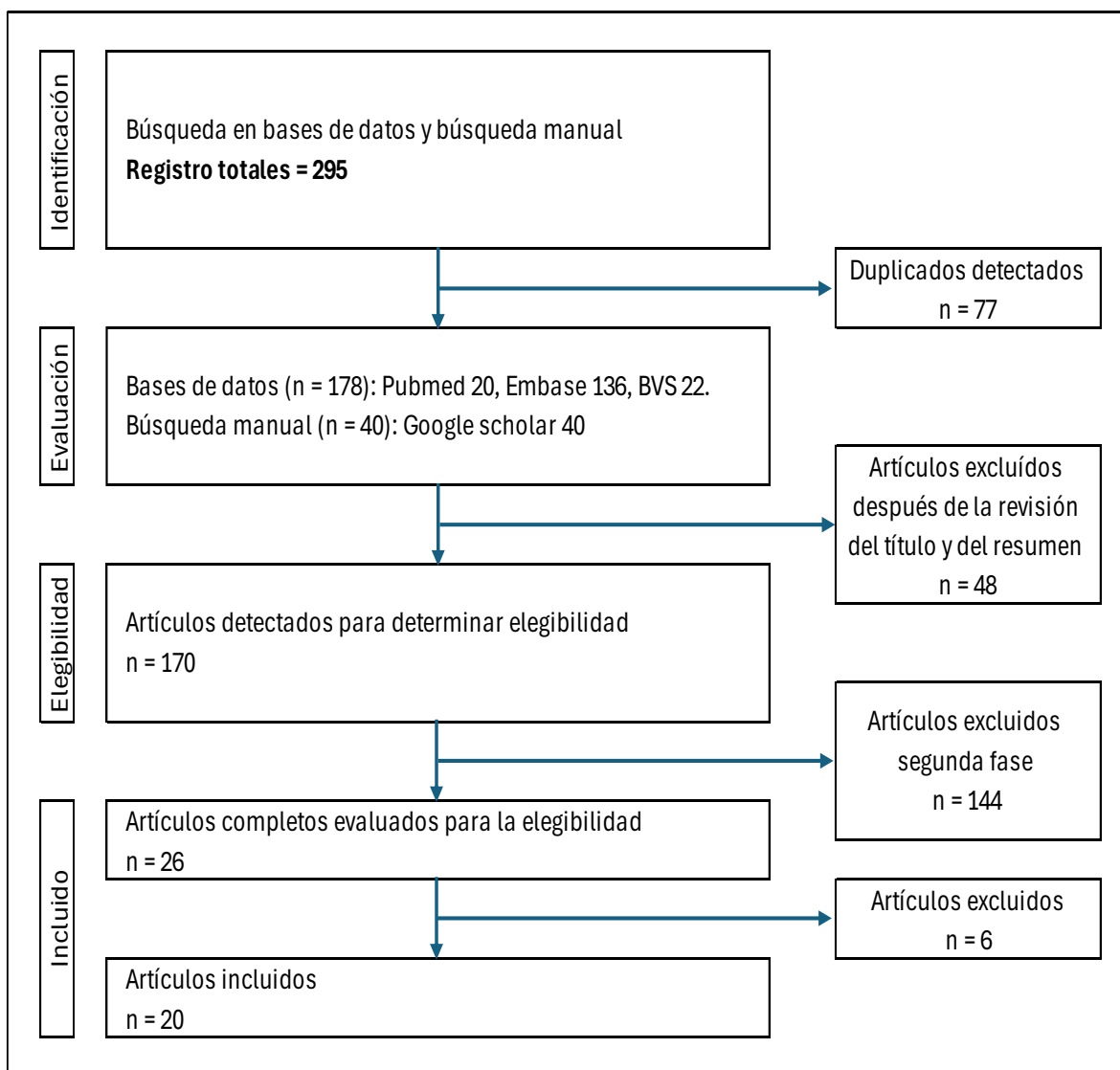
En el punto de **identificación** se obtuvieron 218 artículos, de los cuales el 81,6% (n=178) se recabaron a través de búsqueda en bases de datos y un 18,4% (n=40) por modalidad manual. Como se mencionó previamente, se empleó la herramienta Rayyan que señaló un total de 77 artículos como duplicados.

En el punto de **evaluación**, de acuerdo con la información brindada en el título y resumen de cada artículo, se procedió a la exclusión de 48 estos.

Para la **elegibilidad (tamización)**, se parte de un total de 170 artículos donde se verifica la posibilidad de contener los conceptos globales de la población, el contexto y el concepto de la presente revisión de alcance, siendo excluidos 144 artículos más.

Finalmente, se realizó la lectura completa de las publicaciones **incluidas**, revisando en detalle 26 artículos de los cuales se excluyen 6, dando como resultado un total de 20 artículos objeto de esta revisión. Esta última exclusión asociada a publicaciones que eran reseñas o póster, sin aspectos metodológicos ni resultados. (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

Figura 1. Diagrama de Flujo PRISMA para el scoping review

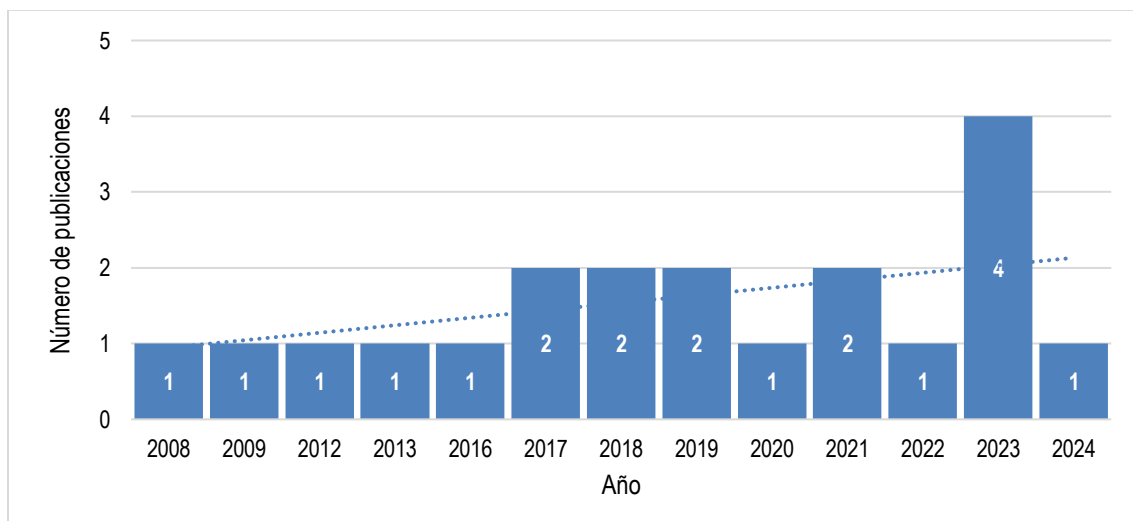


Fuente: Elaborado a partir de la Extensión PRISMA para revisiones de alcance (PRISMA-Scr): lista de verificación y explicación <https://www.acpjournals.org/doi/10.7326/M18-0850>

De acuerdo con la cantidad de publicaciones **por año** en la que se hace alguna referencia al posible efecto del cambio climático sobre la presentación de rabia y de influenza aviar, se aprecia que se cuenta con 16 años contados a partir de 2008 hasta 2024 en los que se ha realizado alguna publicación frente al tema con un promedio de 1,5 publicaciones anuales y con una tendencia leve al aumento, no obstante, la cifra se ha mantenido entre 1 a 4

artículos por año, siendo el 2023 cuando más se reportaron este tipo de estudios. (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

Gráfica 1. Número de artículos de acuerdo con el año de publicación, 2008-2024.



Fuente: Aspectos del cambio climático que favorecen el aumento o emergencia de enfermedades zoonóticas como la rabia e influenza aviar: una revisión de alcance. 2024

Se identificaron 13 **países** que han desarrollado investigaciones sobre el tema. Estados Unidos lidera la producción con 4 publicaciones (20% del total), seguido por Brasil, Vietnam y Alaska, con dos publicaciones cada uno.

Cabe resaltar que en los últimos 5 años nuevos países manifestaron interés la indagación del tema objeto de la presente revisión de alcance, dos de ellos en Latinoamérica: Brasil, Corea, Chile, Uganda y Canadá. (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

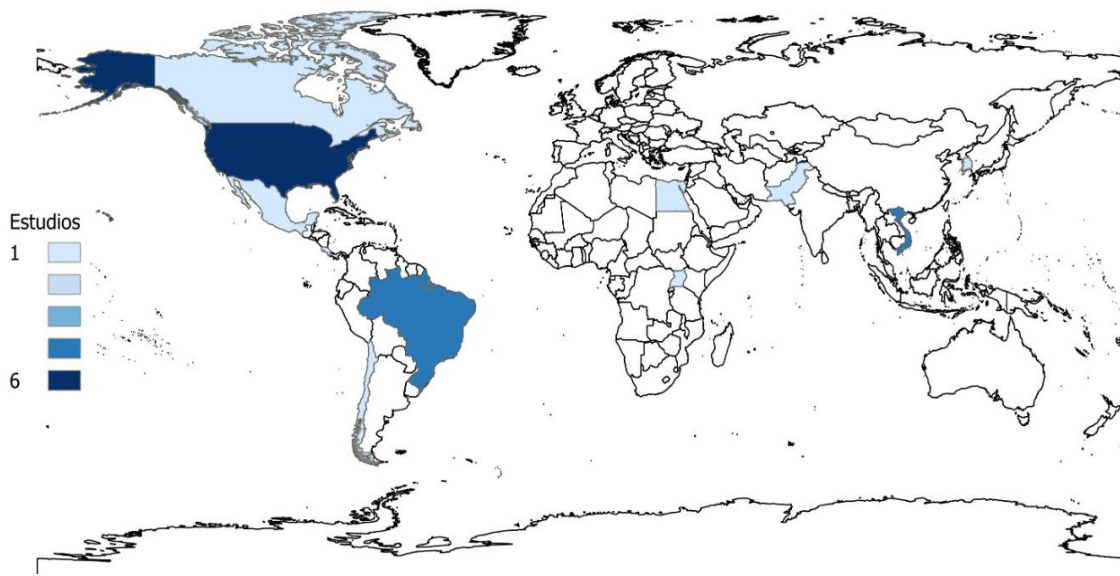
Tabla 10. Número de artículos de acuerdo con el país que realiza la investigación y publicación, 2008-2024

País	2008	2009	2012	2013	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total general	Porcentaje
Estados Unidos de América	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	4	20%
Brasil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	10%
Vietnam	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	10%
Alaska	0	0	0	1		1	0	0	0	0	0	0	0	2	10%
Pakistán	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	5%
Corea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	5%
Chile	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	5%
Costa Rica	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	5%
Global	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5%
Egypto	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	5%
Uganda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	5%
Canadá	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	5%
Europe and the United States	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	5%
Mexico	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	5%
Total general	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	1	4	1	20	100%

Fuente: Aspectos del cambio climático que favorecen el aumento o emergencia de enfermedades zoonóticas como la rabia e influenza aviar: una revisión de alcance. 2024

En cuanto a la **distribución geográfica**, la mayoría de los estudios se concentran en el continente americano, especialmente en Norteamérica (Estados Unidos y Canadá). También se identifican aportes de países de Centroamérica (Costa Rica) y Suramérica (Brasil). En Asia destacan publicaciones de Pakistán y Vietnam, mientras que en África se registra la participación de Egipto. (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

Mapa 1. Distribución de la concentración de estudios realizados según país, 2008-2024.



Fuente: Aspectos del cambio climático que favorecen el aumento o emergencia de enfermedades zoonóticas como la rabia e influenza aviar: una revisión de alcance. 2024

Por **tipo de enfermedad zoonótica**, en el periodo se observó que el 70% de las publicaciones (n=14) se realizaron en rabia frente al 30% para influenza aviar. Las investigaciones en rabia se distribuyen de manera homogénea en casi todos los años y para el caso de influenza aviar se observa que más del 80% ha sido desarrollada en los últimos cinco años. (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

Tabla 11. Número de artículos de acuerdo con la enfermedad zoonótica rabia o influenza aviar investigada, 2008-2024pr.

Enfermedad	2008	2009	2012	2013	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total	%
Rabia	0	0	1	1	1	2	2	2	0	0	1	3	1	14	70%
Influenza aviar	1	1	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	0	6	30%
Total	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	1	4	1	20	100%

Fuente: Aspectos del cambio climático que favorecen el aumento o emergencia de enfermedades zoonóticas como la rabia e influenza aviar: una revisión de alcance. 2024

Al analizar el tipo de estudio empleado en las investigaciones revisadas, predominaron los estudios de tipo *descriptivo* en su mayoría ecológicos con el 95% (n=18) y un estudio de caso; para los estudios de tipo *analítico* se evidenció tan solo un estudio de casos y controles. Con relación a los tipos de análisis empleados se evidenciaron modelos lineales, multivariados y de nicho ecológico, entre otros. (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

Tabla 12. Número de artículos de acuerdo con el tipo de estudio realizado, 2008-2024pr.

	Nombre del estudio	Tipo de estudio	Metodología empleada (Análisis estadístico)
1	Cincuenta años del Programa Nacional de Control de la Rabia en Brasil bajo la Perspectiva Una Salud	Estudio retrospectivo descriptivo y multivariable	Modelo de regresión logística binomial y varias variables consideradas como posibles impulsores y dos covariables. Análisis univariado, seguido de un análisis multivariable con estimación de la razón de probabilidades (OR) con un intervalo de confianza (IC) del 95%.
2	Factores ecogeográficos que influyen en la propagación espacial de brotes de influenza aviar altamente patógena en Europa y Estados Unidos, 2016-principios de 2022	Estudio epidemiológico analítico de tipo ecológico	Modelo lineal generalizado filodinámico bayesiano (GLM filodinámico). Análisis filogenéticos bayesianos a escala temporal. Análisis de difusión de rasgos discretos entre regiones geográficas. Modelos lineales generalizados y predictores empíricos.
3	Cuando las poblaciones anfitrionas se desplazan hacia el norte, pero las enfermedades se desplazan hacia el sur: efectos contraintuitivos del calentamiento climático en la propagación de enfermedades	Estudio epidemiológico observacional, de tipo ecológico.	Modelo de hábitat móvil impulsado por la temperatura basado en un marco de reacción-difusión (modelo matemático utilizado para estudiar cómo responden las poblaciones a los cambios ambientales, específicamente a los cambios de temperatura, simulando el movimiento y la dinámica de una especie dentro de un hábitat cambiante).
4	Dinámica temporal e influencia de variables ambientales sobre la prevalencia del virus de influenza aviar en los principales humedales de Chile central	Estudio epidemiológico observacional, de tipo ecológico, con un enfoque analítico	Modelo lineal mixto generalizado
5	Efectos de las características espaciales en la propagación de la influenza aviar altamente patógena (IAAP) en Corea	Estudio epidemiológico analítico de tipo ecológico y espacial	Modelo econométrico espacial con: a) Procedimiento econométrico: *Construcción de la Matriz de Pesos Espaciales. *Diagnóstico de la autocorrelación espacial. *Especificación del modelo. B) Prueba de la bondad de ajuste del modelo: *Selección del modelo más apropiado: SAR (Modelo de Retraso Autoregresivo Espacial), SEM (Modelo de Error Espacial) y SARMA (Spatial Autoregressive Moving Average). *Aptitud de los modelos: enfoque ascendente propuesto por Anselin y Rey.

6	Evaluación de los posibles efectos del cambio climático sobre la distribución de un vector del virus de la rabia	Estudio de modelado ecológico y estudio predictivo.	5 enfoques para el modelado de distribución de especies: regresión logística, splines de regresión adaptativa multivariada, árboles de regresión potenciados, bosque aleatorio y entropía máxima.
7	Distribución geográfica de <i>Desmodus rotundus</i> en México bajo escenarios actuales y futuros de cambio climático: implicaciones para la infección por rabia paralítica bovina	Estudio de modelado ecológico o modelo de distribución de especies (SDM).	Modelo de nicho ecológico
8	Modelado del nicho ecológico de la rabia en el cambiante Ártico de Alaska	Estudio epidemiológico observacional, de tipo ecológico.	Modelo de nicho ecológico
9	Distribución actual y futura potencial de los murciélagos vampiros comunes en las Américas y el riesgo asociado para el ganado	Estudios de Distribución de Especies:	Modelo de nicho ecológico
10	Patrón espaciotemporal bayesiano y factores ecoclimatológicos de la rabia del zorrillo rayado en las llanuras del centro norte	Estudio analítico	Estudio de casos y controles retrospectivo (Enfoque de modelado jerárquico bayesiano).
11	Un modelo conceptual del impacto del cambio climático en la rabia del zorro en Alaska, 1980-2010	Observacional ecológico con modelamiento estadístico (regresión de Poisson) y construcción de modelo conceptual interpretativo	Modelo de regresión de Poisson (Periodogramas)
12	Factores de riesgo y características de los brotes de influenza aviar altamente patógena (IAAP) H5N1 posteriores a la vacunación	Ecológico (enfoque de análisis espacial y temporal)	*Estadística de escaneo espacio-temporal retrospectivo para datos puntuales (centroides de comunas). *Modelo de Bernoulli. *Grupos espacio-temporales de ocurrencia de brotes y se estimaron tasas de incidencia suavizadas espacialmente. *Modelo de riesgos proporcionales de Cox para identificar factores de riesgo asociados con la ocurrencia de IAAP. *Modelo de regresión logística.
13	Does Climate Matter to Human Rabies Lethality? An Ecological Study in Vietnam, 1997-2015	Estudio ecológico	Regresión de Poisson.
14	Posibles ramificaciones de la variabilidad climática en la aparición de un brote de influenza aviar de alta patogenicidad (H5N1): estudio de caso de Menoufia, Egipto	Estudio observacional	*Modelo Lineal General (GLM) para comprobar la diferencia entre las condiciones climáticas asociadas a los períodos de brotes (olas epidémicas) y aquellas con períodos libres de brotes. *Modelo de regresión de Poisson (ecuaciones de estimación generalizadas GEEs para investigar el grado en que el evento HPAI-H5N1 está siendo influenciado por la variabilidad climática como un

			factor de riesgo potencial en la propagación y el mantenimiento del virus en el medio ambiente).
15	Evaluación de los efectos del cambio climático y de El Niño-Oscilación del Sur sobre los brotes de rabia y la mortalidad del ganado en Costa Rica (1985-2016)	Estudio observacional y estudio de series temporales	*Análisis de coherencia de wavelets cruzados (Series de tiempo epidemiológicas y climáticas) *Análisis de conglomerados espacio-temporales retrospectivos con la estadística de escaneo *Modelos de Poisson discretos para el período de estudio 1985-2016. *Ventanas de escaneo elípticas.
16	El cambio climático, vinculado a la expansión de los murciélagos hematófagos y a la propagación del virus de la rabia	Estudio observacional	Modelado de nicho ecológico: *Algoritmos correlativos para modelar la distribución potencial del murciélago hematófago. *Simulaciones estadísticas y matemáticas.
17	Un breve informe sobre la investigación epidemiológica de casos de mordeduras de perros en relación con el aumento de la temperatura como parte del cambio climático	Estudio observacional	Análisis descriptivos y correlacionales.
18	Trends in global warming and evolution of matrix protein 2 family from influenza A virus.	Estudio observacional	*Observacional descriptivo. *Estudio predictivo molecular.
19	Variation of Rabies Incidence with Rainfall Pattern in Uganda: Neglected Implication of Climate Change on Rabies Risk	Análisis descriptivo	Retrospectivo: *Prueba t para la correlación por pares.
20	Modelado de casos de rabia humana en Brasil en diferentes escenarios futuros de calentamiento global	Estudio de modelado	Modelo de nicho ecológico: *Siete algoritmos estadísticos diferentes, incluyendo MAXENT, MARS, RF (Random Forest), FDA (Flexible Discriminant Analysis), CTA (Classification Tree Analysis), GAM (Generalized Additive Models) y GLM (Generalized Linear Models).

Fuente: Elaborado a partir del presente scoping review.

A continuación, se procede a dar respuesta a las preguntas secundarias realizadas para la presente revisión en el marco de Población-Contexto-Concepto – PCC, información que se organiza a partir de componentes y categorías para cada una de las zoonosis objeto del presente estudio.

7.1. ¿Cuáles son las características sociodemográficas de la población afectada por rabia e influenza aviar relacionadas con el cambio climático? (Población)

Las variables sociodemográficas de la población afectada por rabia o influenza aviar que posiblemente se relacionan al cambio climático se organizaron en tres bloques temáticos y ocho componentes que detallan la situación. (Tabla 13)

Tabla 13. Variables sociodemográficas en la población afectada por las enfermedades zoonóticas como la rabia e influenza aviar asociadas al impacto del cambio climático

Zoonosis y bloque temático		Componente	Categorías	Detalle
Rabia	Condiciones sociodemográficas	Desigualdad socioeconómica y distribución de casos	Regiones de bajos ingresos	PIB per cápita bajo y Gini superior a 0,5
			Mayor cobertura en atención primaria	Factor protector OR 0.947
		Factores conductuales asociados a la transmisión	Estacionalidad y actividad infantil	En verano niños realizan actividades al aire libre con mayor exposición a posibles agresiones por animales
		Desafíos en la infraestructura sanitaria	Preservación cadena frío para vacunas antirrábicas	Lugares inhóspitos sin servicio de electricidad
	Factores ambientales asociados a la transmisión	Sobrepoblación canina	Proporción humano perro 1:7 Tenencia no adecuada de animales de compañía	
	Clima y mortalidad	Mortalidad humana por virus de la rabia	Temperatura, precipitación y humedad absoluta más alta	A mayor temperatura y precipitación, mayor incidencia de muerte por rabia.
Distribución en áreas geográficas y predicción	Regiones con clima frío en las que aumentará la temperatura	Tres escenarios de calentamiento 1.5, 2 y 3°C	A 1.5°C: aumenta incidencia rabia 15%. A 2°C: aumenta incidencia rabia 25%. A 3°C: aumenta incidencia rabia 40%.	
Influenza aviar	Condiciones socio demográficas	Ciclo vital	Nivel de envejecimiento	A mayor nivel de envejecimiento, menor es la probabilidad de aparición de la influenza aviar altamente patógena
			Crecimiento, movimiento y densidad de la población	No resultan significativas en la propagación de la influenza aviar.
		Desigualdad socioeconómica y distribución de casos	Riqueza individual e infraestructura regional	Suministro de electricidad limitado que afecta conservación de cadena de frío para vacunas en áreas dispersas.
		Factores socioeconómicos	Producción aviar local	Regiones con alta densidad de aves de corral y baja densidad humana mostraron más brotes

Fuente: Elaborado a partir del presente scoping review.

De acuerdo con las zoonosis objeto de la presente revisión, se procede a describir los hallazgos evidenciados frente a la población que resulta afectada para cada una de las enfermedades en estudio.

Rabia

Condiciones sociodemográficas

En el contexto global, la rabia humana sigue siendo una enfermedad asociada a condiciones de desigualdad socioeconómica y vulnerabilidad ambiental. Schneider y Min (2022) (21), en su estudio *Cincuenta años del Programa Nacional de Control de la Rabia en Brasil bajo la Perspectiva Una Salud*, evidenciaron que más de la mitad de los casos notificados de rabia (53,55%) se concentraron en regiones con un PIB per cápita bajo y un índice de Gini superior a 0,5, lo que refleja una marcada desigualdad social. Sin embargo, Schneider y Min también destacaron que una mayor cobertura de atención primaria en salud, como la proporcionada por los Equipos de Salud Familiar (con un odds ratio de 0.947), actúa como un factor protector significativo, reduciendo el riesgo de casos de rabia humana en municipios con acceso a estos servicios.

De manera consecuente, en otro estudio donde se relacionaron la prevalencia de mordeduras de perros en diferentes meses del año y su relación con casos de rabia posteriores, se observó que las mordeduras acontecían en su mayoría en áreas geográficas caracterizadas por bajo estatus social y económico donde además se presentaba una proporción de perros por humano mayor a 1:7, es decir con sobrepoblación canina y carencia de tenencia responsable. Adicionalmente se relaciona a la población infantil como la más afectada por mordeduras, quizá asociado a las vacaciones de verano donde se les permite realizar más actividades al aire libre, lo que podría contribuir al aumento de mordeduras de perro en esta época. (22) Un efecto del cambio climático sobre el comportamiento humano se genera en el tipo de vestimenta que se porta de acuerdo con la época del año, donde la ropa ligera y descubierta típica del verano exponen más la piel, lo que aumenta el riesgo de infección por rabia en caso de mordedura, a diferencia de la ropa gruesa usada en invierno. (22)

En algunas regiones se citan dificultades para la preservación de la cadena de frío de las vacunas, en particular cuando se realizan acciones de campo, conllevando al fracaso de las vacunas y por ende a la propagación de la enfermedad de la rabia, por ejemplo, en países en desarrollo como Pakistán. (22)

Clima y mortalidad

La posible relación entre variables climáticas y la mortalidad por rabia humana ha sido investigada por [Donghyeong Koo](#) y colaboradores en el preprint “¿El clima influye en la mortalidad por rabia humana? Un estudio ecológico en Vietnam, 1997-2015”, en el que se identificaron patrones y tendencias a partir de la recopilación de los casos mensuales de profilaxis posexposición (PEP) a la rabia (n=920.510), los casos mensuales de muerte humana por rabia (22 con PEP y 344 sin PEP) y las características climáticas.

Utilizando la regresión de Poisson, se estimó la asociación entre los casos mensuales de muerte humana por rabia y la temperatura del aire, la humedad, la precipitación y la duración de la luz solar tanto en el grupo que utilizó PEP como en el que no la utilizó. Hubo una asociación positiva significativa entre la humedad absoluta y los casos de muerte en el grupo que usó PEP (coeficiente 0,3367 [IC del 95 %: 0,0618 a 0,6115]). Las muertes humanas por rabia en el grupo que no usó PEP aumentan con una humedad absoluta más alta y una temperatura media mensual del aire, una precipitación total mensual y una duración de la luz solar más bajas. (23)

En conclusión, [Donghyeong Koo](#) (23) encontró una correlación positiva entre la temperatura media anual y la mortalidad por rabia humana donde las regiones con temperaturas más altas mostraron una mayor incidencia de muertes por rabia; para la precipitación anual también se encontró una asociación con un aumento en la mortalidad por rabia, especialmente en áreas con lluvias intensas y prolongadas y por último la humedad relativa no mostró una correlación significativa con la mortalidad por rabia. El patrón geográfico evidenció que las regiones del sur de Vietnam que tienen un clima más cálido y húmedo registraron las tasas más altas de mortalidad por rabia, en contraste con las regiones del norte de Vietnam con climas más fríos y menos húmedos que tuvieron tasas más bajas de mortalidad por rabia. Finalmente, la mortalidad por rabia mostró un **aumento gradual** durante el período de estudio, coincidiendo con cambios en las condiciones climáticas, como el aumento de la temperatura media y la variabilidad en las precipitaciones (tendencias temporales).

Distribución en áreas geográficas y predicción

En publicaciones recientes de 2024, Neves JMM y colaboradores en el estudio “*Modelado de casos de rabia humana en Brasil en diferentes escenarios futuros de calentamiento global*”, analizaron la distribución espacial de los casos de rabia humana en Brasil entre 2001-2023, utilizando un modelo de nicho ecológico para evaluar el impacto de diferentes

escenarios de calentamiento global en la incidencia de la rabia. Los resultados mostraron proyecciones de Incidencia en tres escenarios de calentamiento global: escenario de calentamiento de 1.5°C con aumento estimado del 15% en la incidencia de rabia humana, escenario de calentamiento de 2.0°C con incremento proyectado del 25% en la incidencia y el escenario de calentamiento de 3.0°C con un aumento significativo de hasta 40% en los casos de rabia humana en comparación con la línea de base actual. Además, se identificaron las regiones del **norte y noreste de Brasil** como áreas de **alto riesgo**, donde se proyecta un aumento del **50%** en la incidencia de rabia si las temperaturas alcanzan los **3.0°C**. Estos hallazgos subrayan la necesidad de fortalecer las estrategias de prevención y control en estas regiones, especialmente en un contexto de cambio climático. Por último, las regiones del norte y noreste de Brasil se identificaron como áreas de alto riesgo posibles donde se proyecta un aumento del 50% en la incidencia de rabia en estas regiones si las temperaturas alcanzan los 3.0°C. (24)

Influenza aviar

Condiciones sociodemográficas

De acuerdo con Meilan Una y colaboradores (25) en su estudio *“Efectos de las características espaciales en la propagación de la influenza aviar altamente patógena (IAAP) en Corea”*, algunas características espaciales y prácticas en torno a la producción avícola pueden influir en la propagación de la influenza aviar, así como factores sociodemográficos como el *nivel de envejecimiento* podría estar relacionado con su propagación. En el brote de influenza aviar 2016-2017 en Corea, se encontró que el envejecimiento de las poblaciones en las zonas rurales ha surgido recientemente donde la proporción de personas mayores de 65 años fue del 20,6%. La influencia del envejecimiento por región revela que cuanto mayor es el nivel de envejecimiento, menor es la probabilidad de aparición de la influenza aviar altamente patógena. Aún queda por determinar si esto es resultado de las prácticas de crianza de los agricultores de edad avanzada

En contraposición, se ha encontrado que las tasas de crecimiento de la población, los movimientos de población y las densidades de población que reflejan la demografía regional no resultaron ser significativas en la propagación de la influenza aviar altamente patógena (IAAP) en Corea. (25)

Según Joerg Henning, Dirk U. Pfeiffer y Le Tri Vu en el estudio *“Factores de riesgo y características de los brotes de influenza aviar altamente patógena (IAAP) H5N1 posteriores a la vacunación”*, el suministro de electricidad en los hogares refleja la riqueza individual o la infraestructura regional. En el delta del Mekong, los hogares en aldeas tienen mayor

acceso a electricidad, mientras que los hogares aislados, especialmente aquellos lejos de los canales, enfrentan dificultades para obtener energía permanente. Estos hogares aislados suelen ser menos accesibles para las autoridades veterinarias, lo que aumenta la probabilidad de quedar excluidos durante las campañas de vacunación. (26)

El estudio de Jonathon D. Gass, Jr y colaboradores (27) “*Factores ecogeográficos que influyen en la propagación espacial de brotes de influenza aviar altamente patógena en Europa y Estados Unidos, 2016-principios de 2022*”, encontró que, como **factores socioeconómicos**, las regiones con alta densidad de aves de corral y baja densidad humana mostraron más brotes.

7.2. ¿Cómo influye el cambio climático en la propagación y severidad de las enfermedades zoonóticas como la rabia y la influenza aviar? (Concepto: rabia e influenza aviar)

La información relacionada con el cambio climático y su influencia en la propagación y severidad de la rabia e influenza aviar, se organizó en siete componentes globales de acuerdo con la zoonosis investigada y 15 categorías que detallan los aspectos relevantes abordados, como se aprecia en la Tabla 14:

Tabla 14. Cambio climático en la propagación y severidad de las enfermedades zoonóticas como la rabia y la influenza aviar

Zoonosis y bloque temático		Componente	Categorías	Detalle
Rabia	Variables climáticas	Factores ecoclimatológicos	Temperatura Precipitación anual Disponibilidad de hábitats adecuados (áreas agrícolas y pastizales)	Factores más influyentes en la propagación de la rabia: Temperatura (10-15°C) y la Precipitación anual (500-800 mm)
		Desplazamiento animales	Temperatura y disponibilidad de alimento	Inviernos más cortos y cálidos. Insuficiente hielo marino que afecta la caza y desplazamiento del zorro ártico
	Reservorios	Incremento en la distribución del virus de la rabia	Aumento de la temperatura y humedad relativa	Migración de mamíferos, especialmente murciélagos, que son sensibles a la temperatura.
		Aumento incidencia de rabia parálitica bovina en México y las Américas	Murciélago <i>Desmodus rotundus</i>	Patógenos y reservorios en nuevos hábitats
		Aumento incidencia rabia en perros	Olas de calor	Interacciones complejas entre especies Muerte masiva de murciélagos frugívoros que son consumidos por

		callejeros o chacales en Asia		perros y chacales con potencial riesgo de contraer rabia
		Zorro ártico (<i>Vulpes lagopus</i>)	Reducción del hábitat entre 20-30% a 2050 por aumento temperatura 2-3°C	Derretimiento hielo marino con dificultad para el desplazamiento y búsqueda de alimento
		Zorrillo rayado en Norteamérica	Patrones espaciales y temporales	Impulsores importantes de la incidencia de la rabia: áreas desarrolladas de baja intensidad (OR 3,41; IC 95% = 2,08-3,85), mayor nivel de fragmentación de parches (OR 1,70; IC 95% = 1,25-2,89) y rango de temperatura diurna (OR 0,54; IC 95% = 0,27-0,91)
		Zorro con rabia en Alaska	a) Temperatura media de 1 mes antes b) Precipitación de 2 meses antes	a) Asociación negativa: RR = 0,90. Por cada aumento de 1°C en la temperatura media, el riesgo de interacciones en zorros rabiosos disminuye en un 10% b) Asociación negativa: RR = 0,92. Por cada aumento de 1 cm en la precipitación, el riesgo disminuye en un 8%.
		Vampiro común (<i>Desmodus rotundus</i>)	Distribución futura del murciélago vampiro común (<i>Desmodus rotundus</i>) bajo escenarios de cambio climático	Cambios en el área de distribución: <ul style="list-style-type: none"> • Año 2050: Aumento del 15-0% en el área de distribución potencial en Suramérica. • Año 2070 (bajo RCP 8.5): Reducción del 10-15% en el hábitat adecuado en América Central y aumento del 25-30% en el hábitat adecuado en Suramérica. • Limitación en la expansión hacia Estados Unidos: No se espera que <i>D. rotundus</i> se expanda a Estados Unidos.
	Distribución en área geográfica y predicción	Plantas, animales vectores (mosquitos y garrapatas) y patógenos	Migración hacia los polos por las altitudes más altas en busca de climas más frescos	Dispersión a nuevas áreas geográficas de las especies animales, patógenos y plantas
Influenza aviar	Variables climáticas y ambientales	Secuencias de segmentos H5N1 derivadas de aves (domésticas y silvestres) clado 2.3.4.4 de Europa y América del Norte	-Factores climáticos (temperatura y humedad relativa). -Factores ambientales (cuerpos de agua y áreas agrícolas intensivas). -Patrones espaciales y temporales	Mayor incidencia de brotes en áreas con: <ul style="list-style-type: none"> -Temperatura entre 5-15 °C. -Humedad relativa alta (>70%) -Proximidad a cuerpos de agua (humedales, lagos) y áreas agrícolas intensivas. -Estacionalidad para invierno y primavera (diciembre-abril)
		Infección de áreas vecinas	Densidad de población aviar. Conectividad entre granjas	Gallinas ponedoras y patos los más afectados
	Posibles efectos en la terapia	Cambio Climático y Evolución de Patógenos	Adaptación de virus a presiones ambientales	Proteínas virales y resistencia a medicamentos

Fuente: Elaborado a partir del presente scoping review.

A continuación, se presentan los hallazgos de acuerdo con las categorías anteriores.

Rabia

Variables climáticas

Ram K. Raghavan y colaboradores (28) encontraron en el *“Patrón espaciotemporal bayesiano y factores ecoclimatológicos de la rabia del zorrillo rayado en las llanuras del centro norte”* de los Estados Unidos, que existe un patrón espaciotemporal de la rabia en su incidencia en zorrillos rayados (*Mephitis mephitis*) en las llanuras del centro norte de los Estados Unidos con un pico de casos de rabia entre abril y agosto (meses de primavera y verano), coincidiendo con períodos de mayor actividad y reproducción de los zorrillos, con concentración en los Estados de Kansas, Nebraska y Dakota del Sur. En el mismo estudio la temperatura (10-15°C) y la precipitación anual (500-800 mm) fueron los factores climáticos más influyentes en la distribución de la rabia, así como la disponibilidad de hábitats adecuados, como áreas agrícolas y pastizales, también se asoció con un mayor riesgo de brotes. Por último, se observó una expansión hacia el norte de las áreas de riesgo, posiblemente relacionada con el aumento de las temperaturas debido al cambio climático.

De acuerdo con la publicación de Kim BI, Blanton JD en *“Un modelo conceptual del impacto del cambio climático en la rabia del zorro en Alaska, 1980-2010”* (29), factores climáticos como la temperatura y la disponibilidad de alimento (como roedores) fueron los factores más influyentes en la dinámica de la rabia; los inviernos más cálidos y cortos han reducido la disponibilidad de hielo marino, lo que ha afectado la capacidad de los zorros árticos para cazar y desplazarse.

Reservorios

El cambio climático, representado en el aumento de la temperatura y humedad relativa, favorecerá el incremento en la distribución del virus de la rabia. El cambio climático y el aumento de la temperatura provocan la migración de mamíferos, especialmente murciélagos, que son sensibles a la temperatura, por ende, el cambio en su nicho ecológico y el monitoreo de su reservorio son clave para controlar la rabia y otras infecciones zoonóticas. En Pakistán, olas de calor recientes han eliminado colonias de murciélagos frugívoros, que albergan el virus Lyssavirus, donde la muerte masiva de estos murciélagos puede transmitir enfermedades, como la rabia, a perros callejeros o chacales que se los comen. (22)

El estudio de Zarza, H., Martínez-Meyer, E., Suzán, G., & Ceballos, G., “Distribución geográfica de *Desmodus rotundus* en México bajo escenarios actuales y futuros de cambio climático: implicaciones para la infección por rabia paralítica bovina” (30), utilizó un modelo basado en entropía máxima para predecir la distribución del murciélago *Desmodus rotundus* bajo escenarios climáticos futuros. Los resultados, con un alto poder predictivo (AUC de $0,97 \pm 0,02$), mostraron una reducción del 20% (170.317 km²) para 2050 y del 28% (233.989 km²) para 2070 en la distribución potencial del murciélago bajo el escenario RCP 4.5. Estos cambios afectarían la incidencia de la rabia paralítica bovina, con mayor riesgo durante la estación seca (abril-mayo), coincidiendo con patrones observados en Brasil, Colombia y Costa Rica, donde la temperatura es un factor clave en la distribución de *D. rotundus*, influyendo en la propagación de la rabia en zonas tropicales y su posible expansión a áreas templadas debido al calentamiento global.

El artículo “Modelado del nicho ecológico de la rabia en el cambiante Ártico de Alaska” de Hüttmann y colaboradores (31), aborda cómo el cambio climático y las transformaciones ambientales en el Ártico de Alaska podrían influir en la distribución y dinámica de la rabia transmitida principalmente por zorros árticos (*Vulpes lagopus*). Para ello, se analizaron 153 casos confirmados de rabia de 1914 a 2013 con diferentes grados de calidad de georreferenciación, dividiendo para la rabia terrestre los casos en tres subconjuntos: a) Casos en áreas de Alaska consideradas enzoóticas para la rabia (casos enzoóticos)¹ y b) Casos en áreas no consideradas enzoóticas (casos de brote) y c) todos los casos de rabia confirmados. Utilizando estos tres enfoques, se crearon y ajustaron modelos y luego se generaron mapas de riesgo previstos para la detección de la rabia en Alaska.

Los modelos de nicho ecológico evidenciaron cambios en el hábitat del zorro ártico (*Vulpes lagopus*) proyectando una reducción del 20-30% en su hábitat para el año 2050, debido al aumento de las temperaturas y la pérdida de hielo marino; lo anterior dado que la temperatura media en el Ártico de Alaska ha aumentado 2-3 °C en las últimas décadas, lo que ha acelerado la pérdida de hábitats tradicionales para los zorros árticos. (31) En contraposición, se denota la expansión del zorro rojo (*Vulpes vulpes*), una especie competidora que ha expandido su rango hacia el norte a una tasa de aproximadamente 40 km por década, desplazando a los zorros árticos en algunas áreas; esta expansión se correlaciona con un aumento en la temperatura media anual de 0.5 °C por década en las regiones afectadas. (31)

¹ Casos enzoóticos en zorro ártico que es el huésped de mantenimiento o reservorio y casos no enzoóticos en zorro rojo, considerado como vector o puente para la epizootia.

La identificación de los factores climáticos que pueden influir en la dinámica de la rabia en especies silvestres como los zorros rojos y árticos bajo un modelo de cambio climático previsto en Alaska, ha sido abordado a través del análisis de los casos de rabia reportados² con relación a los datos mensuales climáticos³ en cada uno de los distritos teniendo en cuenta los datos de temperatura media, precipitación, nevadas, espesor de la nieve y rango de temperatura e inclusive datos como la extensión del hielo marino⁴

En países como Estados Unidos han sido explorados patrones espaciales y temporales del estado de infección de la rabia en especies silvestres como el zorrillo rayado, donde la prevalencia de la rabia en este huésped solo se monitorea pasivamente y la enfermedad permanece en gran medida sin controlar. Por tanto, la evaluación de factores ambientales y climatológicos que influyen sobre estos patrones a través de estudios de casos y controles entre 2007 a 2013, incluyeron covariables ecoclimáticas asociadas con un *conjunto de datos de cobertura terrestre* en porcentaje de cobertura terrestre⁵ y en métrica del paisaje⁶, con cifras de *espectrómetro de imágenes de resolución moderada - MODIS de la NASA*⁷ y por *predicción de la NASA sobre los recursos renovables mundiales*⁸. El modelo de covariables de mejor desempeño indicó la presencia de tendencias espaciales y temporales significativas en el conjunto de datos e identificó mayores cantidades de tierra cubiertas por áreas desarrolladas de baja intensidad (OR 3,41; IC 95% = 2,08- 3,85], mayor nivel de fragmentación de parches (OR 1,70; IC 95% = 1,25-2,89) y rango de temperatura diurna (OR 0,54; IC 95% = 0,27-0,91) como impulsores importantes de la incidencia de la rabia en el zorrillo rayado en el área de estudio. Las estadísticas de validación del modelo indicaron un desempeño satisfactorio para ambos modelos; sin embargo, el modelo de covariables tuvo un mejor desempeño. (28) El modelo bayesiano utilizado en el estudio mostró una alta precisión predictiva, con un **AUC (área bajo la curva) de 0.92**, lo que indica un excelente ajuste del modelo a los datos observados. Así mismo el análisis reveló que la densidad de población de zorrillos y la proximidad a cuerpos de agua fueron factores significativos en la distribución de la rabia.

² Diagnóstico realizado por el laboratorio de virología para el diagnóstico de rabia de Alaska.

³ Información suministrada por el Centro de Investigación del Clima de Alaska (Instituto Geofísico de la Universidad de Alaska Fairbanks).

⁴ Suma de la superficie del hielo marino que cubre el océano donde el porcentaje del área cubierta de hielo marino supera el 15%.

⁵ Porcentaje de cobertura terrestre: agua abierta, espacio abierto desarrollado, desarrollo de baja y de alta intensidad, tierra estéril, bosque caducifolio, bosque mixto, bosque siempre verde, arbusto matorral, pastizal/cobertura herbácea, pasto/heno, humedales boscosos, humedales herbáceos emergentes.

⁶ Métrica del paisaje : Índice de contraste de borde total (TECI)

⁷ Espectrómetro de imágenes de resolución moderada - MODIS de la NASA: temperatura de la superficie terrestre durante el día, temperatura de la superficie terrestre durante la noche, rango de temperatura diurna.

⁸ Predicción de la NASA sobre los recursos renovables mundiales: temperatura diaria máxima-mínima-promedio, punto de rocío (derretimiento), humedad relativa, rango de temperatura diurna.

De acuerdo con la publicación de Kim BI, Blanton JD “Un modelo conceptual del impacto del cambio climático en la rabia del zorro en Alaska, 1980-2010” (29), el cambio climático ha alterado los patrones de distribución y comportamiento de los zorros árticos (*Vulpes lagopus*), los principales reservorios de la rabia en Alaska en comparación con los zorros rojos; Estos hallazgos se asemejan a los encontrados por Hüttmann y colaboradores. A medida que las temperaturas continúan con tendencia al calentamiento, es probable que la epidemiología general de la rabia en Alaska se desplace hacia una mayor transmisión viral entre los zorros rojos, ya que el aumento de la temperatura media en la región, con un incremento de 2-3 °C en las últimas décadas, ha afectado los hábitats tradicionales de los zorros árticos. Los brotes de rabia en zorros árticos mostraron una estacionalidad marcada, con un pico de casos durante los meses de invierno y primavera (diciembre a abril), cuando los zorros están más activos y se desplazan en busca de alimento. Las áreas con mayor incidencia de rabia se concentraron en las regiones costeras y del interior de Alaska, donde las condiciones climáticas son más extremas.

A través de un Modelo global de Poisson para interacciones en zorros rabiosos se apreció que se **asociaron negativamente** con la temperatura media de 1 mes antes (RR = 0,90 para un aumento de 1°C) y la precipitación de 2 meses antes (RR = 0,92 para un aumento de 1cm) al controlar la estacionalidad y el distrito. Adicionalmente se evidenció una interacción significativa entre la temperatura promedio y el rango de temperatura de 1 mes antes. No se identificó una asociación significativa para la profundidad de la nieve en el modelo final. (29)

El estudio de Lee y colaboradores “Distribución actual y futura potencial de los murciélagos vampiros comunes en las Américas y el riesgo asociado para el ganado” (32) analiza la distribución geográfica del murciélago vampiro común (*Desmodus rotundus*) y cómo el cambio climático podría afectar su hábitat y el riesgo de transmisión de enfermedades como la rabia silvestre al ganado; este incluyó modelos de nicho ecológico para los años 2030, 2050 y 2080 con base en los escenarios climáticos A2, A1B y B1 del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático⁹, así como el riesgo de contraer rabia por parte del ganado. En el estudio , se encontró que el hábitat actual del murciélago vampiro común (*Desmodus rotundus*) se distribuye principalmente en América Central y del Sur, con una presencia significativa en países como México, Brasil, Colombia y Argentina. Las áreas con

⁹ Forman parte de una clasificación de escenarios socioeconómicos desarrollados en el Tercer Informe de Evaluación (TAR) del IPCC, publicado en 2001. Estos escenarios buscan proyectar posibles futuros climáticos según diferentes trayectorias de desarrollo económico, social y tecnológico. Los escenarios A2, A1B y B1 se caracterizan así: A2 es desigual, alta población, alto uso de combustibles fósiles, mayor calentamiento; A1B es globalizado, equilibrio en el uso de energía, calentamiento moderado y el escenario B1 es cooperativo y sostenible, transición a energías limpias, menor calentamiento.

mayor densidad de murciélagos vampiros coinciden con regiones de clima tropical y subtropical, donde las temperaturas medias anuales oscilan entre 20 °C y 28 °C y las precipitaciones anuales superan los 1.000 mm.

En este mismo estudio (32) la distribución futura bajo escenarios de cambio climático (RCP 4.5 y RCP 8.5), proyecta una expansión hacia el sur de la distribución de *D. rotundus*, especialmente en regiones de Argentina, Chile y Uruguay. Para el año 2050, se estima un aumento del 15-20% en el área de distribución potencial de los murciélagos vampiros en América del Sur y para el año 2070, bajo el escenario RCP 8.5, se proyecta una reducción del 10-15% en el hábitat adecuado en América Central, pero un aumento del 25-30% en América del Sur; sin embargo, no es probable que *D. rotundus* se expanda a los Estados Unidos debido a la inadecuada "estacionalidad de la temperatura". Es de resaltar que cinco variables climáticas (estacionalidad de la precipitación 42.4, estacionalidad de la temperatura 24.7, precipitación del mes más húmedo 17.5, precipitación del mes más seco 4.8 y temperatura media del mes más frío 10.5) contribuyeron más al modelo. (32)

En 2023 [Paige Van de Vuurst](#) y colaboradores (10) en su estudio “El cambio climático, vinculado a la expansión de los murciélagos hematófagos y a la propagación del virus de la rabia”, buscaron evaluar cómo el cambio climático afectará la distribución geográfica del murciélago hematófago común (*Desmodus rotundus*) y, en consecuencia, el riesgo de propagación del virus de la rabia en las Américas, mediante modelos de nicho ecológico para predecir la distribución actual y futura de *D. rotundus* y el empleo de algoritmos como **MaxEnt** (Máxima Entropía) como herramienta para predecir la distribución de especies basada en condiciones ambientales y el patrón temporal de los brotes de rabia en el ganado en América Latina. Esta información analizó más de un siglo (1901 a 2019), y consideró variables ambientales como la temperatura, nubosidad y la evapotranspiración potencial. Los resultados muestran que el cambio climático está relacionado con la expansión hacia el norte de *D. rotundus* en América del Norte¹⁰ y una menor variabilidad de temperaturas en su área de captura expresada como un clima más consistente y menos estacional en los últimos años. Esto se asocia con un aumento en la transmisión del virus de la rabia al ganado en los últimos 50 años. Este estudio respalda investigaciones previas sobre el incremento de enfermedades transmitidas por murciélagos debido al cambio

¹⁰ Rango geográfico de *D. rotundus* ha cambiado significativamente su distribución hacia el norte (pendiente = 0,04, R² = 0,06, p < 0,001), lo que representa una invasión natural en el norte de México a una tasa promedio de 9,76 km por año (error estándar = 1,03 km). A esta velocidad, *D. rotundus* podría extender su rango hacia los EE. UU. continentales en los próximos 27 años.

climático, destacando sus efectos en la interacción entre vida silvestre, ganado y humanos. (10)

En el análisis de la distribución espacial de los casos de rabia humana en Brasil entre 2001-2023 de Neves y colaboradores (24), se revisó el impacto de las variaciones climáticas donde un aumento de 1°C en la temperatura media se asocia con un aumento del 20% en la población de vectores (murciélagos y perros) de la rabia, mientras que cambios en las precipitaciones se correlacionaron con un aumento del 30% en la dispersión de los vectores, aumentando el riesgo de transmisión a humanos.

Distribución en área geográfica y predicción

A medida que las temperaturas globales aumentan, muchas especies animales y vegetales están migrando hacia los polos por las altitudes más altas en busca de climas más frescos, por ello se está facilitando la expansión de enfermedades, con patógenos y sus vectores, como mosquitos y garrapatas, moviéndose hacia el sur y a mayores altitudes donde anteriormente no existían. Esto puede resultar en un aumento de enfermedades en regiones donde las poblaciones humanas, que no están acostumbradas a estas amenazas, serían más vulnerables. Lo anterior genera nuevas interacciones complejas entre especies, ya que nuevos competidores y patógenos pueden alterar los ecosistemas, llevando a un aumento en la competencia por recursos y afectando la salud de las poblaciones anfitrionas. Por consiguiente, se ha ido presentando un cambio espacial en los nichos térmicos de dos especies animales, una del norte (con enfermedad endémica) y otra del sur (libre de la rabia), donde en un estudio que simuló 75 años de calentamiento climático, investigó cómo el tiempo necesario para que la enfermedad llegue a la población del sur se ve afectado por la capacidad de dispersión, la reproducción, la mortalidad y la tasa de transmisión de la enfermedad de las dos poblaciones, y por la variación en los límites de tolerancia térmica, que afectan a la distancia euclidiana entre los nichos fundamentales. (33)

Influenza aviar

Variables climáticas y ambientales

En influenza aviar, el estudio de Jonathon D. Gass, Jr y colaboradores (27) "*Factores ecogeográficos que influyen en la propagación espacial de brotes de influenza aviar altamente patógena en Europa y Estados Unidos, 2016-principios de 2022*", analizó la diseminación del virus entre Europa y Norteamérica a partir del empleo de la información

de todas las secuencias de segmentos H5N1 derivadas de aves (domésticas y salvajes) del clado 2.3.4.4 de Europa y América del Norte entre 2016 y 2022¹¹, combinado con análisis filogenéticos bayesianos a escala temporal y modelos lineales generalizados, con el objetivo de descubrir predictores ecológicos y ambientales de la difusión de esta enfermedad. Se concluyó que inicialmente, hubo epidemias localizadas en Europa antes de que el virus H5N1 se introdujera en América del Norte a través de migraciones de aves en diciembre de 2021. (27)

Dentro de los resultados, como **factores climáticos** se encontró que la mayor incidencia de brotes se da en áreas con temperaturas entre 5 °C y 15 °C y humedad relativa alta (>70%); para los **factores ambientales**, es la proximidad a cuerpos de agua (humedales, lagos) y áreas agrícolas intensivas las que aumentaron el riesgo de brotes; para los **patrones espaciales y temporales** se observó estacionalidad de los picos de brotes para invierno y primavera (diciembre-abril) con el norte y oeste de Europa Países Bajos, Alemania y medio oeste/costa este de **Estados Unidos** consideradas como áreas críticas. (27)

En el estudio en Corea de Meilan Una y colaboradores (25), *“Efectos de las características espaciales en la propagación de la influenza aviar altamente patógena (IAAP) en Corea”*, mediante un enfoque de modelado autorregresivo espacial para la identificación de patrones de transmisión y factores que afectan su propagación, encontró que los hallazgos sugieren interacciones espaciales¹², asociado a la densidad de la población aviar y a la conectividad entre granjas (infección de áreas vecinas), aspectos que en el periodo de 2016-2017 en el marco del brote de IAAP más grande registrado en Corea, influenciaron la propagación de la IAAP. (25) Por especie animal, las aves de corral de mayor tamaño, incluidas las gallinas ponedoras, las gallinas reproductoras y los patos, están significativamente asociadas con una mayor incidencia de IAAP, siendo los patos considerados como la mayor fuente de propagación del virus con coeficientes para gallinas ponedoras y patos de 0,005 y 0,018 respectivamente, ambos estadísticamente significativos al nivel del 1%. Esto implica que, para un mayor número de gallinas ponedoras y patos, la probabilidad de ocurrencia de la IAAP aumenta. (Ibid.) . (25)

Posibles efectos en la terapia

[Shao Min Yan](#) y colaboradores en su estudio de *“Tendencias del calentamiento global y evolución de la familia de proteínas de matriz 2 del virus de la influenza A”* (34), abordaron

¹¹ Descargadas de la base de datos de investigación de influenza (IRD).

¹² La estadística I de Moran fue de 0,2283 y estadísticamente significativa al nivel de significación del 1%. Esto implica que hay evidencia sólida de que la ocurrencia de IAAP por condado en Corea exhibe autocorrelación espacial.

la familia de las proteínas de matriz 2 del virus de la influenza A, debido a que esta proteína es un objetivo de los medicamentos contra la gripe y su mutación tendría un efecto significativo en la resistencia a los antigripales. Este estudio observacional descriptivo y predictivo molecular abordó el periodo de 1959 a 2008. La severidad de los cuadros clínicos de los virus de influenza en general y de influenza aviar en humanos, conllevó al análisis de la relación entre el calentamiento global y la evolución de la familia de proteínas de matriz 2 del virus de la influenza A, encontrando que a medida que las temperaturas globales aumentan, se observa un cambio en la distribución geográfica y la virulencia de los virus de la influenza, lo que puede afectar la salud pública y la biodiversidad. Específicamente para la proteína M2, que es crucial para la replicación viral, ha evidenciado una evolución en respuesta a presiones ambientales, lo que ha llevado a cambios en su estructura y función, conllevando a mutaciones en la proteína M2 que pueden afectar la eficacia de los tratamientos antivirales, lo que plantea un desafío adicional para el control de la influenza. (34)

7.3. ¿Qué variables del cambio climático tienen impacto en la presentación de las zoonosis rabia e influenza aviar? (Contexto: cambio climático)

El cambio climático altera los ecosistemas, afectando la transmisión de la rabia y la influenza aviar. Factores como el aumento de la temperatura, los cambios en la precipitación y los eventos extremos pueden modificar la ecología de los reservorios, facilitar la propagación de especies y aumentar el riesgo de transmisión zoonótica. A continuación, se mencionan algunas variables de la presente revisión en la Tabla 15.

Tabla 15. Variables del cambio climático que tienen impacto en la presentación de las zoonosis rabia e influenza aviar

Zoonosis y bloque temático		Componente	Categorías	Detalle
Rabia	Variables climáticas	Mordeduras por perro (Agresión por animal potencialmente transmisor de rabia: perro)	Aumento de temperatura	A mayor temperatura ambiental se aumentan mordeduras por perro (prevalencia del 2,56%) en marzo y agosto (primavera-verano).
			Temporada de lluvias	A mayor precipitación aumenta las mordeduras por perro.
		Incidencia de rabia: muerte en humanos y mordeduras por perro	Temperatura ambiental	La incidencia de rabia aumenta a medida que incrementa la precipitación (Pearson 0,72; p=0,01 y disminuye cuando la temperatura aumenta (Pearson (-0.40; p=0,20).
	Reservorios	Especies animales silvestres	Murciélago hematófago común (Desmodus rotundus)	Correlación positiva entre los brotes de rabia del ganado y el evento de ENOS (a mayor temperatura más brotes de rabia)

				y correlación negativa entre los brotes de rabia del ganado y el fenómeno de la niña (a menor temperatura, menos brotes de rabia).
	Distribución en área geográfica y predicción	Predicción de la distribución de reservorios y enfermedades asociadas	Expansión futura de murciélagos hematófagos	Expansión del hábitat adecuado para estos murciélagos, aumentando el riesgo de rabia en regiones no endémicas (la temperatura mínima del mes más frío es la variable climática más influyente)
Influenza aviar	Reservorios	Densidad de aves	Aves de corral como medio de producción y consumo domiciliario	Densidad media de aves de corral se asoció con un mayor riesgo de brotes de influenza aviar altamente patógena (OR 5,4)
	Variables climáticas	Aparición y propagación del virus HPAI-H5N1	El impacto del clima varía según la época del brote	En invierno, las temperaturas mínimas más altas aumentan el riesgo de enfermedad al estimular la actividad viral (primer trimestre brote asociado significativamente con la temperatura mínima y la humedad relativa $p < 0,01$)
		Factores climáticos y de vegetación	Inundaciones temporales crearon condiciones favorables para la propagación del virus	Índices de vegetación durante la temporada de lluvias (mayo a octubre) mostraron un OR de 3,7 para la propagación del virus (mayor contacto entre aves acuáticas domésticas y silvestres)
		Características espaciales que influyen en la diseminación de la Influenza Aviar	Humedad relativa	La humedad relativa influencia la aparición de IAAP (estadísticamente significativo al 5%) con un coeficiente de -0,109
	Factores ecológicos y ambientales	Ecosistema de humedal	Tamaño del cuerpo de agua, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada - NDVI y la temperatura mínima.	Prevalencia general influenza aviar: 4,28%, más alta en verano. A medida que las temperaturas mínimas aumentan, también lo hace la prevalencia del virus. Relación negativa entre influenza aviar y tamaño del cuerpo de agua e Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

Fuente: Elaborado a partir del presente scoping review.

Rabia

Variables climáticas

La relación entre variables climáticas y posible impacto en torno a zoonosis se abordó en el estudio *“Un breve informe sobre la investigación epidemiológica de casos de mordeduras de perros en relación con el aumento de la temperatura como parte del cambio climático”* de Ahmed y colaboradores (22) donde para el caso de rabia, las estaciones o meses asociados con aumento de la temperatura ambiental se relacionan con el alza de

mordeduras por perro, las cuales se incrementan en estaciones cálidas que comprenden los meses de las estaciones frías de septiembre-febrero (otoño invierno). El análisis de los datos indicó una correlación positiva entre el aumento de la temperatura y las tasas de mordeduras de perros, con prevalencia de mordeduras de perro de 2,56% de casos¹³.

En contraposición a lo expuesto anteriormente, también se observó la correlación de la incidencia de rabia y las mordeduras de perro con los patrones de lluvia asociado a temperatura y precipitación, exploración realizada por Atuheire y colaboradores en su estudio "*Variación de la incidencia de la rabia en función de los patrones de precipitaciones en Uganda: implicaciones desatendidas del cambio climático en el riesgo de rabia*", donde se encontró que las mordeduras de perros aumentan en marzo-abril-mayo y septiembre-octubre-noviembre, meses que se corresponden con las temporadas de lluvias en Uganda. De manera opuesta las mordeduras de perros se correlacionaron negativamente con la temperatura. Tanto la mortalidad por rabia en humanos como las mordeduras por perro se correlacionaron por Pearson positivamente con la precipitación (0,72; p=0,01) y negativamente con la temperatura (-0.40; p=0,20). (35)

Reservorios

El virus de la rabia en América afecta principalmente al ganado como animal doméstico, en el que se produce la muerte de miles de animales por año y pérdidas económicas, donde el murciélago hematófago común *Desmodus rotundus*, se asocia principalmente a su transmisión. Hutter, S.E. y colaboradores en su estudio de "*Evaluación de los efectos del cambio climático y de El Niño-Oscilación del Sur sobre los brotes de rabia y la mortalidad del ganado en Costa Rica (1985-2016)*" menciona que en el contexto del cambio climático, donde las condiciones climáticas estacionales se presentan de manera más extremas, el abordaje de la asociación de las fluctuaciones climáticas y la Oscilación del Sur de El Niño (ENOS)¹⁴, con la ocurrencia y magnitud de los brotes de rabia en términos de mortalidad asociada en el ganado, resulta relevante. Esta situación fue estudiada para 100 brotes de rabia en Costa Rica en el periodo 1985-2016, donde se encontró una correlación positiva

¹³ Producto de la división de casos totales de mordeduras de perros (n=1.173) con la población total de perros del área de estudio (n=45.697).

¹⁴ ENOS: Se refiere a la fluctuación natural de las temperaturas superficiales del mar y la presión atmosférica entre el Este y Oeste del Océano Pacífico Tropical. El ENOS se refiere entonces, al acople entre lo que está ocurriendo con las temperaturas de la superficie del mar y el comportamiento de la atmósfera. Estas fluctuaciones pueden generar tres escenarios, uno cálido, uno frío y uno neutro. La fase cálida se conoce como El Niño y fase fría como La Niña. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://centroclima.org/wp-content/uploads/2019/02/El_Ni%C3%B1o_febrero_2019.pdf](https://centroclima.org/wp-content/uploads/2019/02/El_Ni%C3%B1o_febrero_2019.pdf)

entre el evento del Niño ENOS y los brotes de rabia en ganado, es decir durante los años de El Niño, el número de brotes aumentó significativamente; en contraste, en los años que predominó el fenómeno de la Niña se evidenció una disminución en los brotes de rabia, donde posiblemente no se favorece la propagación del virus. (36)

Distribución en área geográfica y predicción

El estudio de Mark. A. Hayes (37) "*Evaluación de los posibles efectos del cambio climático sobre la distribución de un vector del virus de la rabia*", analiza cómo el cambio climático afectará la distribución de los murciélagos hematófagos (*Desmodus rotundus*), reservorios clave de la rabia en América Latina. Utilizando modelos de distribución de especies, el estudio identificó que la temperatura mínima del mes más frío es la variable climática más influyente. Los resultados predicen una expansión del hábitat adecuado para estos murciélagos, aumentando el riesgo de rabia en regiones no endémicas. Se proyectan dos rutas de dispersión en los Estados Unidos: una hacia el sur de Texas y otra hacia el sur de Florida. Modelos como MARS y GLM sugieren que las llanuras costeras de Texas podrían volverse habitables para 2070, lo que subraya la necesidad de fortalecer medidas de vigilancia y control en estas áreas.

Influenza aviar

Reservorios

En áreas geográficas que históricamente presentaban fenómenos climáticos como el monzón¹⁵ se encuentra Vietnam, país en el que en la década del 2.000 la influenza aviar se hizo endémica, lo que impulsó la implementación de la vacunación contra esta enfermedad en aves de corral con éxito en sus inicios, sin embargo, reaparecieron brotes de influenza aviar altamente patógena (IAAP) H5N1 en 2006 y 2007, que de acuerdo con el estudio de Henning en "*Factores de riesgo y características de los brotes de influenza aviar altamente patógena (IAAP) H5N1 posteriores a la vacunación*" (26), la densidad media de aves de corral se asoció con un mayor riesgo de brotes de influenza aviar altamente patógena (IAAP), con un odds ratio (OR) de 5,4.

¹⁵ Fenómeno climático significativo que tiene un gran impacto en el clima, la agricultura y la vida de millones de personas en las regiones que lo experimentan.

Variables climáticas

La variabilidad climática influye en la aparición y propagación del virus HPAI-H5N1, donde los brotes ocurren en condiciones similares, lo que permite establecer un rango de riesgo climático para esta enfermedad. Esta situación fue evidenciada en un estudio realizado en un área de la delta del Nilo llamada Menoufia en Egipto de enero de 2006 a diciembre de 2016 por Elsobky Y, El Afandi G en *“Posibles ramificaciones de la variabilidad climática en la aparición de un brote de influenza aviar de alta patogenicidad (H5N1): estudio de caso de Menoufia, Egipto”* (38), que es una de las gobernaciones con más altas tasas de incidencia para influenza aviar y producción de aves de corral, donde se afirma que, aunque el virus es estacional, el impacto del clima varía según la época del brote. En invierno, las temperaturas mínimas más altas aumentan el riesgo de enfermedad al estimular la actividad viral (primer trimestre brote asociado significativamente con la temperatura mínima y la humedad relativa $p < 0,01$)¹⁶, mientras que el resto de los parámetros climáticos no muestran un efecto significativo en la aparición del brote), así mismo las temperaturas más bajas favorecen la supervivencia del virus en otros trimestres. La alta humedad (cerca del 100%) reduce los brotes, mientras que la baja humedad en el segundo trimestre aumenta la aparición (la humedad relativa; un aumento de una unidad llevó a reducir los brotes al 2%).

Una de las consecuencias del cambio climático es el aumento de temperaturas y olas de calor más intensas, presentación de fenómenos meteorológicos extremos como huracanes, sequías y tormentas más severas y la subida del nivel del mar que provocan inundaciones y desplazamientos, entre otros efectos. (39)

Adicionalmente, factores climáticos y de vegetación también influyen en la propagación de la influenza aviar, los índices de vegetación durante la temporada de lluvias (mayo a octubre) mostraron un OR de 3,7, indicando que las inundaciones temporales crearon condiciones favorables para la propagación del virus, ampliando el contacto entre aves acuáticas domésticas y silvestres. (26)

En el estudio en Corea de Meilan Una y colaboradores (25), se analizó cómo las características espaciales influyen en la diseminación de la Influenza Aviar Altamente

¹⁶ Con base en los resultados del GLM, se realiza una regresión de Poisson utilizando ecuaciones de estimación generalizadas (GEEs) para investigar el grado en que el evento HPAI-H5N1 está siendo influenciado por la variabilidad climática como un factor de riesgo potencial en la propagación y el mantenimiento del virus en el medio ambiente.

Patógena - IAAP, encontrando que la IAAP se vio afectada por la humedad relativa (estadísticamente significativo al 5%) con un coeficiente de -0,109, lo que indica que su aparición en promedio aumenta en aproximadamente 1 granja/condado por cada 10% de reducción en la humedad relativa, manteniendo otros factores constantes, siendo las áreas secas más vulnerables. (25)

Factores ecológicos

En 2021 se publicó el primer estudio en América del Sur en Chile “Dinámica temporal e influencia de variables ambientales sobre la prevalencia del virus de influenza aviar en los principales humedales de Chile central” por Ruiz y colaboradores (40) en el que se exploraron factores ecológicos y ambientales relacionados con la prevalencia del virus de influenza aviar – IA en humedales entre 2015 a 2018, encontrando que las variables ambientales como el tamaño del cuerpo de agua, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada - NDVI¹⁷ y la temperatura mínima estaban relacionadas con la positividad del virus en los humedales estudiados. A través de un modelo lineal mixto generalizado se analizó cómo la prevalencia de la IA está relacionada con diferentes factores ambientales, donde la prevalencia general fue de 4,28% ($\pm 0,28\%$), con variaciones significativas a lo largo de las estaciones del año. Se observó que la prevalencia era más alta durante el verano, con una odds ratio (OR) de 4,87 (intervalo de confianza del 95% de 2,11 a 11,21), y en otoño, con una OR de 2,59 (IC 95% de 1,12-5,97). Los resultados indicaron que la prevalencia de la IA se asocia positivamente con las temperaturas mínimas del mes de muestreo, es decir, a medida que las temperaturas mínimas aumentan, también lo hace la prevalencia del virus. Por otro lado, se encontró una relación negativa con el tamaño del cuerpo de agua (medido dos meses antes del muestreo) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI (medido tres meses antes).

En resumen, se presentan **los resultados relevantes** del scoping review, dividiendo la información en dos secciones (rabia e influenza aviar), vinculándola con los objetivos del documento y señalando algunas brechas del conocimiento: (Tabla 16)

¹⁷ NDVI: mide el verdor y la densidad de la vegetación captada en una imagen de satélite.

Tabla 16. Principales hallazgos y vacíos identificados sobre rabia e influenza aviar en escenarios de cambio climático

Categoría	Rabia	Influenza Aviar	Brechas de conocimiento
Variables climáticas	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura (10-15 °C) y precipitación (500-800 mm) influyen en la distribución de la rabia en fauna silvestre (zorritos, zorros, murciélagos). • Correlación positiva entre lluvias y mordeduras de perro en Uganda; correlación negativa con la temperatura. • Aumento de temperatura y humedad favorece migración de murciélagos y mayor circulación viral. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor incidencia de brotes H5N1 en áreas con temperaturas entre 5-15 °C y humedad relativa >70%. • Estacionalidad clara (invierno-primavera) en Europa y Norteamérica. • Humedad relativa baja incrementa vulnerabilidad en Corea. 	<p>Rabia: pocos estudios cuantifican umbrales climáticos y cambios proyectados a futuro.</p> <p>IA: falta investigación en regiones tropicales y en escenarios de cambio climático más extremos.</p>
Reservorios vectores	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Desmodus rotundus</i> (murciélago hematófago) expandirá su rango geográfico hacia nuevas áreas. • Zorros árticos ceden espacio a zorros rojos en Alaska debido a inviernos más cálidos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Patos y gallinas domésticas son clave en brotes IAAP. • Patos identificados como fuente de propagación en Corea. 	<p>Rabia: faltan estudios sobre otros reservorios potenciales y su respuesta al clima.</p> <p>IA: no hay suficiente análisis sobre aves silvestres migratorias distintas de anátidas.</p>
Distribución geográfica predicción	<ul style="list-style-type: none"> • Modelos proyectan expansión del hábitat de murciélagos a regiones no endémicas (EE. UU., sur de Brasil). • En Brasil norte y noreste, se estima aumento del 50 % de incidencia si las temperaturas suben 3 °C. 	<ul style="list-style-type: none"> • Brotes de H5N1 se diseminaron de Europa a América del Norte (2021) vía aves migratorias. • Modelos espaciales muestran “efecto contagio” entre granjas vecinas (Corea). 	<p>Rabia: escasez de modelos globales integrados; la mayoría son locales o regionales.</p> <p>IA: falta modelar escenarios futuros con interacciones entre clima, comercio y migración.</p>
Factores socioeconómicos y de vulnerabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Correlación de rabia humana con desigualdad socioeconómica y baja cobertura de salud primaria. • Sobrepoblación canina y tenencia inadecuada aumentan riesgo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Riesgo mayor en zonas con alta densidad aviar y baja densidad humana. • Zonas rurales envejecidas muestran menor probabilidad de IAAP. 	<p>Rabia: falta literatura que combine clima, factores socioeconómicos y control de perros.</p> <p>IA: escasez de estudios que integren factores económicos y de mercado avícola con variables climáticas.</p>
Posibles efectos en la terapia / virus	<ul style="list-style-type: none"> • No hay estudios directos sobre resistencia a fármacos en rabia ligados a clima. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mutaciones de la proteína M2 del virus influenza A bajo presión climática pueden reducir la eficacia de antivirales. 	<p>Rabia: vacío total en estudios sobre clima y resistencia antiviral.</p> <p>IA: muy pocos estudios exploran la presión evolutiva climática en virus.</p>

Fuente: Elaborado a partir del presente scoping review.

8. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y LIMITACIONES

Este scoping review permitió reunir y organizar la información disponible sobre cómo el cambio climático se relaciona con la rabia y la influenza aviar. El objetivo no fue medir efectos ni establecer que exista una “influencia significativa”, sino mostrar lo que la literatura actual dice y cuáles son sus vacíos.

Como ocurre con todas las scoping reviews, no se evaluó el riesgo de sesgo, porque este tipo de estudio no está diseñado para sacar conclusiones sobre la fuerza de una relación ni para comparar resultados de manera cuantitativa.

De los documentos revisados, la mayoría abordó temas relacionados con rabia (14 estudios) y un número menor trató sobre influenza aviar (6 estudios). También se identificaron reportes procedentes principalmente de Norteamérica (Estados Unidos y Canadá), Centroamérica (Costa Rica), Suramérica (Brasil), Asia (Pakistán y Vietnam) y África (Egipto), lo que deja ver que hay zonas del mundo de las que aún sabemos poco.

En resumen, este trabajo ayuda a entender qué sabemos y qué nos falta por saber. La información recopilada puede servir como base para investigaciones futuras que sí evalúen el nivel de asociación y la posible influencia del cambio climático sobre estas enfermedades con métodos diseñados para ello.

El cambio climático influye significativamente en la proliferación de estas enfermedades, ya que factores como el aumento de temperatura, la deforestación y la migración de animales alteran los ecosistemas, facilitando su transmisión. En el caso de la rabia, el cambio climático favorece la **expansión geográfica de vectores y reservorios** hacia nuevas regiones con mayor altitud y temperatura templada y **altera el comportamiento de los reservorios** por el estrés alimenticio producto de la restricción de la disponibilidad de alimentos y hábitats, generando mayor contacto entre especies.

La relación entre el cambio climático y la influenza aviar se evidencia en la *modificación de rutas y patrones migratorios de aves silvestres* por cambios en la temperatura y en la disponibilidad de agua y alimento lo que favorece el riesgo de introducción y de adaptación; *también se observa mayor persistencia ambiental del virus* cuando existen temperaturas bajas y alta humedad en los cuerpos de agua; y por último un *aumento de la interacción entre especies y riesgos de mutación* asociado a la degradación de hábitats y a la urbanización que pueden intensificar el contacto entre aves silvestres y de corral, donde los cambios ambientales pueden propiciar la coinfección con otras cepas virales, aumentando

la probabilidad de recombinación genética y la aparición de nuevas variantes más virulentas o con potencial zoonótico.

Para mitigar el impacto del cambio climático en la influenza aviar, es esencial implementar un enfoque integral que combine vigilancia y monitoreo (con sistemas de alerta temprana y análisis genético del virus), protección de hábitats (conservando humedales y creando corredores ecológicos) y mejores prácticas en producción avícola (mediante bioseguridad y vacunación estratégica). Además, se debe fomentar la investigación interdisciplinaria para entender cómo los cambios climáticos afectan la persistencia y transmisión del virus, junto con educación y concientización dirigida a productores y la población en general.

Es crucial fortalecer políticas públicas que regulen la deforestación y la urbanización, promover la cooperación internacional para compartir recursos y estrategias, y desarrollar planes de adaptación al cambio climático que incluyan planificación territorial y resiliencia comunitaria. Finalmente, se deben establecer protocolos de respuesta rápida para controlar brotes y fomentar la coordinación intersectorial bajo el enfoque "Una Salud". Estas acciones, en conjunto, pueden reducir los riesgos de brotes, mutaciones virales y transmisión zoonótica, protegiendo tanto la salud humana como los ecosistemas.

Se recomienda desarrollar e implementar un enfoque integral de Una Salud que promueve la colaboración entre los sectores de salud humana, animal y ambiental a través del fortalecimiento de los diferentes sistemas de Vigilancia en torno al monitoreo y vigilancia epidemiológica para la detección temprana de estas y otras zoonosis, capacitando a los diversos profesionales de la salud en la identificación y notificación de brotes y lineamientos para la atención de brotes en el marco de la salud pública.

La rabia e influenza aviar son reconocidas como problemas para la Salud Pública, por cuanto establecer este enfoque tiene como objetivo evaluar, priorizar, desarrollar y promover políticas y actividades conjuntas para el manejo integral de las enfermedades zoonóticas y los problemas emergentes, mediante un enfoque participativo desde las regiones y el país. La estrategia "Una Salud" supone una estructura disciplinar que incluye las ciencias biomédicas, de la salud, agropecuarias, la ecología, la climatología, la geografía, la economía y las ciencias sociales, entre muchas más.

El fomento de la investigación multidisciplinaria y la educación en torno al impacto del cambio climático sobre las dos zoonosis resulta clave, siendo necesario informar y concientizar a las comunidades para que comprendan los riesgos y adopten medidas de prevención, en el marco de la tenencia adecuada y responsable de animales de compañía y

de bienestar animal que abarca también a los animales que se explotan en el sector pecuario, así como de conservación para el caso de los animales silvestres.

Resulta relevante la necesidad de Identificar áreas periurbanas o selváticas, con desarrollo de baja intensidad y paisajes fragmentados (como bordes de bosques y tierras agrícolas), en las que se presenta un mayor riesgo de transmisión de rabia e influenza aviar a humanos debido a la superposición de hábitats humanos y de animales silvestres y a la instauración de granjas avícolas. Como describió Schneider y Min (2022) (21), en Brasil los casos humanos de rabia transmitida por perros disminuyeron de 147 a 0 y los casos de perros disminuyeron de 4500 a 7, sin embargo los casos humanos transmitidos por animales silvestres persisten e incrementan con las temperaturas más altas en el Nordeste, siendo importante contar con políticas que permitan disponer de profilaxis post exposición – PEP, especialmente en áreas remotas en riesgo en la región Amazónica, y aumentar la educación de la comunidad y el compromiso y capacidades técnico científicas del personal de salud.

Entender los patrones espaciales y temporales de las enfermedades es clave para su control y resultan un desafío. Sin embargo, estudiar enfermedades en fauna silvestre, como la rabia en zorrillos rayados y otras especies, es difícil debido a la falta de monitoreo regular (vigilancia pasiva), la heterogeneidad en las tasas de infección y la escasez de datos. Aunque no hay estudios sistemáticos sobre la rabia silvestre, se usan datos retrospectivos de laboratorios de diagnóstico para analizar la enfermedad; aquí radica la necesidad de desarrollar un sistema de vigilancia activa para las enfermedades de origen silvestre.

El empleo de modelos de análisis con capacidad para manejar la incertidumbre y datos complejos resultan útiles para comprender patrones espaciotemporales complejos, tal es el caso de los modelos de nicho ecológico, así como los bayesianos. (28)

La situación relacionada con la transmisión de rabia del gato al ser humano en Colombia sugiere que las autoridades locales desarrollen e implementen políticas de salud ambiental, considerando el corredor endémico que recorre municipios de la cordillera central y oriental y se extiende hacia la región pacífica y oriental del país. En la costa norte la rabia se presenta en zorros en particular en el departamento del Magdalena, casos que se presentan generalmente en el segundo semestre del año, de los cuales se desconoce su eco epidemiología.

Por lo anterior, es necesario realizar estudios que analicen el comportamiento de la enfermedad en términos de temporalidad y distribución espacial, ya que en el país faltan investigaciones que vinculen este fenómeno con el cambio climático, las interacciones entre especies de compañía y silvestres, y otros contextos relevantes. Una de las hipótesis plantea

que la expansión de la ganadería y los cambios en el uso del suelo en América Latina han intensificado el contacto entre humanos, ganado y murciélagos hematófagos, principales vectores de la rabia silvestre. Este incremento en la interacción ha elevado el riesgo de brotes de rabia en zonas rurales y periurbanas, particularmente en países como Brasil, Colombia y Perú (41).

El cambio climático tiene el potencial de exacerbar el impacto de enfermedades que, en el pasado, no eran consideradas zoonóticas, pero que hoy representan una grave amenaza para los sistemas de producción, los servicios veterinarios y la salud humana. Existen evidencias contundentes que demuestran cómo el cambio climático actúa como un catalizador para la emergencia y reemergencia de enfermedades infecciosas, tanto en humanos como en animales. Este fenómeno es especialmente crítico en el caso de enfermedades transmitidas por vectores o aquellas con ciclos de vida complejos, cuya transmisión depende directamente de condiciones climáticas específicas. Así, el cambio climático no solo altera los patrones de distribución de estas enfermedades, sino que también amplía su alcance, intensificando su impacto en ecosistemas, economías y comunidades.

En el estudio de caso de la posible relación entre la variabilidad climática y la aparición de un brote de influenza aviar en Egipto de Elsobky Y , El Afandi (38) se destaca que la variabilidad climática como los cambios en temperatura y humedad, influyen en la aparición y propagación de brotes de influenza aviar (H5N1), generando la necesidad de políticas de salud pública para monitorear y controlar la transmisión del virus a humanos, especialmente en áreas donde el contacto entre aves domésticas, silvestres y personas es frecuente y de políticas veterinarias para implementar medidas de prevención y control en aves de corral, como vacunación, bioseguridad y vigilancia epidemiológica.

Reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de los sistemas humanos y naturales frente al cambio climático es una prioridad transversal a todos los sectores. La adaptación requiere, entre otras acciones, mejorar la infraestructura e integrar los conflictos climáticos en la planificación operativa. Un ejemplo de esto lo ofrece Neves JMM (24), quien, al modelar casos de rabia humana en Brasil bajo distintos escenarios de calentamiento global, advierte que el cambio climático podría alterar la distribución y el número de casos de rabia humana. Este hallazgo subraya la necesidad de incorporar proyecciones climáticas en las estrategias de salud pública.

En el ámbito de la *infraestructura sanitaria*, es fundamental fortalecer los sistemas de vigilancia epidemiológica, ampliar el acceso a servicios de salud en zonas vulnerables y desarrollar programas de vacunación antirrábica más eficientes, adaptados a las nuevas

condiciones climáticas. Además, la *planificación operativa* debe incluir estrategias de prevención y control basadas en datos climáticos, sistemas de alerta temprana y una colaboración intersectorial (salud, medio ambiente y agricultura) para abordar de manera integral los riesgos asociados al cambio climático.

El cambio climático es propicio para la evolución y dispersión de diferentes patógenos que son transmitidos desde sus reservorios naturales, modulando y amplificando límites de distribución de vectores, ampliando así las áreas geográficas para la supervivencia e interacción entre diferentes especies microbianas y afectando las respuestas inmunológicas de los huéspedes.

Frente al impacto del cambio climático en la ecología y distribución de vectores y hospedadores, diversos estudios enfatizan la vinculación entre el calentamiento global y el incremento en frecuencia, severidad y expansión de enfermedades zoonóticas, ya que existe una estrecha relación entre el cambio climático, la ecología de vectores y hospedadores, lo cual repercute en la transmisión, manifestación y persistencia de trastornos patológicos tanto en especies animales como en seres humanos. Por un lado, el cambio climático ha llevado a ciertas especies al borde de la extinción y, al mismo tiempo, ha alterado la dinámica de los ecosistemas. Este desequilibrio en la red alimentaria ha permitido que algunas especies predominen sobre otras, siendo evidente en la migración de animales, impulsada por la búsqueda de nutrientes y la adaptación a temperaturas extremas, que no solo ha facilitado su supervivencia, sino que también les ha conferido un papel importante en la propagación de enfermedades zoonóticas transfronterizas.

Por lo tanto, para comprender la compleja situación de estas enfermedades zoonóticas, el uso de modelos de nicho ecológico permite una comprensión mayor al vincular aspectos ecológicos y biológicos con enfoque epidemiológico, así como el desarrollo de modelos predictivos.

El comportamiento humano también se ve afectado por el cambio climático. Por ejemplo, en verano las personas tienden a usar ropa ligera y descubierta, mientras que, en los meses más fríos, optan por chaquetas gruesas y ropa que cubre todo el cuerpo. Estas prendas sueltas podrían ser una de las razones de una mayor exposición al virus de la rabia en caso de mordedura de perro en temporadas cálidas. En el mismo sentido, se reporta más mordeduras en la época de verano donde los niños realizan más actividades al aire libre y por ende podrían tener más riesgo por mordedura, lo anterior de especial importancia en áreas geográficas donde hay sobrepoblación canina sumado con tenencia inadecuada de animales.

Crear e implementar iniciativas educativas y de sensibilización en la comunidad que fomenten interacciones seguras con los animales y promuevan la tenencia responsable de mascotas que consideren las instrucciones a seguir por parte de las personas en caso de sufrir una agresión por animales potencialmente transmisores de rabia – APTR y el uso de ropa protectora en regiones con épocas calurosas en las cuales se reporte aumento de las APTR.

La falta de una cadena de frío adecuada para las vacunas es un problema sociodemográfico relacionado con deficiencias en infraestructura, distribución de recursos, ubicación geográfica y condiciones socioeconómicas. Las áreas rurales o menos desarrolladas enfrentarían dificultades para mantener esta cadena debido a la escasez de electricidad, transporte adecuado y sistemas de salud robustos, lo que puede comprometer la distribución efectiva de vacunas y afectar la salud pública.

Implementar un programa integral para optimizar la cadena de frío en la distribución de vacunas, mediante proyectos de inversión en infraestructura de salud, especialmente en áreas rurales. Este programa debería incluir la instalación de sistemas de refrigeración eficientes y sostenibles que puedan funcionar con fuentes de energía alternativas, como paneles solares, para garantizar la continuidad del servicio en situaciones de escasez eléctrica. Dada las barreras geográficas relacionadas con inexistencia de vías de transporte en áreas remotas o con problemas de orden público, la colaboración con organismos de cooperación internacional y con actores locales resulta relevante.

Los resultados sugieren que las regiones con alta dependencia espacial en la propagación de virus de influenza aviar de alta patogenicidad, como los condados o territorios locales con cría intensiva de patos, deben priorizarse en los esfuerzos de vigilancia para prevenir futuras epidemias. En el contexto suramericano, la presencia de humedales otorga una complejidad frente a las migraciones de aves, donde por ejemplo en el estudio en Chile la prevalencia del virus de influenza aviar en sus humedales centrales varía a lo largo del año, alcanzando su punto máximo en verano y otoño. Los factores ambientales que influyen en esta variación incluyen la temperatura mínima, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada - NDVI y el tamaño de la masa de agua del humedal, por cuanto estos análisis podrían ser ampliados y replicados también en países de la región que cuenten con humedales, para que a largo plazo contemple estos factores en la mejor comprensión de la epidemiología del virus en estas poblaciones.

Se recomienda establecer un sistema de vigilancia epidemiológica en los humedales de América del Sur, enfocado en factores ambientales como la temperatura, el NDVI y el tamaño de las masas de agua, con especial atención a los períodos críticos (verano y otoño).

Este sistema debería replicarse en otros países con humedales importantes, como Argentina, Brasil y Perú. A largo plazo, se sugiere desarrollar modelos predictivos que integren datos climáticos y ecológicos para anticipar brotes, además de fomentar la cooperación transfronteriza entre los países sudamericanos para coordinar estrategias.

Se destaca la importancia de considerar tanto la migración de especies como la propagación de enfermedades en el contexto del cambio climático, dado su impacto potencial en la salud humana y la conservación de la biodiversidad. Las dinámicas cambiantes de la biodiversidad, junto con la aparición de nuevas enfermedades, plantean un panorama incierto para la salud pública y el medio ambiente en un mundo en calentamiento.

Es importante fomentar la articulación intersectorial con las autoridades nacionales, departamentales, municipales y distritales de los diversos sectores como salud, ambiente, educación, agricultura, entre otros, mediante la elaboración o actualización conjunta de lineamientos o directrices puntuales que identifiquen componentes, actividades y responsables para la acción temprana y contingencial frente a la presentación de casos de rabia e influenza aviar asociados al cambio climático, en particular en el contexto de urgencias y desastres y pandemias; en el país escenarios vigentes podrían ser la Comisión Técnica Nacional Intersectorial para la Salud Ambiental - CONASA, el Consejo Nacional de Zoonosis, con especial convocatoria hacia grupos de investigación de la academia e independientes.

El contexto de rabia vinculado a *Desmodus rotundus* ilustra las consecuencias del cambio climático en la interacción entre la vida silvestre, el ganado y los seres humanos. Esto evidencia cómo el cambio global altera estos sistemas complejos e interconectados, promoviendo un aumento en la aparición de enfermedades.

Varios de los estudios recomiendan mejorar las prácticas de gestión agrícola y el enfoque en zonas de riesgo con periodicidad de fenómenos climáticos para prevenir futuros brotes, donde el desarrollo de modelos de estimación de casos y zonas de riesgo futuros resulta necesario, siendo posible contar con la vinculación de equipos de investigación.

Como recomendaciones para la Salud Pública se resalta el fomento de la implementación de medidas de vigilancia y control en áreas de alto riesgo e integración de la salud ambiental en las estrategias de prevención de la rabia.

Dentro de las estrategias de mitigación y adaptación para reducir el Impacto de la rabia e influenza aviar, la prevención y control de las enfermedades emergentes es prioritaria y

tanto los sistemas de salud, las medidas de control de enfermedades y los esfuerzos de financiación, deben adquirir nuevas capacidades para adaptarse a los cambios en el clima durante un período prolongado. Es así como la incorporación de herramientas tecnológicas procedentes de diferentes disciplinas, como las herramientas de inteligencia artificial en sistemas de información geográfica, espacial y estadística resultan importantes.

En esta revisión de alcance se identificó la relación directa que tienen los aspectos principales del cambio climático, como la temperatura y la humedad, con el aumento o emergencia de patógenos zoonóticos en distintas regiones del mundo. Hay debates sobre si realmente el cambio climático ha tenido su participación, teniendo en cuenta la variación que ha existido a lo largo del tiempo y hasta ahora. Pero también está la evidencia de que el nuevo marco ecológico que se ha creado a partir de esta variación de parámetros climáticos ha llevado a reacciones de los nuevos huéspedes vectores a nivel inmunológico y ecológico.

En el caso de la rabia, se evidencia claramente la correlación que se tiene entre un aumento de temperatura y de lluvias con un aumento significativo de casos en ciertas áreas, especialmente en zonas endémicas de la enfermedad. Esto puede ser explicado por la facilidad que tiene el virus de adaptar su ciclo a condiciones óptimas para mantenerse en el ambiente, infectando poblaciones de huéspedes nuevos.

Las variables sociodemográficas, como la edad, el nivel socioeconómico y la ubicación geográfica, son fundamentales para entender cómo el cambio climático influye en la aparición y distribución la rabia y de la influenza aviar. La migración de las poblaciones humanas a causa del cambio climático podría añadir presión adicional para la presentación de estas zoonosis.

El cambio climático, caracterizado por el aumento de la temperatura y la humedad relativa, está impulsando la expansión la rabia y la influenza aviar. Este fenómeno no solo amplía la distribución geográfica del virus de la rabia, sino que también altera los patrones de migración de mamíferos, en particular los murciélagos, cuya sensibilidad a los cambios de temperatura modifica su nicho ecológico. El monitoreo de estos reservorios es fundamental para controlar la rabia y otras infecciones zoonóticas emergentes.

Además, el cambio climático está provocando la expansión hacia el norte de especies competidoras, como el zorro rojo (*Vulpes vulpes*), lo que podría desplazar a los zorros árticos y alterar la dinámica de la rabia. Esta competencia por recursos y hábitats incrementa el riesgo de transmisión del virus entre especies, subrayando la necesidad de

abordar los efectos indirectos del cambio climático en las interacciones ecológicas y la propagación de enfermedades.

La evidencia revisada muestra una escasez de estudios sobre el impacto de la urbanización y los cambios en el uso del suelo en la emergencia y reemergencia de la rabia e influenza aviar. Estos factores pueden alterar la distribución de reservorios y vectores, intensificar el contacto entre especies y transformar los ecosistemas donde circulan estos virus. La deforestación y la expansión agrícola pueden forzar el desplazamiento de murciélagos y aves silvestres hacia entornos urbanos, aumentando el riesgo de transmisión zoonótica. Además, la contaminación y las modificaciones en la infraestructura urbana pueden crear condiciones propicias para la persistencia de estas dos zoonosis.

Varios estudios utilizan información retrospectiva para analizar el estado actual de las dos zoonosis en estudio. Sin embargo, la integración de datos ambientales, sociales y de salud humana, animal y ambiental, junto con información de otros sectores, en la formulación de modelos predictivos podría proporcionar una evidencia causal más sólida.

Por ende, integrar datos sobre urbanización, uso del suelo y variables climáticas en modelos predictivos permitiría identificar áreas de alto riesgo y desarrollar estrategias de mitigación más efectivas. Un enfoque interdisciplinario que combine salud pública, ecología y planificación territorial es fundamental para diseñar políticas preventivas que minimicen el impacto del cambio climático en la propagación de la rabia y de la influenza aviar.

Las condiciones sociodemográficas, como la pobreza, la desigualdad, el crecimiento poblacional descontrolado y la urbanización acelerada, podrían aumentar la vulnerabilidad de las comunidades frente a los efectos del cambio climático. Estas poblaciones, que a menudo carecen de acceso a servicios básicos como agua potable, saneamiento y atención médica, son las más afectadas por fenómenos climáticos extremos, como sequías, inundaciones y olas de calor. Además, la migración forzada debido a la degradación ambiental o la pérdida de medios de subsistencia genera tensiones sociales y económicas en las áreas receptoras, exacerbando aún más las desigualdades.

Por otro lado, el cambio climático actúa como un amplificador de riesgos para la aparición y propagación de enfermedades zoonóticas. La alteración de los ecosistemas, la pérdida de biodiversidad y la expansión de vectores debido al aumento de las temperaturas y los cambios en los patrones de precipitación crean condiciones ideales para que los patógenos salten de animales a humanos. Esto se ve agravado por prácticas humanas como la deforestación, la agricultura intensiva y la explotación de vida silvestre, que aumentan la interacción entre humanos y animales, facilitando la transmisión de enfermedades.

Las comunidades con menos recursos económicos y educativos tienen menos capacidad para prevenir y tratar estas enfermedades, lo que las hace más susceptibles a brotes. Además, la falta de concienciación sobre prácticas seguras en el manejo de animales o la prevención de enfermedades aumenta el riesgo de transmisión. En este contexto, la globalización y el comercio internacional actúan como catalizadores, permitiendo que los patógenos se propaguen rápidamente a través de fronteras y continentes.

Este scoping review presenta varias limitaciones que deben ser consideradas al interpretar sus hallazgos. En primer lugar, no se incorporaron todos los sinónimos posibles en la estrategia de búsqueda, como por ejemplo *bird flu* u otras cepas menos frecuentes de influenza aviar. No obstante, la búsqueda se centró en los términos principales —rabies, avian influenza y H5N1— que, al estar indexados en las bases de datos, absorben la mayoría de los sinónimos menores, lo que reduce de manera importante el riesgo de haber excluido estudios clave.

En segundo lugar, el análisis se concentró únicamente en dos zoonosis, rabia e influenza aviar, lo que permitió una exploración más detallada de estas enfermedades, pero limitó la posibilidad de abordar de forma más amplia otras zoonosis que también pueden estar influidas por el cambio climático.

Asimismo, la evidencia identificada fue limitada y heterogénea, donde gran parte de los estudios corresponden a modelos predictivos, reportes de brotes y análisis locales, lo que dificulta la comparación entre contextos y restringe la posibilidad de generar conclusiones sólidas y generalizables.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. ONU. Programa para el medio ambiente. [Online].; 2020. Available from: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/la-salud-humana-animal-y-ambiental-debe-considerarse-una>.
2. Stella M. Hartinger YKPSCLCLBVLEEADJHSAGLOMDRRBTMCFCS. El informe de 2023 de Lancet Countdown Latinoamérica sobre salud y cambio climático: la necesidad de un desarrollo resiliente al clima centrado en la salud. [Online].; 2024. Available from: <https://climahealth.info/wp-content/uploads/2024/04/1-s2.0-S2667193X24000735-mmc3.pdf>.
3. ONU. Acción por el clima. [Online].; 2023. Available from: <https://www.un.org/es/climatechange/science/climate-issues/biodiversity>.
4. OMS FAO OMSA. Making A Multisectoral, One Health Approach: A Tripartite Guide to Addressing Zoonotic Diseases in Countries. [Online].; 2019. Available from: <https://www.fao.org/documents/card/en?details=CA2942EN>.
5. Rupasinghe R CBMLB. Climate change and zoonoses: A review of the current status, knowledge gaps, and future trends. Acta Trópica. 2022 febrero; 226.
6. Naciones Unidas. Convención marco de las naciones Unidas sobre el cambio climático. [Online].; 1992. Available from: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>.
7. OMS. La OMS insta a los países a proteger la salud contra el cambio climático. [Online].; 2015. Available from: <https://www.who.int/es/news/item/17-11-2015-who-calls-on-countries-to-protect-health-from-climate-change>.
8. OMS. Cambio climático. [Online].; 2021. Available from: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>.
9. Clar CP. Cambio climático y sus implicaciones en la salud. [Online].; 2018. Available from: <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/CARMEN%20PALACIOS%20CLAR.pdf>.
10. Van de Vuurst PQHSDELE. Climate change linked to vampire bat expansion and rabies virus spillover. Ecography. 2024; 2024(10).
11. Corrêa Scheffer K IKMAKMEEGAASa. Murciélagos hematófagos como reservorios de la rabia. Rev Peru Med Exp Salud Publica. 2014; 31(2): p. 302-9.
12. INS. Informe de Evento Rabia Humana y Agresiones por Animales Potencialmente Transmisores de Rabia, 2022. [Online].; 2022. Available from: <https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/Informesdeevento/APTR%20INFORME%202022.pdf>.

13. CMS. Convención sobre la conservación de las especies migratorias de animales silvestres. [Online].; 2023. Available from: <https://www.cms.int/es/news/un-nuevo-e-importante-informe-de-la-onu-revela-que-el-cambio-clim%C3%A1tico-est%C3%A1-afectando>.
14. ICA. teblero informativo con la situación sanitaria actual de influenza aviar en Colombia. [Online].; 2025. Available from: <https://www.ica.gov.co/getdoc/9cde2d77-673f-4225-9990-d67593ab4f36/influenza-aviar.aspx>.
15. OMS. Zoonosis. [Online].; 2020. Available from: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/zoonoses>.
16. Alarcón RD. Ámbito jurídico. [Online].; 2024. Available from: <https://www.ambitojuridico.com/noticias/columnista-online/ambiental-y-agropecuario/la-explotacion-animal-nos-tiene-al-borde-de-una>.
17. OMS. Conexión de las prioridades globales: biodiversidad y salud humana: una revisión del estado del conocimiento. [Online].; 2015. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/connecting-global-priorities-biodiversity-and-human-health>.
18. Peters MDJ MCTAPDMZALMPGCKH. Orientación metodológica actualizada para la realización de revisiones de alcance. JBI Evid Synth. 2020 octubre; 18(10): p. 2119-2126.
19. Andrea C. Tricco PMELMWZMKKOPBHCPDLPMBDMMDJPPMTHPLWPSH. Extensión PRISMA para revisiones de alcance (PRISMA-ScR): lista de verificación y explicación. Annals of Internal Medicine. 2018; 169(7).
20. Andrea C. Tricco ELWZea. Extensión PRISMA para revisiones de alcance (PRISMA-ScR): lista de verificación y explicación. Annals of internal medicine. 2018 marzo; 169(7): p. 467-473.
21. Schneider MC, Min KD. Fifty Years of the National Rabies Control Program in Brazil under the One Health Perspective. Pathogens. 2023; 12(11): p. 1342.
22. Ahmed TAMWMMH. A short report on epidemiological investigation of dog bite cases in association with temperature rise as a part of climate change. Advancements in life sciences. 2019; 6(3): p. 106-109.
23. Koo DPKHNTTHKJLHYTTGHPQTNVHSSOJ. ¿El clima es importante para la mortalidad por rabia en humanos? Un estudio ecológico en Vietnam, 1997-2015. Preprint. 2019.
24. Neves JMM BVCCOBHM. Modelado de casos de rabia humana en Brasil en diferentes escenarios futuros de calentamiento global. International journal of environmental research and public health. 2024; 21(2): p. 212.

25. Meilan Una JVKHJNNyJ. Efectos de las características espaciales en la propagación de la influenza aviar altamente patógena (IAAP) en Corea. *International journal of environmental research and public health*. 2021; 18(8): p. 4081.
26. Henning J,PDU,VLT. Risk factors and characteristics of H5N1 Risk factors and characteristics of H5N1. *Veterinary research*. 2008; 40(3): p. 15.
27. Jonathon D. Gass J1JH,D,NN,BNyAR. Factores ecogeográficos que influyen en la propagación espacial de brotes de influenza aviar altamente patógena en Europa y Estados Unidos, 2016-principios de 2022. *International journal of environmental research and public health*. 2023; 20(11): p. 6030.
28. Raghavan RK HCGD. Bayesian Spatiotemporal Pattern and Eco-climatological Drivers of Striped Skunk Rabies in the North Central Plains. *Plos neglected tropical diseases*. 2016; 10(4): p. e0004632.
29. Kim BI,BJD,GA,CL,HK,SD,RCE. A Conceptual Model for the Impact of Climate Change on Fox Rabies in Alaska, 1980-2010. *Zoonoses Public Health*. 2013; 61(1): p. 72-80.
30. Zarza H,MME,SG,&CG. Distribución geográfica de *Desmodus rotundus* en México bajo escenarios actuales y futuros de cambio climático: implicaciones para la infección por rabia parálitica bovina. *Veterinaria México OA*. [Online].; 2017. Available from: <https://veterinariamexico.fmvz.unam.mx/index.php/vet/article/view/390>.
31. Huettmann F,MEE,HK. Modelado del nicho ecológico de la rabia en el cambiante Ártico de Alaska. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 2017; 59(1): p. 18.
32. Lee DN,PM,vDBRA. Present and potential future distribution of common Vampire bats in the Americas and the associated risk to cattle. *PLOS ONE*. 2012; 7(8): p. e42466.
33. E. Joe Moran MMMNLPLAH. Cuando las poblaciones anfitrionas se desplazan hacia el norte, pero las enfermedades se desplazan hacia el sur: efectos contraintuitivos del calentamiento climático en la propagación de enfermedades. [Online].; 2022. Available from: <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2022.01.26.477883v1.full>.
34. Yan SM WG. Trends in global warming and evolution of matrix protein 2 family from influenza A virus. *Interdisciplinary science*. 2009; 1(4): p. 272-9.
35. Atuheire CGTMBKOAJKCTOSSNMFMNTM. Variation of Rabies Incidence with Rainfall Pattern in Uganda: Neglected Implication of Climate Change on Rabies Risk. *Acta Científica Ciencias Médica*. 2023; 7(4): p. 68-72.
36. Hutter SE,KA,GSLF,LB,BK,BM,MRL,GY,CLF. Evaluación de los efectos del cambio climático y de El Niño-Oscilación del Sur sobre los brotes de rabia y la mortalidad del ganado en Costa Rica (1985-2016). *Revista veterinaria BMC*. 2018; 14(285).

37. Hayes MA PA. Evaluación de los posibles efectos del cambio climático sobre la distribución de un vector del virus de la rabia. PLoS ONE. 2018; 13(2): p. e0192887.
38. Elsobky Y,AGE,AE,BA,RG. Posibles ramificaciones de la variabilidad climática en la aparición de un brote de influenza aviar de alta patogenicidad (H5N1): estudio de caso de Menoufia, Egipto. PLoS ONE. 2020; 15(10).
39. IPCC IPoCC. Sexto informe de evaluación del IPCC. Capítulo 11: Fenómenos meteorológicos y climáticos extremos en un clima cambiante. [Online].; 2021. Available from: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-11/>.
40. Soledad Ruiz PJBFDPCBPGVMCSCMJSSSCCHO. Dinámica temporal e influencia de variables ambientales sobre la prevalencia del virus de influenza aviar en los principales humedales de Chile central. Enfermedades transforterizas y emergentes. 2020; 68(3): p. 1601-1614.
41. Maria Cristina Schneider PCRWUHTDFdSABJBdSaLFL. Rabies transmitted by vampire bats to humans: An emerging zoonotic disease in Latin America? 2009 marzo; 25(3): p. 260-9.
42. OMS. Acceso/Centro de prensa/Notas descriptivas/Detail/Zoonosis. [Online].; 2020 [cited 2021 septiembre 23]. Available from: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/zoonoses>.
43. WWF. World Wildlife Fund WWF (En español: Fondo Mundial para la Naturaleza). [Online]. [cited 2021 09 02]. Available from: https://www.wwf.org.co/que_hacemos/cambio_climatico_y_energia/.
44. OMS. Organización Mundial de la salud. [Online].; 2020 [cited 2021 09 20]. Available from: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases>.
45. Zarza H,MME,SG,CG. Evaluación de los posibles efectos del cambio climático sobre la distribución de un vector del virus de la rabia. Veterinaria México OA. 2017; 4(3).
46. Madre Xiao Yue BPM,JMC,LAO,YL,JDK,RBC,BWP,RMW,JDB. Vigilancia de la rabia en Estados Unidos durante 2017. 2018 diciembre 15; 253(12): p. 1555-1568.
47. CDC. Informe semanal de morbilidad y mortalidad (MMWR). [Online].; 2019. Available from: <https://www.cdc.gov/mmwr/volumes/68/wr/mm6823e1.htm>.
48. FAO. Documento temático sobre alimentos “energéticamente inteligentes” para las personas y el clima. [Online].; 2011. Available from: <https://www.fao.org/3/i2454e/i2454e.pdf>.
49. Henning J,PDU,VLT. Factores de riesgo y características de los brotes de influenza aviar altamente patógena (IAAP) H5N1 posteriores a la vacunación. Veterinay research. 2008; 40(3): p. 15.

50. OMS. Zero by 30: the global strategic plan to end human deaths from dog-mediated rabies by 2030. Geneva: WHO. [Online].; 2018 [cited 2024. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241513838>].
51. Freuling Conrad M. KH,ST,SR,MFX,MTCyMT. La eliminación de la rabia del zorro en Europa: determinantes del éxito y lecciones para el futuro. Phil. Trans. R. Soc. B. 2013; 368(1623).
52. Fooks ARyo. Estado actual de la rabia y perspectivas de eliminación. The Lancet. 2014 octubre; 384(9951, 1389-1399).

10. ANEXOS

Anexo 1. Lista de verificación de elementos de informes preferidos para revisiones sistemáticas y extensión de metaanálisis para revisiones de alcance (PRISMA-ScR)

SECCIÓN	ITEM	PRISMA-ScR ELEMENTO DE LA LISTA DE VERIFICACIÓN	INFORMADA EN LA PÁGINA#
Título			
Título	1	Identifique el informe como una revisión del alcance.	Haga clic aquí para ingresar texto.
RESUMEN			
Resumen estructurado	2	Proporcione un resumen estructurado que incluya (según corresponda): antecedentes, objetivos, criterios de elegibilidad, fuentes de evidencia, métodos de elaboración de gráficos, resultados y conclusiones relacionados con las preguntas y los objetivos de la revisión.	Haga clic aquí para ingresar texto.
INTRODUCCIÓN			
¿Base lógica – Fundamento?	3	Describa la justificación de la revisión en el contexto de lo que ya se sabe. Explique por qué las preguntas y los objetivos de la revisión se prestan a un enfoque de revisión de alcance.	Haga clic aquí para ingresar texto.
Objetivos	4	Proporcionar una declaración explícita de las preguntas y los objetivos que se abordan con referencia a sus elementos clave (por ejemplo, población o participantes, conceptos y contexto) u otros elementos clave relevantes utilizados para conceptualizar las preguntas y/o los objetivos de la revisión.	Haga clic aquí para ingresar texto.
METODOS			
Protocolo y registro	5	Indique si existe un protocolo de revisión; indique si se puede acceder a él y dónde (por ejemplo, una dirección web); y, si está disponible, proporcione información de registro, incluido el número de registro.	Haga clic aquí para ingresar texto.
Criterios de elegibilidad	6	Especifique las características de las fuentes de evidencia utilizadas como criterios de elegibilidad (por ejemplo, años considerados, idioma y estado de publicación) y proporcione una justificación	Haga clic aquí para ingresar texto.
Fuentes de información	7	Describa todas las fuentes de información en la búsqueda (por ejemplo, bases de datos con fechas de cobertura y contacto con los autores para identificar fuentes adicionales), así como la fecha en que se ejecutó la búsqueda más reciente.	Haga clic aquí para ingresar texto.
Búsqueda	8	Presentar la estrategia de búsqueda electrónica completa para al menos 1 base de datos, incluidos los límites utilizados, de modo que pueda repetirse.	Haga clic aquí para ingresar texto.
Selección de fuentes de evidencia	9	Indique el proceso para seleccionar las fuentes de evidencia (es decir, selección y elegibilidad) incluidas en la revisión del alcance.	Haga clic aquí para ingresar texto.

SECCIÓN	ITEM	PRISMA-ScR ELEMENTO DE LA LISTA DE VERIFICACIÓN	INFORMADA EN LA PÁGINA#
Proceso de creación de gráficos de datos‡	10	Describa los métodos para representar gráficamente los datos de las fuentes de evidencia incluidas (por ejemplo, formularios calibrados o formularios que han sido probados por el equipo antes de su uso, y si la representación gráfica de los datos se realizó de forma independiente o por duplicado) y cualquier proceso para obtener y confirmar los datos de los investigadores.	Haga clic aquí para ingresar texto.
Elementos de datos	11	Enumere y defina todas las variables para las que se buscaron datos y todas las suposiciones y simplificaciones realizadas.	Haga clic aquí para ingresar texto.
Evaluación crítica de fuentes individuales de evidencia§	12	Si se hace, proporcione una justificación para realizar una evaluación crítica de las fuentes de evidencia incluidas; describa los métodos utilizados y cómo se utilizó esta información en cualquier síntesis de datos (si corresponde).	Haga clic aquí para ingresar texto.
Síntesis de resultados	13	Describa los métodos de manejo y resumen de los datos que se graficaron.	Haga clic aquí para ingresar texto.
RESULTADOS			
Selección de fuentes de evidencia	14	Proporcione el número de fuentes de evidencia examinadas, evaluadas para su elegibilidad e incluidas en la revisión, con los motivos de las exclusiones en cada etapa, idealmente utilizando un diagrama de flujo.	Haga clic aquí para ingresar texto.
Características de las fuentes de evidencia	15	Para cada fuente de evidencia, presente las características para las cuales se graficaron los datos y proporcione las citas.	Haga clic aquí para ingresar texto.
Valoración crítica de las fuentes de evidencia	16	Si se hace, presente datos sobre la evaluación crítica de las fuentes de evidencia incluidas (ver punto 12).	Haga clic aquí para ingresar texto.
Resultados de fuentes de evidencia individuales	17	Para cada fuente de evidencia incluida, presente los datos relevantes que se graficaron y que se relacionan con las preguntas y los objetivos de la revisión.	Haga clic aquí para ingresar texto.
Síntesis de resultados	18	Resumir y/o presentar los resultados de los gráficos en relación con las preguntas y los objetivos de la revisión.	Haga clic aquí para ingresar texto.
DISCUSIÓN			
Resumen de evidencia	19	Resumir los resultados principales (incluyendo una descripción general de los conceptos, temas y tipos de evidencia disponibles), vincularlos a las preguntas y objetivos de la revisión y considerar la relevancia para los grupos clave.	Haga clic aquí para ingresar texto.
Limitaciones	20	Analice las limitaciones del proceso de revisión del alcance.	Haga clic aquí para ingresar texto.

SECCIÓN	ITEM	PRISMA-ScR ELEMENTO DE LA LISTA DE VERIFICACIÓN	INFORMADA EN LA PÁGINA#
Conclusiones	21	Proporcionar una interpretación general de los resultados con respecto a las preguntas y objetivos de la revisión, así como las posibles implicaciones y/o próximos pasos.	Haga clic aquí para ingresar texto.
FONDOS			
Fondos	22	Describa las fuentes de financiación de las fuentes de evidencia incluidas, así como las fuentes de financiación de la revisión de alcance. Describa el papel de los financiadores de la revisión de alcance.	Haga clic aquí para ingresar texto.

JBÍ = Joanna Briggs Institute; PRISMA-ScR = Elementos de informes preferidos para revisiones sistemáticas y extensión de metanálisis para revisiones de alcance.

* De dónde se compilan las fuentes de evidencia (ver segunda nota al pie), como bases de datos bibliográficas, plataformas de redes sociales y sitios web.

† Término más inclusivo y heterogéneo que se utiliza para dar cuenta de los diferentes tipos de evidencia o fuentes de datos (por ejemplo, investigación cuantitativa y/o cualitativa, opinión de expertos y documentos de políticas) que pueden ser elegibles para una revisión de alcance, en lugar de solo estudios. No debe confundirse con las fuentes de información (ver la primera nota al pie).

‡ Los marcos de Arksey y O'Malley (6) y Levac y colegas (7) y la guía del JBÍ (4, 5) se refieren al proceso de extracción de datos en una revisión de alcance como gráficos de datos.

§ Proceso de examinar sistemáticamente la evidencia de una investigación para evaluar su validez, resultados y relevancia antes de utilizarla para fundamentar una decisión. Este término se utiliza para los puntos 12 y 19 en lugar de "riesgo de sesgo" (que es más aplicable a las revisiones sistemáticas de intervenciones) para incluir y reconocer las diversas fuentes de evidencia que pueden utilizarse en una revisión de alcance (por ejemplo, investigación cuantitativa y/o cualitativa, opinión de expertos y documento de políticas).

De: Tricco AC, Lillie E, Zarin W, O'Brien KK, Colquhoun H, Levac D, et al. PRISMA Extensión para revisiones de alcance – Scoping review (PRISMA-ScR): Lista de verificación y explicación. *Ann Intern Med.* 2018;169:467–473. doi: [10.7326/M18-0850](https://doi.org/10.7326/M18-0850).