



Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre los efectos del cambio climático en el riesgo de transmisión de patógenos alimentarios

Número de referencia: AESAN-2025-002

Informe aprobado por el Comité Científico en su sesión plenaria de 3 de junio de 2025

Grupo de trabajo

Antonio Valero Díaz (Coordinador), Rosa María Capita González, Baltasar Mayo Pérez, Azucena del Carmen Mora Gutiérrez, María Dolores Rodrigo Aliaga, Gloria Sánchez Moragas y Paula Arrabal Durán (AESAN)

Comité Científico

Concepción María Aguilera García Universidad de Granada	María Pilar Guallar Castellón Universidad Autónoma de Madrid	Azucena del Carmen Mora Gutiérrez Universidad de Santiago de Compostela	María Dolores Rodrigo Aliaga Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Houda Berrada Ramdani Universitat de València	Ángel Gil Izquierdo Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Gema Nieto Martínez Universidad de Murcia	María de Cortes Sánchez Mata Universidad Complutense de Madrid
Irene Bretón Lesmes Hospital Gregorio Marañón de Madrid	Ángel José Gutiérrez Fernández Universidad de La Laguna	Silvia Pichardo Sánchez Universidad de Sevilla	Gloria Sánchez Moragas Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Rosa María Capita González Universidad de León	Isabel Hernando Hernando Universitat Politècnica de València	María del Carmen Recio Iglesias Universitat de València	Antonio Valero Díaz Universidad de Córdoba
Araceli Díaz Perales Universidad Politécnica de Madrid	Baltasar Mayo Pérez Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Ana María Rivas Velasco Universidad de Granada	María Roser Vila Casanovas Universitat de Barcelona

Secretario técnico

Vicente Calderón Pascual

Gestión técnica del informe AESAN: Paula Arrabal Durán

Resumen

El Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) ha llevado a cabo una revisión actualizada de las evidencias científicas sobre la influencia del cambio climático en la transmisión de patógenos de origen alimentario. Este fenómeno global representa una amenaza emergente para la seguridad alimentaria y la salud pública, ya que las alteraciones en los patrones climáticos como el aumento de las temperaturas, la variabilidad en las precipitaciones y los cambios en la humedad ambiental afectan directamente a la ecología, distribución y persistencia de agentes patógenos.

Diversos estudios han demostrado que microorganismos como *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp., *Escherichia coli* y especies del género *Vibrio* incrementan su prevalencia en condiciones de temperaturas elevadas. Asimismo, virus entéricos y ciertos parásitos se ven favorecidos por ambientes más húmedos e inestables. Estas condiciones también pueden contribuir al aumento de la resistencia a los antimicrobianos. La globalización de los sistemas agroalimentarios ha intensificado el impacto del cambio climático, ampliando las rutas de transmisión y facilitando la introducción de patógenos en nuevas regiones a través del comercio internacional. Este escenario no solo afecta a la seguridad alimentaria en el corto plazo, sino que plantea riesgos estructurales para la resiliencia y sostenibilidad de los sistemas alimentarios a medio y a largo plazo.

Frente a esta situación, es prioritario reforzar los sistemas de vigilancia epidemiológica mediante el uso de tecnologías emergentes, incluyendo plataformas digitales para la gestión de riesgos. Asimismo, resulta esencial fomentar la investigación interdisciplinar sobre las interacciones entre el clima y los patógenos, promover la cooperación internacional en la formulación de políticas eficaces de mitigación, y potenciar la educación y sensibilización ciudadana respecto a los riesgos alimentarios vinculados al cambio climático. La preparación ante eventos extremos, la mejora de las infraestructuras sanitarias y la inversión en tecnologías para la detección, control y eliminación de microorganismos patógenos en alimentos, agua y superficies de contacto constituyen también elementos clave de una estrategia integral de prevención.

Palabras clave

Cambio climático, patógenos alimentarios, seguridad alimentaria, globalización.

Report of the Scientific Committee of the Spanish Agency for Food Safety and Nutrition (AESAN) on the effects of climate change on the risk of transmission of foodborne pathogens

Abstract

The Scientific Committee of the Spanish Agency for Food Safety and Nutrition (AESAN) has carried out an updated review of the scientific evidence on the influence of climate change on the transmission of foodborne pathogens. This global phenomenon represents an emerging threat to food safety and public health, since alterations in weather patterns such as increased temperatures, variability in rainfall and changes in environmental humidity directly affect the ecology, distribution and persistence of pathogens.

Various studies have shown that microorganisms such as *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp., *Escherichia coli* and species of the genus *Vibrio* are more prevalent in conditions of high temperatures. Likewise, humid and unstable environments favour enteric viruses and certain parasites. These conditions may also contribute to increased antimicrobial resistance. The globalization of agri-food systems has intensified the impact of climate change, expanding transmission routes and facilitating the introduction of pathogens into new regions through international trade. This scenario not only affects food safety in the short term, but also poses structural risks for the resilience and sustainability of food systems in the medium and long term.

Faced with this situation, it is a priority to reinforce epidemiological surveillance systems through the use of emerging technologies, including digital platforms for risk management. It is also essential to promote interdisciplinary research on the interactions between the climate and pathogens, promote international cooperation in the formulation of effective mitigation policies, and enhance public education and awareness of food risks linked to climate change. Preparing for extreme events, improving health infrastructures and investing in technologies for the detection, control and elimination of pathogenic microorganisms in food, water and contact surfaces are also key elements of a comprehensive prevention strategy.

Key words

Climate change, foodborne pathogens, food safety, globalization.

Cita sugerida

Comité Científico AESAN. (Grupo de Trabajo) Valero, A., Capita, R.M., Mayo, B., Mora, A.C., Rodrigo, M.D., Sánchez, G. y Arrabal, P. Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre los efectos del cambio climático en el riesgo de transmisión de patógenos alimentarios. *Revista del Comité Científico de la AESAN*, 2025, 41, pp: 47-96.

1. Introducción

El cambio climático es una realidad inequívoca, que se refleja en el incremento de las temperaturas, la disminución de las precipitaciones, los eventos climáticos extremos o la expansión del clima de tipo semiárido y de especies exóticas invasoras. Sus efectos sobre la flora y la fauna pueden comprometer la seguridad alimentaria y, en consecuencia, la salud de los consumidores (MITECO, 2020). El cambio climático está impactando en el sistema alimentario global a través de diferentes vías directas e indirectas, planteando nuevos retos para la seguridad alimentaria y la salud humana (NIH, 2022).

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) señala que el cambio climático puede afectar a la seguridad alimentaria al modificar las dinámicas poblacionales de organismos contaminantes, como consecuencia de alteraciones en los patrones de temperatura, precipitaciones y humedad, así como por el incremento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos (IPCC, 2022a). Estos factores pueden influir en la distribución geográfica y estacional, así como a la supervivencia de patógenos causantes de enfermedades transmitidas a través de los alimentos (Ziska et al., 2016) (NIH, 2022).

Algunos ejemplos de cómo el clima influye en la biología de los organismos contaminantes incluyen los cambios en la actividad de los hongos productores de micotoxinas, alteraciones en la presencia de microorganismos en las cadenas alimentarias acuáticas (como dinoflagelados, o bacterias del género *Vibrio*), y el aumento de lluvias intensas e inundaciones que favorecen la contaminación de los pastos con microorganismos entéricos como *Salmonella*, facilitando su entrada en la cadena alimentaria humana. En entornos terrestres, muchos patógenos de transmisión alimentaria provienen de la contaminación entérica de origen humano o animal, y pueden dispersarse por el viento (por ejemplo, a través del polvo o el suelo contaminado) o mediante inundaciones, fenómenos que se ven intensificados por el cambio climático (IPCC, 2019).

En la Conferencia de las Partes sobre el Cambio Climático celebrada en Bakú en noviembre de 2024 (COP29), se abordó el impacto del cambio climático en los sistemas agroalimentarios, vinculado a la alteración de los patrones de precipitaciones, a las temperaturas impredecibles y a una mayor incidencia de fenómenos meteorológicos extremos, pudiendo estos efectos favorecer la propagación de microorganismos causantes de infecciones (COP29, 2024). El incremento de las temperaturas, en particular, podría conducir a una mayor prevalencia de las infecciones microbianas y, en consecuencia, al aumento de las resistencias a antimicrobianos a nivel mundial (Duchenne-Moutien y Neetoo, 2021). De hecho, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha documentado este fenómeno en varios países (FAO, 2020).

Todo ello refuerza la necesidad de implementar medidas para mitigar el impacto del cambio climático sobre la salud. Como ejemplo de ello, la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) participa en el Programa de Trabajo 2021-2025 del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (MITECO, 2020), actuando como entidad responsable de desarrollar acciones de comunicación sobre alimentación, salud y sostenibilidad, desde una perspectiva de cambio climático.

En este contexto, se solicita al Comité Científico de la AESAN que revise las evidencias científi-

cas disponibles en el momento actual sobre los efectos del cambio climático en la transmisión de patógenos alimentarios.

2. El cambio climático como detonante de nuevos riesgos alimentarios

Tanto la variabilidad climática como el cambio climático representan amenazas significativas para la seguridad de la cadena de suministro alimentario a través de diversas vías. Una de ellas es el posible agravamiento de las enfermedades transmitidas a través de los alimentos, afectando a aspectos como la aparición, persistencia, virulencia y, en algunos casos, a la generación de toxinas por parte de microorganismos patógenos. Además, en relación con el cambio climático, la seguridad alimentaria puede verse comprometida por peligros químicos, como plaguicidas, micotoxinas y metales pesados.

Los cambios en los patrones climáticos, como la disminución de las precipitaciones, el aumento de la temperatura del aire y la mayor frecuencia de eventos climáticos extremos, generan impactos directos e indirectos sobre la salud pública. Entre ellos se encuentran la escasez de agua segura para el riego, el uso intensificado de plaguicidas debido a la resistencia de las plagas, las dificultades para mantener una cadena de frío adecuada (afectando a la conservación segura de los alimentos), y la aparición de inundaciones que arrastran contaminantes químicos a fuentes de agua. En conjunto, estos factores pueden aumentar las enfermedades infecciosas de transmisión alimentaria, intoxicaciones, resistencia a los antimicrobianos y la bioacumulación de sustancias químicas y metales pesados en el cuerpo humano (Duchenne-Moutien y Neetoo, 2021).

El cambio climático afecta directamente a la abundancia, el crecimiento, la distribución y la supervivencia de los patógenos, lo que modifica la prevalencia de enfermedades transmitidas a través de los alimentos (Peng et al., 2023). Los patógenos pueden expandir su distribución geográfica, incrementando la propagación de enfermedades hacia nuevas áreas (Smith y Fazil, 2019). Entre los factores críticos, la seguridad del agua potable destaca como clave en la transmisión de enfermedades infecciosas reemergentes. Por ejemplo, el aumento de precipitaciones e inundaciones puede contaminar los suministros de agua, elevando el riesgo de brotes de enfermedades transmitidas a través del agua, como las provocadas por *Salmonella*, *Cryptosporidium* y virus entéricos (Lynch y Shaman, 2023).

El calentamiento global, la acidificación de los océanos, las sequías, los incendios forestales, las precipitaciones irregulares y otros eventos extremos están dañando de manera inédita los sistemas alimentarios. Incluso un único factor ambiental, como el aumento de la temperatura, puede amplificar múltiples peligros para la seguridad alimentaria, con repercusiones en la salud pública y el comercio internacional. El cambio climático afecta a la presencia de microorganismos y plagas, así como a la formación de toxinas, pudiendo dar lugar a un incremento en la incidencia e intensidad de enfermedades alimentarias. Además, condiciones como el calentamiento de aguas superficiales marinas y el aumento de nutrientes favorecen la proliferación de algas tóxicas, causando brotes de contaminación en alimentos de origen marino (EFSA, 2020) (FAO, 2020). Por ello, el cambio climático también está relacionado con alteraciones en las tasas de crecimiento de bacterias marinas patógenas y aquellas derivadas de la contaminación fecal, asociadas al aumento de la temperatura

del agua (FAO, 2018). Por ejemplo, la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) ha reportado un aumento de infecciones por *Vibrio* spp. en el Mar Báltico y predice que este riesgo continuará extendiéndose hacia el norte (Vezzulli et al., 2016) (EFSA, 2024). Además, un clima más cálido puede facilitar la mutación y transferencia genética entre microorganismos, promoviendo la aparición de variantes patógenas (FAO, 2018).

Los eventos climáticos extremos, como las olas de calor, las tormentas, las lluvias intensas y las sequías han aumentado en frecuencia e intensidad (IPCC, 2021). Estos fenómenos generan múltiples riesgos relacionados con la presencia y proliferación de patógenos, asociados, entre otros factores, a:

- Condiciones favorables para la proliferación de patógenos al afectar a sistemas de tratamiento de agua.
- Incremento en la susceptibilidad de los animales a enfermedades, aumentando la excreción de patógenos.
- Alteraciones en los patrones temporales de enfermedades infecciosas.
- Desarrollo de resistencias bacterianas debido al uso intensivo de antimicrobianos de uso veterinario. El cambio climático favorece la resistencia bacteriana al alterar temperaturas y ecosistemas, lo que incrementa el estrés en animales y fomenta el uso de antimicrobianos.
- Introducción de vectores de patógenos en nuevas zonas agrícolas.
- Transporte de agentes infecciosos hacia tierras de cultivo a través de inundaciones.

Para abordar estos desafíos, se han desarrollado iniciativas internacionales, como el proyecto CLE-FSA (2018-2020) liderado por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) en Europa. Este proyecto estableció una metodología multicriterio para evaluar riesgos emergentes relacionados con el cambio climático. Entre los riesgos identificados, se encuentran el aumento en la frecuencia y virulencia de ciertos patógenos y toxinas marinas (EFSA, 2020).

Preocupan particularmente los patógenos con baja dosis infecciosa, como los virus entéricos y *Campylobacter* spp., aquellos con alta persistencia ambiental, como el complejo *Mycobacterium avium*, y los que toleran variaciones extremas de temperatura y pH, como *Salmonella* y *Escherichia coli*. Además, algunos patógenos, como *Coxiella*, pueden ser transportados largas distancias por el viento, aumentando su capacidad de dispersión (EFSA, 2020).

En este contexto, es fundamental adaptar los sistemas de vigilancia y control para afrontar los cambios en la transmisión de enfermedades relacionadas con patógenos en un escenario de cambio climático. Diversos estudios recientes confirman que el impacto del cambio climático incrementará las toxiinfecciones de origen alimentario, así como otras enfermedades infecciosas (Dietrich et al., 2023) (Awad et al., 2024) (Liao et al., 2024). A nivel nacional, un reciente informe del Comité Científico Asesor de Seguridad Alimentaria de la Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria (ACSA) ha evaluado la relación entre el cambio climático y la seguridad alimentaria microbiológica (ACSA, 2025).

A continuación, se describen los principales patógenos asociados con el cambio climático y su repercusión en la seguridad alimentaria.

2.1 *Vibrio* spp.

Aproximadamente, el 8 % de la población mundial depende de los alimentos de origen marino como fuente de alimento e ingresos. Los principales efectos del cambio climático asociados con la contaminación de los alimentos de origen marino son el aumento de la temperatura en la capa superior del océano y su acidificación, así como una mayor frecuencia de las olas de calor marinas (Marques et al., 2010) (Kniel y Spanninger, 2017). Las especies de *Vibrio* son los principales organismos patógenos asociados a los alimentos de origen marino, y su aparición, frecuencia y gravedad se ven significativamente afectadas por el aumento de la temperatura (Marques et al., 2010). Estas bacterias pueden provocar infecciones graves, especialmente a través del consumo de mariscos crudos o poco cocinados, así como infecciones de origen no alimentario (EFSA, 2024).

Numerosas investigaciones documentan la asociación entre la aparición del cólera y las anomalías climáticas del tipo El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), que tienen un impacto significativo en los patrones climáticos extremos en distintas partes del mundo (Pascual et al., 2000) (Anyamba et al., 2019). Se espera que el cambio climático aumente la frecuencia y gravedad de los eventos ENOS, en base a las observaciones recogidas en estudios de África Oriental, Perú y Bangladesh (Martínez-Urtaza et al., 2010) (Cai et al., 2014) (Cash et al., 2014) (Moore et al., 2017).

Específicamente el calentamiento oceánico y las precipitaciones intensas, que reducen la salinidad de las aguas costeras, parecen crear condiciones favorables para la proliferación de *V. vulnificus* y *V. cholerae*, lo que podría explicar las causas de los brotes de vibriosis y cólera en áreas donde estas enfermedades son poco comunes (Vezzulli et al., 2013) (Burge et al., 2014) (Guzmán et al., 2015). Las temperaturas más cálidas del agua también se asocian con la aparición de brotes de *V. parahaemolyticus* en Alaska (Estados Unidos) (McLaughlin et al., 2005) (Martínez-Urtaza et al., 2010).

Históricamente asociado a regiones tropicales, *V. parahaemolyticus* ha sido identificado como el causante de brotes en zonas templadas como Galicia, en los que se han identificado cepas patógenas relacionadas con aislados genéticamente diversos procedentes de fuentes remotas. Un análisis filogenético a escala global mostró que la mayoría de las cepas clínicas no estaban relacionadas entre sí, lo que sugiere múltiples introducciones episódicas desde regiones distantes. El estudio identificó también dos cambios clave en la dinámica epidemiológica: la aparición inicial de casos y una transición en el patrón de brotes entre 2015 y 2016, ambos asociados a aumentos de la temperatura superficial del mar en las costas gallegas (Martínez-Urtaza et al., 2018).

Otros factores emergentes que afectan a las infecciones asociadas a *Vibrio* incluyen condiciones de sequía, emisiones de polvo y dirección del viento (FAO, 2020). Se sabe que los artrópodos (moscas adultas, quironómidos) pueden actuar como vectores aéreos de *V. cholerae* y, con el viento, esta infección bacteriana se disemina a través de la propagación del vector, tal y como se reportó en tres brotes de cólera en África y en el subcontinente indio (Broza et al., 2005) (Paz y Broza, 2007) (FAO, 2020).

Por otro lado, ciertos zooplánctones, como los copépodos, actúan como reservorios marinos de *V. cholerae* (Vezzulli et al., 2010) (Lutz et al., 2013). Se ha determinado que el cambio climático probablemente alterará la distribución de las poblaciones de zooplancton en los océanos globales, lo

que podría cambiar la prevalencia de infecciones por *Vibrio* en el mundo (Brun et al., 2019). Además, se espera que los aumentos de lluvia relacionados con los eventos ENOS incrementen el nivel de nutrientes que ingresan en los ecosistemas fluviales y costeros, desencadenando un mayor crecimiento del plancton, lo que podría promover un aumento en las poblaciones de *Vibrio* (Turner et al., 2014) (Greenfield et al., 2017). Se ha demostrado que *V. cholerae* prolifera junto con el dinoflagelado *Lingulodinium polyedra* («marea roja»), que produce yesotoxinas (Mouriño-Pérez et al., 2003). En Hong Kong RAE (China), los casos de intoxicación por ciguatera precedieron a las infecciones por *V. cholerae*, según un estudio que examinó datos de ocurrencia entre 1989 y 2001 (Kwan et al., 2003).

V. parahaemolyticus, *V. vulnificus* y *V. cholerae* no-O1/no-O139 son las especies de *Vibrio* de mayor relevancia para la salud pública en la Unión Europea a través del consumo de alimentos de origen marino. La infección por *V. parahaemolyticus* se asocia con las hemolisinas TDH y TRH, y provoca, principalmente, gastroenteritis aguda. Las infecciones por *V. vulnificus* pueden derivar en septicemia y ser mortales en individuos susceptibles. *V. cholerae* no-O1/no-O139 puede causar desde gastroenteritis leve hasta infecciones graves, incluida la septicemia, en personas vulnerables. La estimación conjunta de la prevalencia en alimentos de origen marino es del 19,6 % para *V. parahaemolyticus*, del 6,1 % para *V. vulnificus*, y del 4,1 % para *V. cholerae* no colerígena. Aproximadamente, uno de cada cinco productos positivos para *V. parahaemolyticus* contiene cepas patógenas (EFSA, 2024). Se ha detectado un amplio espectro de resistencias a antimicrobianos en *Vibrio* aislados de alimentos de origen marino o infecciones alimentarias en Europa, algunas de ellas intrínsecas. Además, cada vez se identifican con mayor frecuencia genes de resistencia a antimicrobianos de importancia médica asociados a elementos genéticos móviles. Si bien existen medidas como el procesado a alta presión, la irradiación o la depuración, que pueden reducir los niveles de *Vibrio* en alimentos de origen marino, el mantenimiento de la cadena de frío es clave para evitar su proliferación. Según la última evaluación de la EFSA (2024), se prevé que la prevalencia de *Vibrio* en mariscos aumente tanto a escala mundial como en Europa debido al cambio climático, especialmente en aguas de baja salinidad o salobres. Se estima que, a medida que continúen las tendencias actuales de calentamiento, aumentarán tanto las tasas de infección como la carga de estas enfermedades, incluyendo infecciones en poblaciones vulnerables que carecen de inmunidad. Estos hallazgos subrayan la necesidad de vigilancia continua y de la implementación de nuevas estrategias de alerta temprana y de predicción basadas en el aprendizaje automático (*machine learning*) que ya se están probando para predecir factores ambientales complejos (Campbell et al., 2025).

2.2 *Aeromonas* spp.

Son bacterias ubicuas en todos los ecosistemas acuáticos. Pueden aislarse de ríos, lagos, estanques, agua de mar, agua potable, aguas subterráneas, aguas residuales y aguas residuales en diversas fases de tratamiento (Janda y Abbott, 2010). *Aeromonas* spp. también se encuentran en el suelo y en las plantas (Lamy et al., 2022), y se han detectado en insectos quironómidos (Laviad y Halpern, 2016), y en el tracto intestinal de crustáceos (Zhao et al., 2018), peces (Ofek et al., 2021), aves (Laviad-Shitrit et al., 2018) y mamíferos (Lamy et al., 2022). Muestran una notable adaptabilidad

a factores ambientales en constante cambio, y el cambio climático parece influir directamente en su virulencia y patogenicidad.

Originariamente, *Aeromonas* spp. se asociaban a infecciones en peces y otros animales de sangre fría, pero esta bacteria también afecta a animales inmunodeprimidos y hospedadores humanos, provocando infecciones de heridas, celulitis, septicemia e infecciones del tracto urinario (Schwartz et al., 2024). Muchas infecciones se han asociado al contacto previo con el agua durante el baño o la pesca o al contacto con alimentos de origen animal (Spadaro et al., 2014) (Couturier et al., 2017) (Ganiatsa et al., 2020). Además, se han notificado casos de Síndrome Urémico Hemolítico (SUH) asociados a *Aeromonas* (Figueras et al., 2007) (Castellano-Martinez et al., 2019), en los que se asumió la transmisión alimentaria.

En la actualidad, están descritas 36 especies de *Aeromonas*. *A. hydrophila*, *A. dhakensis*, *A. veronii*, *A. salmonicida* y *A. caviae* causan importantes pérdidas económicas en la industria de la acuicultura en todo el mundo (Pang, 2023). Las cepas más frecuentemente aisladas de muestras clínicas humanas pertenecen a las especies *A. hydrophila*, *A. caviae* y *A. veronii* biovar sobria (Ruiz de Alegría-Puig et al., 2021) (Pessoa et al., 2022).

El aumento de las temperaturas y el cambio de las condiciones ambientales afectan a su crecimiento, la formación de biopelículas y la resistencia a los antimicrobianos. Así, a medida que aumentan las temperaturas, se incrementa la producción de biopelículas, lo que puede aumentar la virulencia de estos patógenos asociada a la capacidad de resistencia a condiciones de estrés ambiental. Además, algunas cepas muestran patrones alterados de resistencia a los antimicrobianos con los cambios de temperatura y pH, lo que sugiere que los cambios ambientales inducidos por el clima podrían promover infecciones por *Aeromonas* spp. más difíciles de tratar (Grilo et al., 2021).

Un estudio realizado en Bangladesh, que investigó la presencia de *Aeromonas* spp. en estanques de agua dulce durante 2 años, reveló que la cantidad de bacterias aumenta en dos momentos específicos del año, antes y después de la temporada de monzones, y que este aumento está directamente relacionado con la temperatura del agua (Sadique et al., 2021). En cuanto a la diversidad de especies, *A. veronii* biovar *sobria* fue la especie predominante, representando el 27 % de los 200 aislados caracterizados. Otras especies identificadas incluyeron *A. schubertii* (20 %), *A. hydrophila* (17 %) y *A. caviae* (13 %). Las conclusiones del estudio resaltan que la presencia de especies de *Aeromonas* con potencial de virulencia multifactorial en estanques domésticos, que a menudo se utilizan como fuentes de agua potable en la región costera de Bangladesh, representa un riesgo potencial significativo para la salud pública, especialmente en el contexto del calentamiento global.

Otros estudios recientes han evidenciado que el aumento de la temperatura del agua, los bajos niveles de oxígeno disuelto y las variaciones en el pH impactan en la tasa de crecimiento de *Aeromonas* spp. y en la expresión de genes de virulencia, lo que incrementa el riesgo de infecciones tanto en peces como en humanos. Este mecanismo es particularmente relevante en *A. hydrophila*, que es responsable de numerosos brotes en la acuicultura y posee potencial zoonótico (Abdella et al., 2024) (Judan et al., 2024). Como proyección para futuros estudios, se sugiere el desarrollo de estrategias de mitigación en la acuicultura, mediante la regulación de factores ambientales y la im-

plementación de prácticas de manejo sostenibles en esta industria, con el fin de reducir los riesgos que plantea *Aeromonas* spp. en un escenario de cambio climático.

2.3 *Salmonella* spp.

Es un microorganismo entérico zoonótico altamente persistente en aves de corral, así como la principal causa de gastroenteritis aguda a nivel mundial (Jiang et al., 2015). Según Herrera et al. (2016), investigaciones previas han documentado que las infecciones por *Salmonella* son directamente proporcionales a la temperatura. En la actualidad, en Europa, la mayor parte de los casos de salmonelosis se notifican durante los meses de verano y, además, la incidencia de *Salmonella* es menor en los países más fríos del norte en comparación con aquellos con climas más cálidos (Dietrich et al., 2023). En varios países (Irlanda, Australia, Nueva Zelanda y Estados Unidos, entre otros) se ha encontrado que, para temperaturas superiores a 5 °C, la salmonelosis aumenta entre un 5 y un 10 % por cada incremento de 1 °C en la temperatura semanal (Tirado et al., 2010) (Zhang et al., 2010) (Wu et al., 2016) (Khan et al., 2021). En este sentido, se estima que el calentamiento relacionado con el cambio climático favorecerá la colonización y el crecimiento de *Salmonella* en pollos de engorde (Jiang et al., 2015), lo cual, de no existir una adecuada vigilancia y buenas prácticas de higiene y manipulación, podrá suponer un aumento de transmisión de la enterobacteria a lo largo de la cadena alimentaria. Sin embargo, cuestiones metodológicas, como la alta correlación entre las variables climáticas (temperatura ambiente, pluviometría y humedad relativa), dificultan la identificación de factores explicativos reales y la predicción del riesgo.

2.4 *Campylobacter* spp.

Es un patógeno ubicuo en determinados animales de granja y se posiciona como el agente etiológico de las zoonosis más frecuentemente notificadas en Europa durante 2023 (EFSA/ECDC, 2024). En un estudio de revisión bibliográfica llevado a cabo por Austhof et al. (2024), se concluye que la temperatura, el aumento de las inundaciones y las fluctuaciones en los periodos de lluvia y sequía están asociados con un aumento de las infecciones por *Campylobacter* en humanos. Asimismo, la proximidad entre actividades agrícolas y operaciones ganaderas incrementa significativamente el riesgo de infecciones por *Campylobacter*. Uno de los motivos es que los inviernos más templados pueden favorecer la supervivencia de diversos vectores de *Campylobacter*, como las moscas, lo que se prevé resultará en un aumento significativo de los casos de campilobacteriosis (FAO, 2020). En general, en el contexto del cambio climático y la variabilidad climática, en las próximas décadas se estima un incremento del 3 % en la incidencia de campilobacteriosis, incluyendo aquellas formas transmitidas por vectores (Duchenne-Moutien y Neetoo, 2021). En este sentido, ya se ha cuantificado que, entre 1999 y 2010 en Israel, un aumento de 1 °C por encima del umbral de temperatura de 27 °C resultó en un incremento del 16,1 % en infecciones por *C. jejuni* y del 18,8 % por *C. coli* en todos los grupos de edad (FAO, 2020).

2.5 *Escherichia coli* patogénico

Escherichia coli es una enterobacteria ubicua que forma parte, como especie predominante, de

la microbiota normal aerobia y anaerobia facultativa del tubo digestivo en la mayor parte de los mamíferos y las aves. Si bien la mayoría de las cepas de *E. coli* son miembros no patógenos de la microbiota intestinal, donde juega un papel inocuo o incluso beneficioso para el hospedador, algunas cepas son patógenas debido a la adquisición de factores de virulencia específicos que les confieren la capacidad de producir una amplia variedad de infecciones en seres humanos y animales, tanto de tipo entérico (diarreas, disentería, colitis hemorrágica, Síndrome Urémico Hemolítico y enfermedad de los edemas) como extraintestinales (infecciones del tracto urinario, bacteriemias o septicemias, meningitis, peritonitis, mastitis, e infecciones respiratorias y de heridas). En base a los mecanismos de patogénesis y los factores de virulencia que poseen los *E. coli* diarreaagénicos, se han englobado en seis grupos o categorías: *E. coli* enteropatogénicos (EPEC); *E. coli* enterotoxigénicos (ETEC); *E. coli* enteroinvasivos (EIEC); *E. coli* enterohemorrágicos, verotoxigénicos o productores de toxinas Shiga (EHEC/VTEC/STEC); *E. coli* enteroagregativos (EAEC); y *E. coli* con adherencia difusa (DAEC). El grupo de los EHEC/VTEC/STEC es un grupo de cepas de *E. coli* capaces de producir toxinas muy similares a la toxina producida por *Shigella dysenteriae* tipo 1 (AESAN, 2012). Concretamente, *E. coli* productora de toxina Shiga (STEC) fue el tercer agente zoonótico notificado con mayor frecuencia en humanos en 2023 (10 217 casos humanos confirmados de infecciones con 3285 hospitalizaciones), después de *Campylobacter* spp. y *Salmonella* spp. (EFSA, 2024).

La proliferación de *E. coli* en el medio ambiente también se ve afectada por el aumento de las temperaturas, lo que eleva el riesgo de transmisión, contaminación e infección través de la cadena alimentaria (Balta et al., 2024). Por ejemplo, EHEC O157 (*E. coli* enterohemorrágico), conocida por causar brotes severos frecuentemente vinculados al consumo de carne poco cocinada y vegetales crudos, puede proliferar en condiciones más cálidas, lo que amplifica su transmisión durante las olas de calor. En un estudio realizado en Reino Unido entre 2015 y 2019, Gilligham et al. (2023) observaron que los casos confirmados de cepas de *E. coli* productoras de toxina Shiga (STEC) aumentaron durante los meses de abril y mayo, alcanzando su punto máximo entre junio y septiembre. En Inglaterra, durante el mismo período, los casos de STEC se incrementaron de abril a julio (en 2016) o agosto (en los demás años), y después disminuyeron (OMS, 2019). Estudios similares concluyen que existe relación entre el incremento de temperatura y la concentración de *E. coli* en ostras (Billah y Rahman, 2022), en leche de vaca no pasteurizada (Feliciano et al., 2021) y en vegetales de hoja (Duchenne-Moutien y Neetoo, 2021).

Por otro lado, las lluvias intensas y las inundaciones pueden afectar a las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, dificultando su procesado y resultando en un tratamiento ineficiente. Esto es particularmente preocupante, ya que las cepas de *E. coli* enterotoxigénica (ETEC) se transmiten, principalmente, a través del agua contaminada y es una de las principales causas de la diarrea del viajero en regiones en desarrollo con saneamiento deficiente. Por ejemplo, en un estudio llevado a cabo por Aijuka y Buys (2019) en Bangladesh, se correlacionó la formación de biopelículas de ETEC en superficies en contacto con el agua potable con los meses cálidos y húmedos, y con el incremento en enfermedades diarreicas.

En cuanto a las prácticas agrícolas, los fenómenos asociados al cambio climático pueden influir en la incidencia de los diferentes patotipos de *E. coli*. El aumento de la temperatura y las modifica-

ciones en las precipitaciones afectan a su persistencia y distribución en los cultivos, destacando el riesgo de presencia de *E. coli* enteroagregativos (EAEC) y *E. coli* con adherencia difusa (DAEC), por su capacidad de adherirse a las plantas. Además, el uso de aguas residuales no tratadas para riego, impulsado por la escasez de agua, puede introducir *E. coli* patógena en la cadena alimentaria, generando preocupaciones sanitarias. Asimismo, cepas enteropatógenas como *E. coli* enteropatógenos (EPEC) y *E. coli* enteroinvasivos (EIEC), asociadas con transmisión persona a persona y brotes alimentarios, podrían ver alteradas sus dinámicas de transmisión debido a cambios en el comportamiento humano y las prácticas de higiene durante eventos climáticos extremos (Balta et al., 2024).

2.6 Hongos productores de micotoxinas

Las micotoxinas son metabolitos secundarios producidos por hongos filamentosos que pertenecen principalmente a los géneros *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* y *Alternaria*. Las micotoxinas más tóxicas incluyen las aflatoxinas, la zearalenona, los tricotecenos, las fumonisinas y las ocratoxinas, ya que poseen propiedades carcinogénicas e inmunosupresoras, afectando tanto a los seres humanos como a los animales (Ostry et al., 2017) (Agriopoulou et al., 2020) (AESAN, 2021).

Los hongos micotoxigénicos pueden colonizar diversos cultivos básicos, como el maíz, el arroz, el trigo, así como frutos secos, café, granos, frutas desecadas, especias, cultivos forrajeros, frutas y verduras, y en estos, a su vez, pueden producir micotoxinas que afectan a la seguridad alimentaria. Por ejemplo, existe una creciente preocupación por las enfermedades fúngicas causadas por *Fusarium* y *Aspergillus* spp. en cultivos básicos, ya que no solo provocan pérdidas de rendimiento, sino que también son productores de micotoxinas que ingresan a la cadena alimentaria (Balendres et al., 2019) (Agriopoulou et al., 2020).

Se cree que la contaminación de los alimentos por micotoxinas se ve agravada por los efectos del cambio climático (FAO, 2020) (Duchenne-Moutien y Neetoo, 2021). Los principales factores climáticos involucrados en la ocurrencia y prevalencia de los hongos micotoxigénicos son la temperatura y la humedad. Además, se ha encontrado que los cambios en los patrones de lluvia también incrementan el riesgo de aparición de micotoxinas de diversas maneras (FAO, 2020). Las condiciones de sequía pueden debilitar las defensas naturales de los cultivos, haciéndolos más susceptibles al crecimiento de hongos y la producción de toxinas, mientras que las fuertes lluvias seguidas de altas temperaturas pueden generar humedad que favorece el crecimiento fúngico. Algunos factores secundarios que afectan a la contaminación por micotoxinas en los cultivos incluyen el desplazamiento de especies fúngicas existentes por hongos más virulentos, los ataques de plagas, la pérdida de eficacia de fungicidas y plaguicidas, y los cambios en la distribución geográfica de los insectos (FAO, 2020).

La EFSA llevó a cabo un proyecto para modelar, predecir y cartografiar el posible aumento de la contaminación por aflatoxina B1 en cereales dentro de la Unión Europea debido al cambio climático (Battilani et al., 2012). Este proyecto, finalizado en 2012, utilizó escenarios de cambio climático para evaluar el riesgo de crecimiento de *Aspergillus flavus* y la consiguiente producción de aflatoxinas en cultivos de cereales clave como el maíz, el trigo y el arroz. Los hallazgos indicaron que las con-

diciones climáticas más cálidas y húmedas previstas en el centro y norte de Europa, podrían elevar la probabilidad de proliferación de *A. flavus* en los cultivos de maíz, lo que representa un riesgo significativo para la salud debido a la naturaleza carcinogénica de las aflatoxinas. El estudio destacó el impacto directo de las variaciones estacionales y el aumento de las temperaturas globales en los niveles de aflatoxinas en los cereales. El informe de la EFSA enfatizó la necesidad de un monitoreo continuo y la implementación de buenas prácticas agrícolas y postcosecha para mitigar estos riesgos emergentes (Battilani et al., 2012).

De igual forma, el informe del Comité Científico de la AESAN en relación a los efectos del cambio climático sobre la presencia de micotoxinas en los alimentos (AESAN, 2021) señala que las evidencias científicas apuntan a una redistribución geográfica de la incidencia de las diferentes micotoxinas, y que, centrándonos en el sur de Europa, cabe esperar un claro incremento de la incidencia de aflatoxinas en maíz, tradicionalmente ligadas a climas tropicales, y también un agravamiento del problema ya existente de fumonisinas en este mismo cereal. Asimismo, los patrones de temperatura y precipitación proyectados para el cambio climático en Europa sugieren que áreas como el centro y norte de Europa podrían ver un aumento en la presencia de *A. flavus* y *A. parasiticus* debido a un clima más cálido y húmedo, lo que aumenta el riesgo de contaminación en alimentos básicos, sobre todo en el maíz y los frutos secos. Esto representa un desafío significativo para la seguridad alimentaria, ya que las aflatoxinas son altamente tóxicas y estables al tratamiento por calor, siendo difíciles de eliminar durante el procesamiento de alimentos (Medina et al., 2014).

Estudios más recientes apuntan en la misma dirección: el aumento en temperaturas y las fluctuaciones de precipitación pueden generar condiciones que favorecen la contaminación de los cultivos por *A. flavus*. Por ejemplo, en Illinois (Estados Unidos), los modelos geoespaciales muestran que tanto el aumento de lluvias durante el periodo pre-siembra como temperaturas más altas durante la floración y cosecha, se asocian con mayores niveles de contaminación por aflatoxinas y fumonisinas (Castano-Duque et al., 2023).

2.7 Virus entéricos

El cambio climático influye significativamente en la transmisión de enfermedades víricas alimentarias al modificar las condiciones ambientales que favorecen la persistencia y propagación de patógenos en la cadena alimentaria. En particular, el aumento de las temperaturas globales podría reducir la persistencia de los virus entéricos en el medio ambiente y en los alimentos; sin embargo, este mismo calentamiento puede promover el crecimiento bacteriano en estas matrices, lo que a su vez facilita la formación de biopelículas que, de forma indirecta, ofrecen un entorno protector para dichos virus, contrarrestando parcialmente el efecto negativo del calor sobre su supervivencia (Samandougou et al., 2021) (Gagné et al., 2022). Paralelamente, la mayor frecuencia de eventos climáticos extremos como inundaciones y sequías crea entornos propicios para la contaminación de cultivos y alimentos con virus entéricos, como los norovirus y el virus de la hepatitis A. Además, la globalización de los sistemas alimentarios amplifica estos riesgos, ya que alimentos contaminados pueden distribuirse rápidamente a nivel internacional.

Otro factor preocupante es el impacto del estrés hídrico asociado al cambio climático, que fo-

menta el uso de aguas residuales tratadas para el riego (Girón-Guzmán et al., 2024). Si los sistemas de tratamiento no son adecuados, los virus resistentes al medio ambiente pueden sobrevivir y contaminar los alimentos. En conjunto, estas dinámicas ponen en riesgo la seguridad alimentaria y subrayan la necesidad de reforzar la vigilancia sanitaria, la implementación de estándares más estrictos en el manejo del agua y la promoción de prácticas agrícolas seguras frente a los desafíos del cambio climático.

2.8 Parásitos

Los parásitos de transmisión alimentaria, la mayoría de los cuales son agentes zoonóticos, representan un peligro importante para la salud pública. Estos patógenos alimentarios, que incluyen protozoos (por ejemplo, *Cryptosporidium* spp., *Cyclospora cayetanensis* o *Toxoplasma gondii*) y helmintos (por ejemplo, *Fasciola* spp., *Paragonimus* spp., *Echinococcus* spp., *Taenia* spp., *Angiostrongylus* spp., *Anisakis* spp., *Ascaris* spp., *Capillaria* spp., *Toxocara* spp., *Trichinella* spp. o *Trichostrongylus* spp.), han acompañado a la especie humana desde sus orígenes. Los cambios, persistentes o extremos, de temperatura, nivel de precipitaciones, humedad y contaminación atmosférica asociados con el cambio climático tienen una influencia directa en los ciclos de vida de los parásitos transmitidos a través de los alimentos, incrementando o reduciendo la supervivencia e infectividad de las formas parasitarias presentes en el ambiente. Además, estos factores pueden afectar a la biología de los hospedadores (por ejemplo, aumentando su distribución), incrementar el contacto entre parásito y hospedador o alterar la salud de las poblaciones susceptibles, lo que podría aumentar la prevalencia de las enfermedades parasitarias (Froeschke et al., 2010) (Liao et al., 2024). Por ello, aunque menos reconocidas que otras consecuencias del cambio climático, la emergencia y reemergencia de determinadas enfermedades parasitarias es, en la actualidad, un motivo importante de preocupación (Short et al., 2017). Hay que señalar, sin embargo, que los efectos del cambio climático sobre los parásitos transmitidos a través de los alimentos son muy complejos. En la Tabla 1 se muestra la influencia del cambio climático y la globalización sobre algunos parásitos de transmisión alimentaria.

Tabla 1. Influencia de la globalización y el cambio climático en los parásitos transmitidos a través de los alimentos

Parásitos	Cambio climático		Globalización	
	Factores que favorecen el incremento de la prevalencia de infecciones humanas	Factores que favorecen el descenso de la prevalencia de infecciones humanas	Factores que favorecen el incremento de la prevalencia de infecciones humanas	Factores que favorecen el descenso de la prevalencia de infecciones humanas
<i>Cyclospora cayentanensis</i> , <i>Cryptosporidium</i> spp., <i>Giardia duodenalis</i>	Reducción de las fuentes de agua potable Incremento del empleo de aguas residuales no tratadas para el riego de los vegetales	Reducción de la supervivencia de oocistos en el ambiente como consecuencia del aumento de temperaturas y periodos de sequía	Aumento del número de viajeros	-
<i>Toxoplasma gondii</i>	Reducción de las fuentes de agua potable Incremento del empleo de aguas residuales no tratadas para el riego de los vegetales	Reducción de la supervivencia de oocistos en el ambiente como consecuencia del aumento de temperaturas y periodos de sequía	Introducción de cepas atípicas en países no endémicos procedentes de países endémicos	Aumento del conocimiento del peligro Aumento del consumo de cerdos de producción industrial
<i>Ascaris</i> spp. <i>Trichuris trichura</i>	Reducción de las fuentes de agua potable Incremento del empleo de aguas residuales no tratadas para el riego de los vegetales	Reducción del uso de estiércol de origen humano como fertilizante de huertos Incremento del uso de letrinas e inodoros	-	Aumento de higiene personal Aumento del tratamiento apropiado de heces humanas
<i>Trichinella</i> spp.	Incremento de la población de jabalíes	Reducción del tiempo de supervivencia de las larvas en los cadáveres de los hospedadores Reducción del hábitat silvestre	Importación ilegal de carne Introducción de nuevos hábitos alimentarios Introducción de nuevas especies hospedadoras	Aumento de la cría de cerdos bajo adecuados sistemas de contención
<i>Echinococcus granulosus</i> s.l.	Escorrenría de pastos Aumento del empleo de aguas residuales Disminución del agua potable	Reducción de la supervivencia de los huevos en el ambiente como consecuencia del aumento de las temperaturas y duración de los periodos de sequía	Inmigración de pastores y rebaños de países endémicos a países no endémicos	Mejora de las prácticas de higiene personal

Tabla 1. Influencia de la globalización y el cambio climático en los parásitos transmitidos a través de los alimentos			
Parásitos	Cambio climático		Globalización
	Factores que favorecen el incremento de la prevalencia de infecciones humanas	Factores que favorecen el descenso de la prevalencia de infecciones humanas	Factores que favorecen el incremento de la prevalencia de infecciones humanas
<i>Echinococcus multilocularis</i>	Incremento de las poblaciones de roedores en áreas urbanas y periurbanas Disminución de fuentes de agua de calidad	-	Introducción de perros infestados de regiones endémicas hacia regiones no endémicas
Parásitos hepáticos	-	-	Importación de peces infectados Introducción de nuevos hábitos alimentarios
<i>Fasciola</i> spp.	Aumento de zonas inundadas por el aumento de las lluvias torrenciales	Reducción de la supervivencia de las cercarias como consecuencia del aumento de las temperaturas y duración de los periodos de sequía	Introducción de animales infectados de países endémicos hacia países no endémicos
<i>Taenia saginata</i>	Aumento del empleo de agua de mala calidad para el ganado vacuno	-	Introducción de ganado vacuno infectado de países endémicos hacia países no endémicos Aumento de personas que defecan en zonas de pasto de ganado vacuno
<i>Taenia solium</i>	-	Reducción de la supervivencia de los huevos en el ambiente como consecuencia del aumento de las temperaturas y duración de los periodos de sequía	Incremento de los controles del ganado vacuno destinado al mercado internacional Disminución de la producción de cerdos en corrales domésticos y al aire libre Incremento del uso de letrinas e inodoros inaccesibles a los cerdos

Fuente: (Pozio, 2020).

El cambio climático conduce a un aumento de las temperaturas y cambios en los patrones de precipitación que, generalmente, crean un ambiente propicio para el crecimiento y la supervivencia de los parásitos transmitidos a través de los alimentos. Por ejemplo, las temperaturas más cálidas pueden incrementar la tasa metabólica de los parásitos, permitiéndoles reproducirse de forma más rápida y alcanzar niveles poblacionales más altos (Dietrich et al., 2023). Además, los patrones de precipitación alterados pueden aumentar la humedad, mejorando la supervivencia y dispersión de los parásitos (Polley, 2015).

Un efecto claro y marcado del efecto del cambio climático sobre las enfermedades parasitarias puede observarse en el caso de los trematodos, en los que la temperatura afecta directamente a etapas cruciales de su ciclo vital. Así, la formación y emergencia de las formas infectivas de vida libre (cercarias) en los primeros hospedadores intermediarios (moluscos) presentan una fuerte correlación positiva con la temperatura (Poulin, 2006). Al mismo tiempo, la infectividad de las cercarias en los segundos hospedadores intermediarios (invertebrados o peces, dependiendo de la especie) también está positivamente correlacionada con la temperatura (Studer et al., 2013). Puesto que la transmisión de las cercarias es una etapa crucial en el ciclo de vida de los trematodos, se ha sugerido que el calentamiento global podría incrementar sustancialmente las tasas de infección de los hospedadores (Marcogliese, 2001) (Poulin, 2006). Sin embargo, si bien una temperatura elevada acelera el desarrollo de los parásitos en el ambiente y en los hospedadores ectotérmicos, acorta el tiempo de supervivencia de los huevos, larvas y quistes/ooquistes (Mignatti et al., 2016). Un aumento de la temperatura como consecuencia del cambio climático puede favorecer también el establecimiento en regiones templadas de parásitos procedentes de áreas tropicales, como ocurre con *C. cayetanensis* (Semenza et al., 2012a).

Una humedad elevada favorece la supervivencia de los huevos, larvas y quistes/ooquistes parasitarios. Por su parte, las lluvias intensas asociadas al cambio climático contribuyen a la diseminación de huevos, ooquistes y quistes por medio del agua contaminada (Jiménez et al., 2010). Se ha observado también que los periodos de sequía reducen la supervivencia de huevos, larvas, quistes y ooquistes parasitarios en el ambiente (Mignatti et al., 2016), pero incrementan su concentración en el agua, por lo que en ausencia de recursos hídricos de calidad aumenta el riesgo de brotes por consumo de agua contaminada.

En este contexto, el cambio climático puede ejercer presión sobre las explotaciones agrícolas, que intentan mantener su productividad durante los periodos de sequía y de precipitaciones intensas a costa de incrementar el uso de fertilizantes (Lal, 2004). Los fertilizantes de origen animal pueden contener algunas formas parasitarias. Por otro lado, los eventos de fuertes lluvias, que pueden aumentar en frecuencia e intensidad debido al cambio climático, arrastran los fertilizantes en los cursos de agua locales (Joseph et al., 1991). Las lluvias intensas pueden extraer los quistes y ooquistes del suelo y el pasto (Smith et al., 1989) y estos eventos se han asociado, por ejemplo, con brotes de criptosporidiosis y giardiasis (Hunter, 2003).

Una vez que estos parásitos se encuentran en una vía fluvial, pueden ocurrir dos escenarios. En primer lugar, las lluvias extremas y las inundaciones hacen que algunas plantas de tratamiento de aguas residuales no puedan adaptarse al gran volumen de efluentes que reciben. Las plantas

de tratamiento de aguas residuales suelen estar equipadas con sistemas de desbordamiento que provocan que el exceso de agua residual no sea sometido al tratamiento de depuración, salvo por lo que respecta al paso a través de un filtro primario que elimina los residuos de gran tamaño. Estas aguas residuales con microorganismos (incluidos parásitos) infectivos regresan a la vía fluvial sin tratar. Este problema se agrava en el caso de regiones insulares, que se inundan fácilmente durante los fenómenos climáticos extremos, como huracanes, llegando a contaminarse incluso las aguas subterráneas (Detay et al., 1989). Por ejemplo, en 1987, se observó un aumento repentino de los casos de amebiasis en las islas Chuuk, de los Estados Federados de Micronesia, como consecuencia del tifón Nina (Short et al., 2017).

En segundo lugar, los parásitos presentes en las vías fluviales pueden resistir a los tratamientos de desinfección usados durante la depuración y potabilización del agua. Por ejemplo, los ooquistes de *Cryptosporidium* spp. son resistentes a los compuestos clorados (Korich et al., 1990). Otros métodos de desinfección, como la luz ultravioleta (UVA), no siempre son efectivos para inactivar estos ooquistes. La temperatura del agua y el tiempo de exposición a la luz UVA influyen en la eficacia de estos tratamientos (Morita et al., 2002). En cualquiera de los casos indicados, las personas pueden entrar en contacto con el agua contaminada e ingerir los parásitos.

Por lo que respecta concretamente a los helmintos, estos parásitos interactúan directamente con el medioambiente cuando una parte de su vida tiene lugar fuera de los hospedadores. Algunos nematodos, como *Ascaris lumbricoides* y *Trichuris trichura*, están presentes en el suelo antes de infectar al hospedador, y ciertos componentes del suelo pueden estar alterados como consecuencia del cambio climático (Weaver et al., 2010). Las temperaturas elevadas pueden acelerar el desarrollo de las larvas (Kim et al., 2012). Un incremento de las precipitaciones puede prevenir la desecación de los huevos y las larvas permitiendo así unas mayores tasas de supervivencia (Weaver et al., 2010). Por otro lado, las regiones con poca lluvia suelen disponer de pocos recursos para mantener la higiene personal, lo que puede incrementar la prevalencia de infecciones por *A. lumbricoides* y *T. trichuria*. En este sentido, se ha observado una creciente incidencia de infecciones humanas por *Fasciola* spp. como consecuencia del aumento de las lluvias torrenciales (Pozio, 2020).

El cambio climático también afecta a la distribución y el comportamiento de los animales hospedadores. Por ejemplo, modificaciones en los patrones de temperatura y precipitaciones pueden provocar cambios en la distribución geográfica de los hospedadores, lo que lleva a la expansión de las poblaciones de parásitos a nuevas áreas (Utaaker y Robertson, 2015). Además, las alteraciones en el comportamiento del hospedador, como modificaciones en los patrones de migración, pueden aumentar la probabilidad de transmisión de parásitos (Lafferty, 2009). En último término, el aumento de la prevalencia y distribución de parásitos puede incrementar la contaminación de los alimentos, lo que supone un peligro para la salud humana (Short et al., 2017) (Pandey et al., 2023).

Por el contrario, el calentamiento y las altas temperaturas pueden provocar la inactivación de algunas formas de dispersión de los parásitos. Las temperaturas elevadas y los períodos de sequía prolongada reducen la supervivencia en el medioambiente de *Echinococcus granulosus*, *Echinococcus multilocularis*, *Taenia saginata*, *Taenia solium*, hecho que también se ha observado en el caso de las cercarias de *Fasciola* spp. y los ooquistes de *Cyclospora cayetanensis*, *Cryptosporidium*

spp. y *Giardia duodenalis*, lo que resulta en una disminución en la prevalencia de infecciones humanas por parásitos transmitidos a través de los alimentos (Pozio, 2020).

Además, estudios recientes indican que algunos factores ambientales pueden reducir el riesgo de enfermedades para los animales hospedadores, por ejemplo, a través de la depredación de formas de vida libre de los parásitos. Esta se refiere a la eliminación de las etapas del parásito que existen fuera del hospedador (por ejemplo, huevos, larvas o formas infecciosas presentes en el agua, el suelo o los alimentos) por parte de depredadores naturales como protozoos, copépodos, insectos acuáticos u otros microorganismos. Esta interacción ecológica puede reducir la carga parasitaria en el ambiente, disminuyendo así el riesgo de infección para los hospedadores humanos o animales. Las dinámicas parásito-hospedador no están influenciadas por condiciones abióticas, como la temperatura, pero sí por interacciones con otras especies en el ambiente. Por ejemplo, algunos organismos de la comunidad ecológica de la que forma parte un sistema parásito-hospedador pueden provocar una reducción en el riesgo de ciertas enfermedades a través de un fenómeno denominado «efecto dilución». Este efecto está principalmente relacionado con la compatibilidad variable del hospedador, donde la presencia de hospedadores de baja compatibilidad conduce a una reducción en el riesgo de enfermedad para los hospedadores competentes (Keesing et al., 2006). Sin embargo, el concepto inicial ha sido recientemente ampliado para incluir los efectos de las especies que no sirven como hospedadores (Johnson y Thieltges, 2010) (Johnson et al., 2010). Cuando esos animales no hospedadores consumen las formas infectivas de vida libre de los parásitos pueden interferir en su transmisión (Keesing et al., 2006) y provocar niveles reducidos de infección en el hospedador objetivo (Johnson y Thieltges, 2010). Estudios experimentales y observacionales, tanto de laboratorio como de campo, indican que tales efectos de depredación afectan a diferentes parásitos con etapas de vida libre (Thieltges et al., 2009) (Orlofské et al., 2012) (Welsh et al., 2014), sugiriéndose como mecanismos regulatorios importantes para muchas enfermedades parasitarias (Keesing et al., 2010) (Ostfeld y Keesing, 2012).

En base a la correlación generalmente positiva entre las tasas metabólicas de los organismos ectotérmicos y la temperatura ambiente (Schmidt-Nielsen, 1997), la intensidad de depredación de formas parasitarias por estos animales está mediada por la temperatura. El aumento del metabolismo se traduce en un aumento en las tasas de alimentación, aumentando estas hasta una temperatura máxima, por encima de la cual disminuyen debido a fenómenos de estrés por temperatura (Englund et al., 2011). Por lo tanto, lo indicado sugiere una interacción potencial entre el efecto de la temperatura y el efecto de depredación. Así, el aumento de las poblaciones y la infectividad parasitarias a temperaturas elevadas podría compensarse con el incremento en la tasa de alimentación de algunos depredadores de formas parasitarias de vida libre, lo que sugiere que el efecto del cambio climático en las enfermedades parasitarias podría ser escaso e incluso inexistente (Goedknecht et al., 2015).

2.9 Dinoflagelados, diatomeas y cianobacterias

El fitoplancton marino es un grupo diverso de microorganismos productores primarios, que contribuyen, aproximadamente, al 50 % de la fijación global de carbono y forman la base de la bomba

biológica que transporta carbono desde la atmósfera a las profundidades del océano (Siegel et al., 2023). Como principales grupos funcionales de la comunidad de fitoplancton, los dinoflagelados y las diatomeas sustentan la mayoría de las redes alimentarias marinas y desempeñan funciones clave en los ecosistemas y la biogeoquímica (Collins et al., 2014). Por otro lado, algunas especies de dinoflagelados y diatomeas son patógenas, representando, aproximadamente, el 75 % y el 5 %, respectivamente, de todas las especies del fitoplancton que provocan Floraciones de Algas Nocivas (FAN), fenómenos que pueden afectar adversamente a la salud pública, así como a la pesca y la acuicultura (Xiao et al., 2018).

Las FAN consisten en la rápida propagación de microalgas o macroalgas naturales hasta alcanzar niveles elevados que dañan el medioambiente. Se sabe que varias microalgas marinas responsables de las FAN producen toxinas naturales, conocidas como ficotoxinas (Pulido, 2016). El consumo de animales acuáticos capturados en aguas con FAN crea una vía para que estas toxinas entren en la cadena alimentaria. Las microalgas procariotas, como las cianobacterias, producen cianotoxinas, mientras que los dinoflagelados y las diatomeas, que son eucariotas, producen biotoxinas marinas, también conocidas como toxinas de algas marinas. Varias ficotoxinas son neurotóxicas y amenazan la salud humana y la seguridad alimentaria (Pulido, 2016). Por ejemplo, las cianotoxinas pueden contaminar los depósitos de agua dulce y el agua potable, planteando así una amenaza directa para la salud humana (Cheung et al., 2013). En cuanto a las biotoxinas marinas, se bioacumulan en diversos tejidos de organismos acuáticos, como los moluscos bivalvos y los peces, y entran en la cadena alimentaria tras su consumo. Por ejemplo, la ingesta de mariscos contaminados por saxitoxinas producidas por microorganismos del género *Alexandrium* puede causar intoxicación paralizante por mariscos (Fox, 2012).

El cambio climático está transformando los ecosistemas acuáticos. Las aguas costeras han experimentado un calentamiento progresivo, acidificación y desoxigenación, aspectos que se intensificarán a lo largo del siglo XXI. La frecuencia de las FAN se ha incrementado en las últimas décadas y es previsible que esta tendencia continúe en el futuro (Wells et al., 2015), si bien el grado en la que el cambio climático está provocando este aumento de las floraciones no está totalmente esclarecido, ya que hay otros factores que influyen en la aparición de las FAN (por ejemplo, turismo o acuicultura) (Gobler, 2020).

Los factores climáticos específicos involucrados en la prevalencia de estas floraciones son, principalmente, temperatura, estratificación, luz, acidificación de los océanos, precipitaciones y viento (Wells et al., 2015). En este contexto, es lógico pensar que, bajo un escenario climático cambiante, se alterará la distribución espacial y temporal actual de las especies responsables de floraciones. Especialmente, las áreas geográficas donde se localizan estas especies pueden expandirse, reducirse o cambiar latitudinalmente. Por lo que respecta a la distribución temporal, puede haber un cambio en las estaciones debido al aumento de la temperatura de la atmósfera y el agua, que probablemente prolongará las condiciones del verano e influirá en la presentación de FAN (Wells et al., 2015).

Es un hecho demostrado que las modificaciones en las condiciones hidrológicas (por ejemplo, temperatura o disponibilidad de nutrientes) pueden provocar cambios en la abundancia relativa

y la distribución de dinoflagelados y diatomeas (Hinder et al., 2012), así como en la frecuencia de presentación de FAN (O'Neil et al., 2012) (Wells et al., 2015). Por ello, el cambio climático y las actividades humanas (calentamiento y eutrofización) son factores que pueden afectar a los ecosistemas marinos y tener un impacto sustancial en la dinámica de dinoflagelados y diatomeas (Cheung et al., 2021). La eutrofización ha provocado proliferaciones sustanciales de fitoplancton y la expansión de zonas con bajo contenido de oxígeno (Edwards et al., 2006). Por su parte, el calentamiento afecta al fitoplancton de dos maneras diferentes: directamente a través del efecto de la temperatura sobre las tasas metabólicas de los microorganismos e indirectamente a través de la mezcla física, que afecta a la disponibilidad de nutrientes (Lewandowska et al., 2014). La relación entre el cambio climático y las floraciones marinas se ejemplifica con el aumento de las intoxicaciones por ciguatera que se observó en el Pacífico tropical durante el período de El Niño (Marques et al., 2010).

Xiao et al. (2018) pusieron de manifiesto que los dinoflagelados y las diatomeas responden de manera diferente a la temperatura, las concentraciones y proporciones de nutrientes, y sus interacciones. Las diatomeas prefieren temperaturas más bajas y concentraciones de nutrientes más altas, mientras que los dinoflagelados son menos sensibles a la temperatura y a las concentraciones de nutrientes, pero tienden a prevalecer con concentraciones bajas de fósforo y alta relación nitrógeno/fósforo (N/P). Estas diferentes características de las diatomeas y los dinoflagelados provocan que tanto el efecto del calentamiento, que resulta en una disminución de los nutrientes como consecuencia del aumento de la estratificación, como el efecto del aumento del aporte de nutrientes terrestres (N) como resultado de la eutrofización, podrían favorecer la predominancia de los dinoflagelados sobre las diatomeas. En este sentido, Xiao et al. (2018) predicen que, con los pronósticos conservadores de cambio climático para el año 2100, probablemente se producirá una disminución de las diatomeas en un 60 % y un aumento de dinoflagelados en un 70 % en las aguas superficiales del Mar de China Oriental, lo que significa que las diatomeas podrían disminuir en un 19 % y los dinoflagelados aumentar en un 60 % en las aguas superficiales de la costa de este Mar. En otros estudios, por el contrario, se ha observado en los últimos años un aumento de las diatomeas y una disminución de los dinoflagelados en el océano Atlántico nororiental en las décadas pasadas (Hinder et al., 2012) (Cheung et al., 2021). Una posible razón para estas diferencias es que las diatomeas y los dinoflagelados pueden exhibir respuestas plásticas al estrés ambiental en diferentes escalas de tiempo, o que los efectos del calentamiento y la eutrofización probablemente dependan de otros factores ambientales en las diferentes regiones estudiadas (Lewandowska et al., 2014) (Grimaud et al., 2017).

Si bien la temperatura juega un papel importante en las diferentes etapas de crecimiento y floración del fitoplancton, y es esperable que estos procesos cambien en respuesta al cambio climático, es difícil predecir el sentido y la dimensión de estos cambios, que dependen de diferentes factores. Así, se espera que algunas regiones costeras puedan verse más afectadas que otras por el calentamiento global. Un requisito para que el incremento de temperaturas aumente la frecuencia de las floraciones en un lugar determinado es que la temperatura alcanzada no supere a las que sustentan el máximo crecimiento. Hay muchos casos en los que este escenario ya ha ocurrido, con FAN intensificadas a medida que las aguas se acercan a las temperaturas que producen el crecimiento

máximo de los microorganismos responsables de estas floraciones (Gobler et al., 2017). También hay lugares donde se prevé que este hecho ocurra en el futuro (Glibert et al., 2014). Las floraciones de cianobacterias en aguas dulces parecen ser el ejemplo más obvio de la intensificación inducida por el calentamiento con casos descritos en diferentes áreas geográficas, lo que indica que las temperaturas que producen las tasas de crecimiento máximas para muchas cianobacterias responsables de las floraciones son superiores a los de las algas eucariotas no dañinas (Paerl y Huisman, 2008, 2009). En los sistemas marinos, el calentamiento ha estado implicado en la intensificación de múltiples FAN en varias regiones de latitudes medias y altas (Moore et al., 2009) (Gobler et al., 2017) (Griffith et al., 2019). Sin embargo, este incremento de las floraciones puede estar equilibrado con lo que ocurre en otras zonas, donde el número de FAN disminuye cuando la temperatura aumenta por encima del rango óptimo de crecimiento de los microorganismos (Griffith et al., 2019). En conjunto, esto conduce a un escenario en el que las FAN pueden estar desplazándose hacia los polos como consecuencia del calentamiento global (Hallegraeff, 2010) (Gobler et al., 2017) (Griffith et al., 2019).

La migración de las FAN a nuevas áreas geográficas puede crear importantes riesgos para los ecosistemas acuáticos y los seres humanos que viven cerca de ellos. Las especies que nunca habían estado expuestas a una determinada FAN y/o sus efectos nocivos pueden ser las primeras en experimentar presiones selectivas y sufrir así grandes disminuciones demográficas (Colin y Dam, 2002) (Bricelj et al., 2005). Además, las agencias reguladoras y los sistemas sanitarios que no han considerado, vigilado o tratado previamente las intoxicaciones producidas por FAN, pueden responder de forma inadecuada cuando ocurren los primeros casos de contaminación de los productos acuáticos o de intoxicaciones alimentarias humanas por esta causa.

Por otro lado, la causa fundamental del calentamiento de océanos es la acumulación de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera, que acidifica la superficie del océano (Doney et al., 2009). Al hacerlo, esta mayor disponibilidad de CO_2 ofrece el potencial de reequilibrar la distribución y abundancia de productores primarios que dependen del carbono inorgánico para realizar la fotosíntesis (Giordano et al., 2005). Si bien el efecto del aumento de CO_2 en las comunidades de fitoplancton no está completamente esclarecido, se ha planteado la hipótesis de que, puesto que la enzima Rubisco encontrada en los dinoflagelados tiene menos afinidad por el CO_2 que la de otros organismos del fitoplancton, los dinoflagelados, que causan la mayoría de las FAN marinas, tienen más probabilidades de beneficiarse del aumento de los niveles de CO_2 que otras clases de algas (Reinfelder, 2011). Si bien esta hipótesis simplifica demasiado los efectos de las altas emisiones de CO_2 sobre las comunidades de fitoplancton, ha encontrado respaldo en un metaanálisis de 26 FAN estudiadas que demostró que las tasas de crecimiento de las algas nocivas aumentaron consistentemente con niveles elevados de CO_2 , mientras que las algas no dañinas no muestran esta tendencia (Brandenburg et al., 2019).

Además del descenso del pH, la acidificación de los océanos está provocando un estado de saturación del carbonato cálcico en el océano (Doney et al., 2009), lo que representa una amenaza para el crecimiento y la supervivencia de los organismos acuáticos (Gobler y Baumann, 2016). Muchas floraciones nocivas, especialmente aquellas de aguas dulces, ocurren durante el pico de máxima temperatura en verano, y los elevados niveles de biomasa generados incrementan la cantidad de

materia orgánica, que a su vez promueve la hipoxia y la acidificación (Wallace et al., 2014). En este sentido, hay que señalar que los niveles de oxígeno disuelto en el océano han estado disminuyendo desde mediados del siglo XX y se espera que esta tendencia continúe durante el siglo XXI, ya que las aguas más cálidas retienen menos oxígeno disuelto (Breitburg et al., 2018).

Una de las grandes complejidades del cambio climático es la gran cantidad de procesos que están cambiando al mismo tiempo. Uno de estos procesos es la eutrofización, ya que los cambios en las cargas de nutrientes pueden intensificar las FAN. Si bien la eutrofización es un fenómeno con carácter marcadamente antropogénico, algunos procesos de cambio climático, como los patrones alterados de precipitaciones, pueden intensificar de forma independiente las tasas de carga de nutrientes (Sinha et al., 2017) y, a su vez, incrementar la frecuencia de las FAN.

3. Efectos de los factores asociados al cambio climático sobre la incidencia de patógenos de transmisión alimentaria

Tal y como se ha descrito en secciones anteriores, la incidencia del cambio climático sobre los sistemas de producción alimentaria es multifactorial. También se ha reconocido que el cambio climático podría tener un efecto potencial en el incremento de la contaminación microbiana de los alimentos, los desechos y el agua, lo que a su vez podría generar un cambio en los riesgos asociados con las enfermedades infecciosas transmitidas a través del agua y los alimentos (Miraglia et al., 2009).

Los posibles impactos del cambio climático sobre el incremento de las toxiinfecciones alimentarias se manifiestan mediante: i) la variabilidad estacional asociada a las fluctuaciones de temperatura (Lake et al., 2009); ii) los vínculos históricos entre eventos climáticos extremos y el aumento en la incidencia de enfermedades transmitidas a través de los alimentos y el agua (Hall et al., 2002); y iii) el hecho de que muchas enfermedades transmitidas a través de los alimentos son de carácter estacional (Hall et al., 2002).

Por tanto, el conocimiento de la influencia de estos factores puede ayudar a desarrollar estrategias de mitigación del riesgo frente al aumento de la diseminación de patógenos emergentes como consecuencia de fenómenos asociados al cambio climático. A modo de resumen, dichos factores se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Principales efectos de los factores ambientales relacionados con el clima sobre el comportamiento de los patógenos de transmisión alimentaria		
Factores ambientales	Efecto del cambio climático sobre los factores ambientales involucrados en el crecimiento, supervivencia y virulencia de patógenos de transmisión alimentaria	Referencias
Temperatura		
Incremento	Aumento de la prevalencia de parásitos en peces de agua dulce y plantas	Herrera et al. (2016)
	Detección de nuevas especies de mohos productores de micotoxinas en maíz en Europa	Moretti et al. (2018)
	Aumento de la incidencia de mastitis en ganado vacuno	Lacetera (2019)
	Aumento de la prevalencia de Salmonella en aves de corral	Herrera et al. (2016)
	Aumento de la concentración de Vibrio en mariscos	Marques et al. (2010)

Tabla 2. Principales efectos de los factores ambientales relacionados con el clima sobre el comportamiento de los patógenos de transmisión alimentaria		
Factores ambientales	Efecto del cambio climático sobre los factores ambientales involucrados en el crecimiento, supervivencia y virulencia de patógenos de transmisión alimentaria	Referencias
Disminución	Aumento de la contaminación de las bayas con el virus de la hepatitis A	Calder et al. (2003) EFSA (2014)
Precipitaciones y humedad		
Incremento de precipitaciones	Penetración de cepas patógenas de <i>Escherichia coli</i> y de <i>Salmonella</i> en vegetales de hoja verde	Ge et al. (2012) Liu et al. (2013)
	Incremento de la contaminación de los mariscos con indicadores de contaminación fecal debido a escorrentías de agua	Marques et al. (2010)
	Incremento del riesgo de dispersión de <i>Salmonella</i> por salpicaduras y aerosoles que infectan los tomates debido al aumento de la frecuencia de lluvias intensas durante periodos breves	Cevallos-Cevallos et al. (2012)
Disminución de precipitaciones y humedad	Incremento de la contaminación con micotoxinas formadas por mohos xerófilos en maíz en la etapa previa a la recolección	Moretti et al. (2018)
pH y salinidad		
Disminución de pH	Acidificación del océano que provoca un incremento de Floraciones de Algas Nocivas	Marques et al. (2010)
Luz		
Incremento	Incremento de las Floraciones de Algas Nocivas	Marques et al. (2010)

Fuente: (Duchenne-Moutien y Neetoo, 2021).

3.1 Temperatura

El aumento constante de la temperatura del planeta se reconoce como uno de los factores más críticos sobre el aumento de la incidencia de patógenos emergentes de transmisión alimentaria. Se espera que los riesgos para la salud, los medios de subsistencia, la seguridad alimentaria, el suministro de agua, la seguridad humana y el crecimiento económico debido al cambio climático aumenten con un calentamiento de 1,5 °C y se incrementen aún más con 2 °C. Según este análisis, cualquier aumento en la temperatura global tendrá un impacto negativo en la salud humana (IPCC, 2022a). El aumento de temperatura está íntimamente ligado al aumento del nivel del mar, lo cual provoca el deshielo de los casquetes polares y la posible expansión térmica de los océanos. El agua marina más cálida y los efectos de la erosión costera pueden alterar los ecosistemas, influir en la biodiversidad e introducir nuevas amenazas microbiológicas potenciales. Las temperaturas elevadas asociadas con eventos climáticos extremos podrían aumentar tanto la prevalencia de patógenos como su velocidad de multiplicación, lo que resulta en un mayor nivel de contaminación (Kendrovski y Gjorgjev, 2012). Por ello, es fundamental estudiar la epidemiología de las enfermedades infecciosas y analizar el impacto potencial del cambio climático en los patrones de enfermedad, la supervivencia de los patógenos y su transmisión (McMichael et al., 2006).

Muchos patógenos pueden proliferar rápidamente en ambientes cálidos, con temperaturas óptimas de crecimiento que varían entre 20 y 45 °C (Bintsis, 2017). A medida que las temperaturas aumentan debido al cambio climático, también se espera que cambien el rango y la distribución de los patógenos alimentarios (Smith y Fazil, 2019).

Por tanto, la temperatura juega un papel crucial en la propagación de los patógenos transmitidos a través de los alimentos al crear condiciones ideales para su crecimiento y supervivencia. Las temperaturas más cálidas también aumentan la actividad metabólica de los microorganismos, lo que les permite crecer y reproducirse más rápidamente (Qiu et al., 2022). Por ejemplo, *Salmonella*, *E. coli* enterohemorrágico (EHEC) o *C. jejuni* son los patógenos alimentarios más comunes que proliferan en ambientes cálidos (Dietrich et al., 2023). Estos patógenos presentan dosis infectivas bajas y pueden sobrevivir en condiciones ambientales desfavorables de temperatura y pH (FAO, 2008). Las infecciones alimentarias causadas por *Salmonella* se han asociado frecuentemente a aumentos de temperatura. En este caso, se han atribuido un 30 % de los casos reportados de salmonelosis a temperaturas cálidas.

Otros estudios muestran la correlación existente entre las variables asociadas a las condiciones climáticas de temperatura con la incidencia de toxiinfecciones alimentarias. Kim et al. (2015) estudiaron el efecto de las variaciones estacionales de temperatura durante los años 2003-2012, en Corea del Sur, y observaron que *E. coli*, *V. parahaemolyticus*, *C. jejuni*, *Salmonella* spp. y *Bacillus cereus* fueron los patógenos que mostraron una correlación más elevada con respecto al aumento de temperatura. En el caso de *Campylobacter* spp., los resultados procedentes del Centro Europeo para la Prevención y Control de Enfermedades corroboran este hecho (ECDC, 2021). Asimismo, Kuhn et al. (2020) estimaron que el número de casos de *Campylobacter* transmitido por vía alimentaria se duplicará en cuatro países del norte de Europa (Dinamarca, Finlandia, Noruega y Suecia) para finales de la década de 2080, con 6000 casos adicionales por año debido al cambio climático.

Además, los cambios en los patrones de temperatura y precipitación pueden alterar la distribución geográfica de hongos productores de micotoxinas o vectores de transmisión de enfermedades causadas por patógenos. Por ejemplo, el patógeno fúngico *Fusarium*, que produce micotoxinas en cereales y frutos secos, se está volviendo más prevalente en áreas con temperaturas más cálidas y niveles cambiantes de humedad (Perrone et al., 2020). Además, se ha observado una relación significativa entre la presencia de ocratoxina A en las uvas y un aumento en las temperaturas (Cervini et al., 2021). Los modelos predictivos, que utilizan escenarios de incrementos de 2 o 5 °C en la temperatura en Europa, generan mapas de riesgo de maíz contaminado con aflatoxinas que sugieren una mayor incidencia en el sur de Europa, especialmente en España (Battilani et al., 2016).

Como se detallará posteriormente, la temperatura tiene un efecto directo sobre otras variables asociadas al cambio climático, como el incremento de la concentración de CO₂, el aumento del nivel del mar o la mayor incidencia de fenómenos de sequía o estrés hídrico. La intervención conjunta de todos estos factores puede potenciar la diseminación y crecimiento de patógenos de transmisión alimentaria.

3.2 Emisiones de gases

Dado que la atmósfera terrestre está compuesta, principalmente, por nitrógeno y oxígeno, los fenómenos climáticos están influidos por el ciclo del agua y del carbono. El CO₂, junto con el metano (CH₄), los óxidos de nitrógeno (NO y N₂O) y el ozono (O₃), conforman los Gases de Efecto Invernadero (GEI) que atrapan el calor en la atmósfera terrestre. Aunque individualmente están presentes en pequeñas cantidades, tienen un gran impacto sobre el cambio climático, ya que el nivel de los GEI está directamente relacionado con la temperatura atmosférica. Los GEI han permanecido durante milenios en combustibles fósiles y biomasa, pero están siendo liberados a la atmósfera por la actividad antropogénica. Estas actividades incluyen la transformación de tierras forestales en tierras agrícolas o industriales, así como el uso de GEI artificiales, como los clorofluorocarbonos. Además, el sistema alimentario actual es responsable de hasta el 30 % de las emisiones de GEI, lo que constituye un incentivo adicional para desarrollar una producción de alimentos agroecológica y adaptada al clima (agricultura circular) (Vermeulen et al., 2012).

El CO₂ es el GEI más abundante y ejerce un impacto significativo en la temperatura global (Hardy, 2003). Debido a la estrecha correlación entre el CO₂ y la temperatura, un incremento en los niveles de CO₂ conduce directamente a un mayor calentamiento del planeta. En este contexto, la liberación excesiva de CO₂ en la atmósfera se identifica como la principal causa del calentamiento global y, en consecuencia, del cambio climático. El sexto informe publicado por el IPCC contempla varios escenarios de emisiones de CO₂ a partir del año 2150. Entre ellos, el escenario de baja emisión se sitúa en unos 350 ppm, mientras que el más desfavorable, en más de 2000 ppm (IPCC, 2021). Dichos escenarios se asocian con incrementos de temperatura de entre 1,4 y 4,4 °C (IPCC, 2023).

El aumento continuo de la concentración de CO₂ disuelto podría afectar a la supervivencia de animales, microbiota y plantas (Huang et al., 2018) (Roufou et al., 2021). Entre los principales factores, se sabe que la concentración de CO₂ influye en la proliferación microbiana, aunque no todos los microorganismos son sensibles a este efecto (Oliveira et al., 2010). Algunas bacterias adaptadas al estrés, como *Listeria* spp. y *E. coli*, son capaces de difundir pasivamente el CO₂ desde el citoplasma hacia el interior de la célula, lo que les permite biosintetizar diversas moléculas pequeñas como las pirimidinas. Por lo tanto, el CO₂ podría favorecer su crecimiento y, en consecuencia, aumentar el riesgo para la salud pública bajo los escenarios climáticos proyectados (Merlin et al., 2003) (Zhu et al., 2015). En el caso de los hongos productores de micotoxinas, se ha encontrado que un aumento de 2,5 veces en la concentración de CO₂ resulta en un incremento de la colonización de *Aspegillus carbonarius* y de producción de ocratoxina A en la región del Mediterráneo (Cervini et al., 2021). De igual forma, la interacción de la temperatura (incrementos de 4 °C) con concentraciones elevadas de CO₂ (>350 ppm) y estrés hídrico tuvieron una influencia significativa sobre la producción de aflatoxinas por parte de *A. flavus* en base a los resultados de la expresión molecular de genes que intervienen en la regulación de la biosíntesis de la micotoxina (Medina et al., 2015).

A pesar de la existencia de estos estudios, es necesario realizar un análisis más detallado de las cinéticas de crecimiento microbiano en condiciones de aumento de CO₂ y temperatura para evaluar los posibles riesgos para la salud humana y la seguridad alimentaria asociados con infecciones bacterianas.

3.3 Aumento del nivel del mar

El aumento de las temperaturas y los niveles de CO₂ están acelerando el deshielo de los glaciares. Datos provenientes de 19 000 glaciares en todo el mundo estiman que se han perdido, aproximadamente, 9000 millones de toneladas de hielo entre 1961 y 2016, con un notable incremento en la tasa de pérdida durante los últimos 30 años (Zemp et al., 2019). El deshielo de glaciares, el calentamiento de los océanos, el aumento de precipitaciones torrenciales y la insuficiente acumulación de nieve están contribuyendo a la elevación del nivel del mar y al incremento de los riesgos de inundaciones (Davenport et al., 2019) (Veng y Andersen, 2020). Se prevé que estas condiciones tengan su impacto sobre superficies de cultivo a nivel del mar y comunidades costeras, además de plantear desafíos significativos para infraestructuras clave, como plantas de tratamiento de agua, aumentando, a su vez, la probabilidad de brotes de enfermedades transmitidas a través del agua que deberán adaptarse al cambio climático. Según Hummel et al. (2018), un aumento de 2 metros en el nivel del mar podría comprometer el funcionamiento de 394 plantas de tratamiento de aguas residuales que abastecen a, aproximadamente, 31 millones de personas en los Estados Unidos.

Asimismo, se prevé un incremento en la frecuencia de tsunamis asociado al aumento del nivel del mar (FAO, 2020), lo que podría provocar la dispersión de microorganismos patógenos presentes en el agua de mar hacia zonas terrestres (Engelthaler y Casadevall, 2019).

Por tanto, el aumento del nivel del mar causado por el cambio climático amenaza a las comunidades costeras, aumentando la probabilidad de intrusión de agua salada en los recursos de agua dulce. Además, el agua salobre, una mezcla de agua dulce y salada, puede favorecer el crecimiento de comunidades microbianas únicas, incluyendo patógenos oportunistas (IPCC, 2022b).

3.4 Efectos de los ecosistemas y la biodiversidad

La pérdida de biodiversidad y los cambios en los ecosistemas están cada vez más vinculados con la aparición de enfermedades infecciosas y zoonosis (Schmeller et al., 2020) (Bartlow et al., 2021). Esta relación está impulsada por factores como el cambio climático, la degradación del hábitat y el aumento del contacto entre humanos y fauna silvestre (Schmeller et al., 2020). Sin embargo, mientras que algunos estudios sugieren que una mayor biodiversidad podría reducir el riesgo de transmisión de enfermedades mediante un «efecto de dilución» (Johnson et al., 2015), otros sostienen que una mayor biodiversidad podría incrementar la diversidad de patógenos (Morand, 2011). El impacto de la biodiversidad en el riesgo de enfermedades de transmisión alimentaria es complejo y depende de diversos factores, como la estructura de la comunidad que forma parte del ecosistema, las escalas espaciales y temporales, y las interacciones tróficas (Johnson et al., 2015). Por lo tanto, comprender estas relaciones es crucial para desarrollar estrategias efectivas que mitiguen los riesgos que afecten a la seguridad sanitaria y promuevan la salud global (Bartlow et al., 2021). Es necesaria una mayor investigación para esclarecer los mecanismos que vinculan la biodiversidad con las enfermedades infecciosas, considerando patrones realistas de ensamblaje de comunidades y cambios en los ecosistemas (Morand, 2011) (Johnson et al., 2015).

3.5 Estrés hídrico

El cambio climático impulsa la necesidad de utilizar aguas residuales tratadas para el riego, especialmente en regiones afectadas por estrés hídrico. Sin embargo, este aumento en la reutilización de aguas residuales plantea riesgos relacionados con la eliminación de patógenos microbiológicos en dichas aguas (UE, 2020) (Mishra et al., 2023).

El aumento de las temperaturas y las condiciones climáticas extremas favorecen la supervivencia y proliferación de patógenos en el agua residual tratada. *Salmonella*, por ejemplo, puede persistir más tiempo en temperaturas cálidas, aumentando la probabilidad de contaminar cultivos y representar un riesgo para la salud humana. Los virus entéricos, como los norovirus, el virus de la hepatitis A y los rotavirus, son altamente resistentes en ambientes húmedos y su presencia en aguas reutilizadas puede facilitar la aparición de brotes de enfermedades gastrointestinales si no se eliminan adecuadamente durante el tratamiento de depuración, principalmente en aquellos alimentos, como verduras, bayas y hortalizas o moluscos bivalvos, que se consumen crudos o poco cocinados (Truchado et al., 2021) (Cuevas-Ferrando et al., 2022). Otro aspecto a considerar es el aumento de plásticos y microplásticos en las aguas regeneradas, que favorecen la colonización de bacterias y formación de biopelículas que pueden actuar como reservorios de patógenos (Lu et al., 2022) (Hee Joo et al., 2025).

Además, el cambio climático exacerba otro desafío crítico: la diseminación de genes de resistencia a antimicrobianos. En los sistemas de tratamiento de aguas residuales, los antimicrobianos y los microorganismos resistentes pueden interactuar, favoreciendo la transferencia de resistencia a otros organismos. Esto incrementa la amenaza global de infecciones resistentes a antibióticos, que ya representan un desafío creciente para la salud pública (Grilo et al., 2021).

Por ello, es fundamental desarrollar y aplicar tecnologías avanzadas de depuración, como tratamientos basados en membranas, radiación ultravioleta o procesos de oxidación avanzada, que sean capaces de eliminar eficientemente patógenos y bacterias resistentes a antibióticos, con el fin de evitar su presencia en aguas tratadas y su dispersión hacia los alimentos. A nivel regulatorio, se requieren estándares más estrictos para la vigilancia de patógenos y marcadores de resistencia antimicrobiana en aguas reutilizadas. Solo a través de una gestión integral de los riesgos asociados se podrá garantizar que la reutilización del agua sea una estrategia segura y sostenible frente al cambio climático.

Por ello, es crucial fortalecer los sistemas de depuración para garantizar que el agua tratada cumpla con estándares sanitarios estrictos, o al menos sea apta para el uso previsto tras una evaluación del riesgo en determinados casos (por ejemplo, para el riego) minimizando riesgos y promoviendo un uso sostenible de los recursos hídricos frente a la crisis climática (UE, 2020).

3.6 Eventos climáticos extremos

Los fenómenos meteorológicos extremos pueden afectar a la seguridad alimentaria (Awad et al., 2024). Los huracanes, tornados e incendios forestales pueden dañar las infraestructuras de producción y procesamiento de alimentos (por ejemplo, los equipos de refrigeración), favoreciendo la contaminación y crecimiento microbianos y, por lo tanto, incrementando el riesgo de presentación

de brotes de enfermedades transmitidas a través de los alimentos (Duchenne-Moutien y Neetoo, 2021). Además, el desplazamiento y la migración de personas como consecuencia de desastres naturales pueden aumentar la probabilidad de transmisión de enfermedades transmitidas a través de los alimentos (McMichael, 2015).

Dentro de los eventos climáticos extremos, destacan las inundaciones y la sequía. Las interrupciones en las centrales eléctricas o las redes de suministro de agua relacionadas con las inundaciones pueden afectar al almacenamiento y la preparación de alimentos. Así, por ejemplo, los cortes de energía e interrupciones en los sistemas de refrigeración ocurridos durante el huracán Sandy, en 2012, provocaron un gran brote de salmonelosis en el noreste de los Estados Unidos (NYSERDA, 2018). Además, estos eventos a menudo resultan en el desbordamiento de aguas residuales, lo que conduce a la transmisión de diferentes microorganismos, como *Shigella*, norovirus, virus de la hepatitis o *Cryptosporidium*, bien de forma directa o a través de los alimentos (Yavarian et al., 2019). Además, las inundaciones pueden propagar patógenos desde campos agrícolas y explotaciones ganaderas (a través de heces o cadáveres de animales) a las aguas superficiales y al suelo (Okaka y Odhiambo, 2018).

Se han reportado aumentos en enfermedades diarreicas transmitidas a través del agua y alimentos en la India, Brasil, Bangladesh, Mozambique y Estados Unidos, tras episodios de inundaciones (Tirado et al., 2010). Las inundaciones y tormentas, a menudo, provocan el desbordamiento de aguas residuales, lo que resulta en la transmisión directa, y a través de alimentos, de norovirus, virus de la hepatitis A y *Cryptosporidium* (Patz et al., 2000) (Boxall et al., 2009) (Semenza et al., 2012b) (Yavarian et al., 2019). Un ejemplo reciente se vivió en España durante la DANA de 2024, que afectó a la Comunidad Valenciana, donde numerosas plantas depuradoras y el sistema de alcantarillado se vieron afectadas, lo que incrementó el riesgo de contaminación del agua y de exposición a patógenos.

La interrupción del suministro de agua potable, que ocurre como consecuencia de una inundación, puede resultar en prácticas higiénicas inadecuadas, lo que contribuye también a la transmisión de enfermedades. Además, la elevada cantidad de personas desplazadas para ayudar en las labores de limpieza y reconstrucción de las zonas afectadas, junto con la interrupción de la asistencia sanitaria, pueden facilitar la propagación de las enfermedades infecciosas (ECDC, 2021). Así, es frecuente el incremento de notificaciones de casos y brotes de enfermedades transmitidas a través del agua y los alimentos después de episodios de inundaciones (Tirado et al., 2010) (Gertler et al., 2015). Se ha estimado que los brotes de enfermedades posteriores a las inundaciones, en particular a través de alimentos y agua contaminados, pueden aumentar las tasas de mortalidad hasta en un 50 % en el primer año tras una inundación (Weilhammer et al., 2021).

Por su parte, las sequías pueden provocar una disminución de la disponibilidad de agua, lo que resulta en un aumento de las concentraciones de patógenos, así como de metales pesados y otros contaminantes en el agua. La escasez de agua puede provocar restricciones en el suministro público y fomentar el uso de agua no tratada o parcialmente tratada para el riego, elevando el riesgo de enfermedades transmitidas a través de los alimentos (Semenza et al., 2012b). Además, un suministro insuficiente de agua puede dar lugar a una relajación de las normas higiénicas en las industrias y establecimientos alimentarios, aumentando el riesgo de enfermedades transmitidas a través

de los alimentos (Bryan et al., 2020). En ocasiones, los períodos secos impulsan las actividades acuáticas recreativas, con lo que aumenta la exposición a patógenos como *Leptospira* spp., *E. coli* enterotoxigénica (ETEC), enterococos o parásitos (European Climate and Health Observatory, 2024).

4. Impacto del cambio climático sobre la transmisión de patógenos de transmisión alimentaria a lo largo de la cadena producción-consumo de alimentos

La FAO considera que existe suficiencia alimentaria cuando «todo el mundo tiene acceso físico, social y económico suficiente y en todo momento a alimentos seguros y nutritivos para colmar las necesidades nutricionales y sus preferencias alimentarias, de forma que permitan llevar a cabo una vida activa y sana» (FAO, 1996). El cambio climático influye sobre la seguridad de los sistemas alimentarios tal cual se ha descrito anteriormente debido a diversos efectos directos e indirectos, como temperaturas elevadas, eventos climáticos extremos, la contaminación del aire, el incremento de las enfermedades infecciosas transmitidas por vectores, la destrucción de la capa de ozono y la contaminación del agua y los alimentos (Singh et al., 2023). Estos efectos tienen unas claras implicaciones sobre la salud humana. Los sistemas alimentarios incluyen diversos procesos como la producción, procesado, distribución, preparación y consumo de los alimentos (Schnitter y Berry, 2019). Estos procesos son sensibles al clima y, por tanto, se ven impactados de diversas formas por el cambio climático (Tabla 3).

Efecto del cambio climático	Componentes del sistema alimentario			
	Producción	Procesado	Distribución	Preparación y consumo
Aumento de las precipitaciones	+++			+
Cambios en los patrones de precipitación	+++		+	+
Fenómenos meteorológicos extremos	+++	++	+++	+
Aumento del nivel del mar	++			
Acidificación de los océanos	+			
Aumento de la temperatura	+++	++		+
Aumento de la concentración de CO ₂	+ ^a			
Aumento de la contaminación por O ₃	+			
Reducción de la disponibilidad de agua dulce	+++	++		+

^a Un aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera puede favorecer la producción de algunos cultivos.

Fuente: (Schnitter y Berry, 2019).

A nivel de producción primaria, el sistema alimentario abarca los sectores comercial y no comercial de la agricultura, la ganadería, la pesca y la acuicultura, así como la caza y la recolección de frutos y plantas. El cambio climático está generando una disminución de la productividad, lo que conlleva una reducción en la disponibilidad y el suministro de alimentos, con posibles repercusiones

sobre la salud humana (McMichael et al., 2017). Cambios en las condiciones climáticas como las precipitaciones y la temperatura tienen una influencia primordial en la producción de alimentos a través de sus efectos sobre el rendimiento de los cultivos (Johansson et al., 2024) y están llevando a los agricultores a implementar diversas estrategias de adaptación a estos cambios. Entre ellas se incluyen la diversificación de cultivos, la modificación de los calendarios de siembra y cosecha, y el empleo de mezclas de variedades para un mismo cultivo (por ejemplo, utilización de variedades de bajo rendimiento resistentes a la sequía y variedades de alto rendimiento sensibles) (Nhemachena y Hassan, 2007).

Si bien estas adaptaciones permiten aumentar la sostenibilidad de la producción de alimentos, la introducción de nuevos cultivos adaptados y de técnicas agrícolas innovadoras también conlleva un mayor riesgo de aparición de enfermedades transmitidas a través de los alimentos, con las que tanto la población como los sistemas de salud pueden no estar familiarizados. De la misma manera, en el sector ganadero, el aumento de las temperaturas y los cambios en los patrones de precipitación afectan a la distribución y la abundancia de vectores transmisores de enfermedades, como virus, parásitos y bacterias patógenas (Bett et al., 2017). Una estrategia clave para mitigar los efectos del aumento global de la temperatura es la incorporación de razas más resistentes al calor. No obstante, este cambio podría incrementar la vulnerabilidad a determinados patógenos (Das et al., 2016).

El procesado de alimentos implica la transformación de insumos alimentarios crudos en productos alimenticios preparados para su consumo directo. A lo largo del procesado, operaciones tales como el lavado, la desinfección y la preparación de alimentos son de especial importancia para proporcionar alimentos seguros para el consumo (Singh et al., 2023). La evidencia sugiere que los impactos del cambio climático pueden causar interrupciones en el suministro estable de las materias primas o de otros aditivos alimentarios, y los fenómenos meteorológicos extremos pueden causar daños físicos a las instalaciones industriales (Fanzo et al., 2018).

La distribución es un componente fundamental de la suficiencia alimentaria, ya que vincula los productos alimenticios con los consumidores, lo que apoya directamente las dimensiones de disponibilidad y accesibilidad de la suficiencia alimentaria. El cambio climático puede alterar las redes de distribución de alimentos a través de fenómenos meteorológicos extremos y, a largo plazo, también los cambios climáticos progresivos (Palko y Lemmen, 2017).

Por último, desde un punto de vista del consumidor, el consumo global de alimentos por sí solo podría añadir casi 1 °C al calentamiento para el año 2100. Sin embargo, más del 55 % del calentamiento previsto se puede evitar mediante mejoras simultáneas en las prácticas de producción, la adopción universal de una dieta saludable y la reducción del desperdicio de alimentos a nivel de los consumidores y el comercio minorista (Ivanovich et al., 2023).

Como consecuencia del cambio climático, están surgiendo nuevas tendencias de consumo adaptadas a estos fenómenos como, por ejemplo, la incorporación de nuevas matrices alimentarias (insectos, algas, etc.), la reutilización de residuos de la industria alimentaria como materias primas de nuevos alimentos, o la valorización del desperdicio alimentario (Hassoun et al., 2022). Los insectos comestibles están emergiendo como una fuente alternativa de proteínas, con una

menor huella de carbono en el proceso de cría; sin embargo, persisten inquietudes en torno a su seguridad microbiológica. Diversos estudios han revelado cargas microbianas elevadas en insectos comestibles, tanto en su estado fresco como procesado, incluyendo la presencia de bacterias alterantes y patógenos de transmisión alimentaria (Garofalo et al., 2017). Por ello, es fundamental aplicar tecnologías de conservación adecuadas (Marín et al., 2020), además de la implementación de sistemas Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC) adaptados a estas nuevas matrices alimentarias. En la Unión Europea ya existe normativa que establece cómo se deben producir los insectos destinados a consumo humano (UE, 2015), siendo además evaluados como nuevos alimentos por parte de la EFSA.

En cuanto a la valorización de subproductos o del desperdicio alimentario, estos productos pueden ser susceptibles al desarrollo de microorganismos no deseados bajo condiciones de procesamiento y almacenamiento inadecuadas. Por ello, es necesario evaluar y controlar los riesgos microbiológicos asociados a estos subproductos, con el fin de garantizar la salud de los consumidores y promover una valorización segura y sostenible.

5. Influencia de la globalización sobre la propagación de patógenos de transmisión alimentaria en un contexto de cambio climático

La globalización y el cambio climático son fenómenos interrelacionados que, de forma conjunta, están transformando los patrones de propagación de patógenos de transmisión alimentaria a nivel mundial. La intensificación del comercio internacional, la creciente movilidad de personas y bienes, y la expansión de las cadenas de suministro han facilitado la diseminación de agentes patógenos a través de fronteras geográficas y sanitarias. Al mismo tiempo, el cambio climático está alterando las condiciones ambientales que influyen en la persistencia, multiplicación y distribución de estos patógenos en los alimentos y el medio ambiente. Esta combinación de factores amplifica los riesgos para la seguridad alimentaria global, al favorecer la aparición de brotes en nuevas regiones, dificultar la trazabilidad de los focos infecciosos y desafiar los sistemas de control tradicionales.

El comercio internacional y el movimiento de personas son las características definitorias de la globalización, fenómeno que incrementa el riesgo de enfermedades transmitidas a través de los alimentos (Todd, 2013). Hoy en día se envía una mayor variedad y cantidad de artículos a más lugares, y ha aumentado el número de personas que viajan largas distancias con frecuencia, entrando en contacto con más personas y bienes que en cualquier otro momento de la historia, lo que brinda nuevas oportunidades para la propagación de microorganismos transmitidos a través de los alimentos. La introducción de ganado, animales de compañía, animales acuáticos y de vida silvestre en nuevas áreas geográficas puede provocar la diseminación de microorganismos a otros lugares, a la vez que los animales introducidos pueden infectarse con microorganismos endémicos, a pesar de las regulaciones o directrices internacionales existentes para minimizar estos riesgos. Por ejemplo, la creciente demanda mundial de carne está impulsando un aumento de la producción y el comercio de este alimento y, a nivel de control oficial, se realizan de forma sistemática pruebas estandarizadas relacionadas, entre otras, con la detección de *Trichinella*.

Por lo que respecta al movimiento de personas, se estima que, en el año 2020, 281 millones indivi-

duos (3,6 % de la población mundial) migraron fuera de su país de origen (IOM, 2024). La migración de personas provoca también el movimiento de agentes patógenos transmitidos a través de los alimentos a nuevas áreas geográficas (Robertson et al., 2014). Entre los patógenos alimentarios que más fácilmente se diseminan entre las personas están los parásitos, como *Taenia saginata* (de alta prevalencia en África), *Fasciolopsis buski* (Asia), *Opisthorchis viverrini* y *Clonorchis sinensis* (Suroeste de Asia), *Taenia solium* (Sur de Asia), *Opisthorchis guayaquilensis* (América del Sur), *Echinococcus granulosus* (Oriente Medio), y *Diphyllobotrium* spp. y *Felineus opisthorchis* (Europa del Este) (Robertson et al., 2014).

Además, las personas que se desplazan llevan sus alimentos y tradiciones a otros lugares, donde generan cambios en las preferencias y en los hábitos alimentarios (Broglia y Kapel, 2011). Así, hay un número creciente de consumidores que demanda productos exóticos (por ejemplo, carne de cocodrilo) o productos de temporada durante todo el año (por ejemplo, fresas durante el invierno), que ahora están fácilmente disponibles en nuestras mesas debido al comercio internacional en cualquier época del año (Macpherson, 2013).

En relación con el ganado, un buen ejemplo relativo a la diseminación de enfermedades relacionado con el transporte de animales es el de *Fasciola hepatica*, trematodo que se ha establecido de forma casi global como consecuencia de la colonización de otros continentes por países europeos y la consecuente introducción de animales herbívoros procedentes de Europa en nuevas áreas geográficas (Mas-Coma et al., 2009). Asimismo, en muchos países se produjo un gran aumento en el comercio de cerdos entre los años 1997 y 2007, observándose un incremento simultáneo de los casos de teniasis, triquinosis y toxoplasmosis (Robertson et al., 2014). Por su parte, se ha constatado que la incidencia de cisticercosis bovina aumentó del 4 al 38 % tras iniciarse la importación de ganado bovino vivo a Israel (Meiry et al., 2013).

El transporte internacional de animales de compañía (por vacaciones, competiciones, misiones humanitarias, etc.) representa también un riesgo de introducción de agentes patógenos que pueden ser transmitidos a través de los alimentos, como, por ejemplo, *E. multilocularis*, *E. granulosus* y *Toxocara* spp. (Macpherson, 2013). Asimismo, los animales de vida silvestre son importantes reservorios de microorganismos patógenos (Jones et al., 2008), y su traslado (alimentación, introducción en cotos de caza, repoblaciones, parques zoológicos o mascotas), supone un factor de riesgo de aparición de enfermedades emergentes (Robertson et al., 2014).

Por lo que respecta al transporte de alimentos, hay que señalar que existen grandes diferencias entre los países exportadores e importadores de productos alimenticios por lo que respecta a las formas de producción, saneamiento, higiene o de prácticas agrícolas y ganaderas, lo que implica que los tipos y niveles de agentes patógenos transmitidos a través de los alimentos sean distintos en las diferentes áreas geográficas (Doyle y Erickson, 2008). Por lo que respecta concretamente a la carne y al pescado, estos son alimentos que pueden transmitir microorganismos patógenos en caso de que no se respeten las temperaturas de conservación adecuadas (Donoso et al., 2016). Las tendencias actuales relativas al consumo de productos exóticos han propiciado que la carne de caza se esté incorporando cada vez más en restaurantes exclusivos, tanto de Europa como de los Estados Unidos, a la vez que se importa para satisfacer las necesidades de las

comunidades de inmigrantes de diversos países, generándose así un riesgo importante en caso de que no se lleven a cabo unas buenas prácticas de higiene y manipulación en dichos establecimientos. Además, cabe destacar la tendencia actual a consumir pescado crudo o escasamente cocinado (Robertson et al., 2014).

En el caso de las frutas y verduras, los principales agentes infecciosos que transmiten corresponden a microorganismos presentes en los productos frescos. El potencial de transmisión ha aumentado por la tendencia de consumir productos de origen ecológico (Li et al., 2025). Por lo que respecta a las especias y hierbas, la globalización ha hecho que estos productos se encuentren disponibles durante todo el año en un gran número de países, habiéndose detectado brotes de transmisión alimentaria por su consumo en diferentes áreas geográficas (Zweifel y Stephan, 2012).

6. La digitalización como estrategia para la monitorización y gestión del riesgo de patógenos de transmisión alimentaria asociados al cambio climático

Tal y como se ha detallado en las secciones anteriores, el cambio climático ha generado modificaciones en los ecosistemas que afectan a la seguridad alimentaria y a la propagación de patógenos de transmisión alimentaria. En este contexto, la digitalización se ha convertido en una herramienta clave para la monitorización y gestión del riesgo, permitiendo la recopilación, análisis y modelado de datos para una respuesta más eficiente ante amenazas emergentes. Uno de los enfoques más prometedores en la digitalización de la seguridad alimentaria es el uso de plataformas de vigilancia epidemiológica basadas en *Big Data*. Estas herramientas permiten la recopilación de datos provenientes de diversas fuentes, como laboratorios de análisis, bases de datos de salud pública y vigilancia ambiental. Mediante el uso de algoritmos avanzados, estos sistemas pueden identificar correlaciones entre condiciones climáticas y la aparición de brotes de enfermedades, facilitando así la toma de decisiones basada en la evidencia científica. La disponibilidad de bases de datos de vigilancia epidemiológica y ambiental permiten analizar tendencias en los patrones climáticos obteniendo mapas de predicción del riesgo en tiempo real que contemplan distintos escenarios y medidas preventivas a adoptar sobre programas de salud y control oficial de alimentos (Mirón, 2017).

El uso de estrategias digitales permite identificar patrones epidemiológicos y predecir posibles brotes antes de que se conviertan en crisis de salud pública. Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de sistemas digitales basados en Inteligencia Artificial (IA), Internet de las cosas (IoT, *Internet of Things*) y *Big Data*, los cuales ofrecen soluciones innovadoras para la vigilancia de patógenos en alimentos. Estos sistemas integran sensores avanzados capaces de detectar contaminantes biológicos en tiempo real, con capacidad de transmisión inmediata de datos a plataformas centralizadas. De esta manera, es posible analizar grandes volúmenes de información y generar alertas tempranas que permitan una intervención rápida y eficiente (Karanth et al., 2023a).

Otro aspecto clave en la digitalización de la gestión del riesgo de patógenos es el uso de modelos predictivos basados en IA. Estos modelos pueden evaluar múltiples variables ambientales y biológicas para estimar el comportamiento de los microorganismos en distintos escenarios climáticos. El desarrollo de evaluaciones del riesgo microbiológico está orientándose cada vez más a la

incorporación de información molecular, ya que el cambio climático puede producir modificaciones en el perfil genético de patógenos de transmisión alimentaria. La cuantificación del riesgo debida a variables climáticas es compleja debido a la variabilidad en el impacto de las mismas sobre la persistencia y virulencia de los patógenos alimentarios (Katsini et al., 2022). A modo de ejemplo, el aumento de temperaturas puede inducir la transferencia horizontal de genes y elementos genéticos móviles de resistencia, promoviendo el aumento de la incidencia de patógenos resistentes a antimicrobianos (MacFadden et al., 2018). Por otro lado, existen estudios basados en algoritmos de *Machine Learning* que pueden predecir cambios en los patrones genéticos de *E. coli* y *Salmonella* teniendo en cuenta variables asociadas al cambio climático (Buyrukoglu et al., 2021) (Karanth et al., 2023b) (Roufou et al., 2024).

Además, el uso de plataformas digitales ha facilitado la comunicación entre las distintas entidades involucradas en la seguridad alimentaria. Las aplicaciones móviles y sistemas en la nube permiten la notificación inmediata de hallazgos relevantes, promoviendo una respuesta coordinada entre productores, autoridades sanitarias y distribuidores de alimentos. Esto resulta crucial en un contexto de cambio climático, donde las condiciones ambientales pueden variar de manera impredecible, aumentando la probabilidad de brotes inesperados.

La automatización de los procesos de inspección y control de calidad también ha sido potenciada por la digitalización. El uso de drones equipados con cámaras térmicas y espectroscopia permite evaluar la contaminación en cultivos y cuerpos de agua sin la necesidad de muestreo manual (Jin et al., 2021). De igual forma, la implementación de sistemas de visión artificial en plantas de procesamiento de alimentos contribuye a la detección rápida de irregularidades en la producción (Jia et al., 2020).

A medida que el cambio climático continúa afectando a la ecología de los patógenos, la implementación de soluciones digitales se vuelve cada vez más relevante para garantizar la seguridad alimentaria y proteger la salud pública. Sin embargo, a pesar de los beneficios de la digitalización en la gestión del riesgo de patógenos, existen desafíos que deben abordarse. La estandarización de protocolos de datos, la seguridad cibernética y la accesibilidad a estas tecnologías en países en desarrollo son algunos de los retos a superar. La integración efectiva de estos sistemas requiere inversiones en infraestructura y capacitación del personal, además de la cooperación entre el sector público y privado para garantizar su implementación efectiva.

Conclusiones del Comité Científico

El cambio climático puede tener un impacto sobre la seguridad alimentaria y la salud pública debido a la proliferación y propagación de patógenos de transmisión alimentaria. Las alteraciones en los patrones climáticos, como el aumento de temperaturas, los cambios en las precipitaciones y la mayor frecuencia de eventos climáticos extremos, han modificado la distribución y persistencia de microorganismos, favoreciendo su expansión a nuevas áreas geográficas y aumentando el riesgo de enfermedades transmitidas a través de los alimentos.

Uno de los principales desafíos en el contexto del cambio climático es la notable capacidad de adaptación de los patógenos a condiciones ambientales variables. Diversos estudios han de-

mostrado que microorganismos como *Salmonella*, *Campylobacter*, *Escherichia coli* y especies del género *Vibrio* tienden a mostrar una mayor prevalencia en entornos con temperaturas elevadas, ya que el calor puede favorecer su crecimiento, supervivencia y capacidad de infección. Por otro lado, la variabilidad en las precipitaciones y la humedad ambiental ha beneficiado la persistencia y diseminación de otros agentes, como virus entéricos y ciertos parásitos, al facilitar su transporte en aguas superficiales o su supervivencia en suelos húmedos.

Además, el cambio en las condiciones ambientales puede contribuir al aumento de la resistencia a antimicrobianos a nivel global. El estrés ambiental (provocado por factores como el calor extremo, la sequía o la contaminación) puede actuar como una presión selectiva que favorece la supervivencia de cepas microbianas más resistentes, dificultando su eliminación mediante tratamientos convencionales y complicando su control a lo largo de toda la cadena alimentaria.

En este escenario, la globalización de los sistemas agroalimentarios ha intensificado el impacto del cambio climático sobre la seguridad alimentaria mundial. La expansión del comercio internacional, junto con la creciente demanda de productos frescos, exóticos o mínimamente procesados, ha multiplicado las rutas de transmisión de patógenos, facilitando su introducción en nuevas regiones. Prácticas como el transporte masivo de animales y alimentos, el uso de aguas residuales en la agricultura, y la adopción de nuevas pautas de consumo alimentario, han incrementado la exposición de la población a patógenos emergentes y reemergentes, y con ello, el riesgo de brotes a escala internacional.

Para mitigar estos riesgos, es crucial fortalecer los sistemas de vigilancia epidemiológica mediante tecnologías avanzadas. La implementación de plataformas digitales para la gestión del riesgo ha permitido mejorar la comunicación y coordinación entre los diferentes actores de la cadena alimentaria, facilitando respuestas rápidas ante emergencias sanitarias.

Asimismo, la adaptación de normativas y protocolos de seguridad alimentaria es esencial para enfrentar los nuevos desafíos derivados del cambio climático. Estrategias como la promoción de prácticas agrícolas sostenibles, la vigilancia del agua utilizada en el riego y el refuerzo de medidas de bioseguridad en la producción ganadera pueden reducir significativamente la incidencia de enfermedades transmitidas a través de los alimentos.

El cambio climático no solo afecta a la seguridad alimentaria a corto plazo, sino que también plantea desafíos a largo plazo en términos de resiliencia y sostenibilidad de los sistemas alimentarios. La investigación continua es fundamental para comprender mejor la relación entre el clima y los patógenos, así como para desarrollar soluciones innovadoras que minimicen su impacto en la salud humana. La colaboración internacional y multidisciplinaria será clave en la formulación de políticas efectivas para la mitigación de riesgos y la adaptación a un entorno cambiante.

Finalmente, la educación y sensibilización de la población sobre los riesgos alimentarios asociados al cambio climático son herramientas fundamentales para fomentar hábitos de consumo responsables y garantizar sistemas alimentarios más seguros y sostenibles en el futuro. La preparación ante desastres naturales, el fortalecimiento de la infraestructura sanitaria y la inversión en tecnologías de control microbiológico son medidas prioritarias para reducir la vulnerabilidad de las comunidades ante estos cambios ambientales. En este contexto, el control microbiológico se re-

fiere al conjunto de técnicas y tecnologías destinadas a detectar, eliminar o inhibir la proliferación de microorganismos patógenos en alimentos, agua y superficies de contacto. Esto incluye métodos como la filtración avanzada, la desinfección mediante radiación ultravioleta, ozono o cloración, así como el desarrollo de sistemas de monitoreo en tiempo real, biosensores y otras herramientas que permiten identificar y responder rápidamente ante la presencia de contaminantes microbiológicos en entornos críticos para la salud pública.

Referencias

- Abdella, B., Shokrak, N.M., Abozohra, N.A., Elshamy, Y.M., Kadira, H.I. y Mohamed, R.A. (2024). Aquaculture and *Aeromonas hydrophila*: a complex interplay of environmental factors and virulence. *Aquaculture International*, 32 (6), pp: 7671-7681.
- ACSA (2025). Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria. Cambio climático y seguridad alimentaria microbiológica. Disponible en: <https://scientiasalut.gencat.cat/bitstream/handle/11351/13032/canvi-climatic-seguretat-alimentaria-microbiologica-2025-cas.pdf?sequence=5&isAllowed=y> [acceso: 30-05-25].
- AESAN (2012). Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre medidas de prevención y recomendaciones aplicables para evitar posibles infecciones alimentarias por cepas de *Escherichia coli* verotoxigénicos/productores de toxinas Shiga/enterohemorrágicos (VTEC/STEC/EHEC). *Revista del Comité Científico de la AESAN*, 16, pp: 71-100.
- AESAN (2021). Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) en relación a los efectos del cambio climático sobre la presencia de micotoxinas en los alimentos. *Revista del Comité Científico de la AESAN*, 33, pp: 11-51.
- Agriopoulou, S., Stamatelopoulou, E. y Varzakas, T. (2020). Advances in Occurrence, Importance, and Mycotoxin Control Strategies: Prevention and Detoxification in Foods. *Foods*, 9 (2): 137, pp: 1-48.
- Aijuka, M. y Buys, E.M. (2019). Persistence of foodborne diarrheagenic *Escherichia coli* in the agricultural and food production environment: Implications for food safety and public health. *Food Microbiology*, 82, pp: 363-370.
- Anyamba, A., Chretien, J.-P., Britch, S.C., Soebiyanto, R.P., Small, J.L., Jepsen, R., Forshey, B.M., Sanchez, J.L., Smith, R.D., Harris, R., Tucker, C.J., Karesh, W.B. y Linthicum, K.J. (2019). Global Disease Outbreaks Associated with the 2015-2016 El Niño Event. *Scientific Reports*, 9 (1): 1930, pp: 1-14.
- Austhof, E., Warner, S., Helfrich, K., Pogreba-Brown, K., Brown, H.E., Klimentidis, Y.C., Scallan Walter E., Jervis, R.H. y White, A.E. (2024). Exploring the association of weather variability on *Campylobacter* - A systematic review. *Environmental Research*, 252 (Part 1): 118796.
- Awad, D.A., Masoud, H.A. y Hamad, A. (2024). Climate changes and food-borne pathogens: the impact on human health and mitigation strategy. *Climatic Change*, 177 (6): 92, pp: 1-25.
- Balendres, M., Karlovsky, P. y Cumagun, C. (2019). Mycotoxigenic Fungi and Mycotoxins in Agricultural Crop Commodities in the Philippines: A Review. *Foods*, 8 (7): 249, pp: 1-12.
- Balta, I., Lemon, J., Murnane, C., Pet, I., Vintila, T., McCleery, D., Callaway, T., Douglas, A., Stef, L. y Corcionvoschi, N. (2024). The One Health aspect of climate events with impact on foodborne pathogens transmission. *One Health*, 19: 100926, pp: 1-6.
- Bartlow, A.W., Machalaba, C., Karesh, W.B. y Fair, J.M. (2021). Biodiversity and Global Health: Intersection of Health, Security, and the Environment. *Health security*, 19 (2), pp: 214-222.
- Battilani, P., Rossi, V., Giorni, P., Pietri, A., Gualla, A., van der Fels-Klerx, H.J., Booij, C.J. H., Moretti, A., Logrieco, A., Miglietta, F., Toscano, P., Miraglia, M., de Santis, B. y Brera, C. (2012). Modelling, predicting and mapping the emergence of aflatoxins in cereals in the EU due to climate change. *EFSA Supporting Publications*, 9 (1), EN-223, pp: 1-172.

- Battilani, P., Toscano, P., van der Fels-Klerx, H.J., Moretti, A., Camardo, M., Brera, C., Rortais, A., Goumperis, T. y Robinson, T. (2016). Aflatoxin B1 contamination in maize in Europe increases due to climate change. *Scientific Reports*, 6 (1): 24328, pp: 1-7.
- Bett, B., Kiunga, P., Gachohi, J., Sindato, C., Mbotha, D., Robinson, T., Lindahl, J. y Grace, D. (2017). Effects of climate change on the occurrence and distribution of livestock diseases. *Preventive Veterinary Medicine*, 137, pp: 119-129.
- Billah, M.M. y Rahman, Md.S. (2022). Impacts of anthropogenic contaminants and elevated temperature on prevalence and proliferation of *Escherichia coli* in the wild-caught American oyster, *Crassostrea virginica* in the southern Gulf of Mexico coast. *Marine Biology Research*, 17 (9-10), pp: 775-793.
- Bintsis, T. (2017). Foodborne pathogens. *AIMS Microbiology*, 3 (3), pp: 529-563.
- Boxall, A.B.A., Hardy, A., Beulke, S., Boucard, T., Burgin, L., Falloon, P.D., Haygarth, P. M., Hutchinson, T., Kovats, R.S., Leonardi, G., Levy, L.S., Nichols, G., Parsons, S.A., Potts, L., Stone, D., Topp, E., Turley, D.B., Walsh, K., Wellington, E.M.H. y Williams, R.J. (2009). Impacts of Climate Change on Indirect Human Exposure to Pathogens and Chemicals from Agriculture. *Environmental Health Perspectives*, 117 (4), pp: 508-514.
- Brandenburg, K.M., Velthuis, M. y Van de Waal, D.B. (2019). Meta-analysis reveals enhanced growth of marine harmful algae from temperate regions with warming and elevated CO₂ levels. *Global Change Biology*, 25, pp: 2607-2618.
- Breitburg, D., Levin, L.A., Oschlies, A., Gregoire, M., Chavez, F.P., Conley, D.J. y Jacinto, G.S. (2018). Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*, 359: 7240.
- Bricelj, V.M., Connell, L., Konoki, K., MacQuarrie, S.P., Scheuer, T., Catterall, W.A. y Trainer, V.L. (2005). Sodium channel mutation leading to saxitoxin resistance in clams increases risk of PSP. *Nature*, 434, pp: 763-767.
- Brogli, A. y Kapel, C. (2011). Changing dietary habits in a changing world: Emerging drivers for the transmission of foodborne parasitic zoonoses. *Veterinary Parasitology*, 182, pp: 2-13.
- Broza, M., Gancz, H., Halpern, M. y Kashi, Y. (2005). Adult non-biting midges: possible windborne carriers of *Vibrio cholerae* non-O1 non-O139. *Environmental Microbiology*, 7 (4), pp: 576-585.
- Brun, P., Payne, M.R. y Kjørboe, T. (2019). Climate change has altered zooplankton-facilitated microplastic transport in the world's oceans. *Nature Communications*, 10, pp: 1-9.
- Bryan, K., Ward, S., Roberts, L., White, M.P., Landeg, O., Taylor, T. y McEwen, L. (2020). The health and well-being effects of drought: assessing multi-stakeholder perspectives through narratives from the UK. *Climatic Change*, 163 (4), pp: 2073-2095.
- Burge, C.A., Mark Eakin, C., Friedman, C.S., Froelich, B., Hershberger, P.K., Hofmann, E.E., Petes, L.E., Prager, K.C., Weil, E., Willis, B.L., Ford, S.E. y Harvell, C.D. (2014). Climate Change Influences on Marine Infectious Diseases: Implications for Management and Society. *Annual Review of Marine Science*, 6 (1), pp: 249-277.
- Buyrukoğlu, G., Buyrukoğlu, S. y Topalcengiz, Z. (2021). Comparing Regression Models with Count Data to Artificial Neural Network and Ensemble Models for Prediction of Generic *Escherichia coli* Population in Agricultural Ponds Based on Weather Station Measurements. *Microbial Risk Analysis*, 19: 100171.
- Cai, W., Borlace, S., Lengaigne, M., van Rensch, P., Collins, M., Vecchi, G., Timmermann, A., Santoso, A., McPhaden, M.J., Wu, L., England, M.H., Wang, G., Guilyardi, E. y Jin, F.-F. (2014). Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nature Climate Change*, 4 (2), pp: 111-116.
- Calder, L., Simmons, G., Thornley, C., Taylor, P., Pritchard, K., Greening, G. y Bishop, J. (2003). An outbreak of hepatitis A associated with consumption of raw blueberries. *Epidemiology and Infection*, 131, pp: 745-751.
- Campbell, A.M., Cabrera-Gumbau, J.M., Trinanés, J., Baker-Austin, C. y Martínez-Urtaza, J. (2025). Machine Learning Potential for Identifying and Forecasting Complex Environmental Drivers of *Vibrio vulnificus* Infections in the United States. *Environmental Health Perspectives*, 133 (1), pp: 1-12.
- Cash, B.A., Rodó, X., Emch, M., Yunus, Md., Faruque, A.S.G. y Pascual, M. (2014). Cholera and Shigellosis: Different Epidemiology but Similar Responses to Climate Variability. *PLoS ONE*, 9 (9): e107223, pp: 1-10.

- Castano-Duque, L., Winzeler, E., Blackstock, J.M., Liu, C., Vergopalan, N., Focker, M., Barnett, K., Owens, P.R., van der Fels-Klerx, H.J., Vaughan, M.M. y Rajasekaran, K. (2023). Dynamic geospatial modeling of mycotoxin contamination of corn in Illinois: unveiling critical factors and predictive insights with machine learning. *Frontiers in Microbiology*, 14, pp: 1-20.
- Castellano-Martinez, A., Rodríguez-Gonzalez, M. y Roldan-Cano, V. (2019). Síndrome hemolítico-urémico causado por *Aeromonas caviae* en un paciente pediátrico. *Medicina Clínica*, 152 (1), pp: 38-39.
- Cervini, C., Verheeeke-Vaessen, C., Ferrara, M., García-Cela, E., Magistà, D., Medina, A., Gallo, A., Magan, N. y Perrone, G. (2021). Interacting climate change factors (CO₂ and temperature cycles) effects on growth, secondary metabolite gene expression and phenotypic ochratoxin A production by *Aspergillus carbonarius* strains on a grape-based matrix. *Fungal Biology*, 125 (2), pp: 115-122.
- Cevallos-Cevallos, J.M., Gu, G., Danyluk, M.D., Dufault, N.S. y Van Bruggen, A.H.C. (2012). *Salmonella* can reach tomato fruits on plants exposed to aerosols formed by rain. *International Journal of Food Microbiology*, 158, pp: 140-146.
- Cheung, M.Y., Liang, S. y Lee, J. (2013). Toxin-producing cyanobacteria in freshwater: a review of the problems, impact on drinking water safety, and efforts for protecting public health. *Journal of Microbiology*, 51, pp: 1-10.
- Cheung, Y.Y., Cheung, S., Mak, J., Liu, K., Xia, X., Zhang, X. y Liu, H. (2021). Distinct interaction effects of warming and anthropogenic input on diatoms and dinoflagellates in an urbanized estuarine ecosystem. *Global Change Biology*, 27 (15), pp: 3463-3473.
- Colin, S.P. y Dam, H.G. (2002). Latitudinal differentiation in the effects of the toxic dinoflagellate *Alexandrium* spp. on the feeding and reproduction of populations of the copepod *Acartia hudsonica*. *Harmful Algae*, 1, pp: 113-125.
- Collins, S., Rost, B. y Rynearson, T.A. (2014). Evolutionary potential of marine phytoplankton under ocean acidification. *Evolutionary Applications*, 7 (1), pp: 140-155.
- COP29 (2024). UN Climate Conference. COP28: FAO spotlights agrifood systems' potential to address climate impacts and achieve 1.5 °C goal. Disponible en: <https://www.fao.org/newsroom/detail/cop28--fao-spotlights-agrifood-systems--potential-to-address-climate-impacts-and-achieve-1.5-c-goal/en> [acceso: 30-05-25].
- Couturier, A., Chidiac, C., Truy, E. y Ferry, T. (2017). Ethmoiditis with subperiosteal and retro-ocular abscesses due to *Aeromonas sobria* in a 16-year-old boy exposed to the Ardèche river. *BMJ Case Reports*, bcr2017219505, pp: 1-2.
- Cuevas-Ferrando, E., Pérez-Cataluña, A., Falcó, I., Randazzo, W. y Sánchez, G. (2022). Monitoring human viral pathogens reveals potential hazard for treated wastewater discharge or reuse. *Frontiers in Microbiology*, 13: 836193, pp: 1-12.
- Das, R., Sailo, L., Verma, N., Bharti, P., Saikia, J., Imtiwati y Kumar, R. (2016). Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review. *Veterinary World*, 9 (3), pp: 260-268.
- Davenport, F.V., Herrera-Estrada, J.E., Burke, M. y Duffenbaugh, N.S. (2019). Flood size increases non-linearly across Western United States in response to lower snow- precipitation ratios. *Water Resources Research*, 56 (1): e2019WR025571, pp: 1-19.
- Detay, M., Alessandrello, E., Come, P. y Groom, I. (1989). Groundwater contamination and pollution in Micronesia. *Journal of Hydrology*, 112, pp: 149-170.
- Dietrich, J., Hammerl, J.-A., Johne, A., Kappenstein, O., Loeffler, C., Nöckler, K., Rosner, B., Spielmeyer, A., Szabo, I. y Richter, M.H. (2023). Impact of climate change on foodborne infections and intoxications. *Journal of Health Monitoring*, 8 (S3), pp: 78-92.
- Doney, S.C., Fabry, V.J., Feely, R.A. y Kleypas, J.A. (2009). Ocean acidification: the other CO₂ problem. *Annual Review of Marine Science*, 1, pp: 169-192.
- Donoso, S., Gadicke, P. y Landaeta, C. (2016). Zoonosis transmitted by food can affect its epidemiology, as a result of climate change and processes of globalization. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 32 (2), pp: 149-156.

- Doyle, M.P. y Erickson, M.C. (2008). En libro: *Imported Foods. Microbiological Issues and Challenges*. Georgia. ASM Press.
- Duchenne-Moutien, R.A. y Neetoo, H. (2021). Climate Change and Emerging Food Safety Issues: A Review. *Journal of Food Protection*, 84 (11), pp: 1884-1897.
- ECDC (2021). Centro Europeo para la Prevención y Control de Enfermedades. Risk of infectious diseases in flood-affected areas from the European Union. Disponible en <https://www.ecdc.europa.eu/es/news-events/risk-infectious-diseases-flood-affected-areas-european-union> [acceso: 30-05-25].
- Edwards, M., Johns, D.G., Leterme, S.C., Svendsen, E. y Richardson, A.J. (2006). Regional climate change and harmful algal blooms in the northeast Atlantic. *Limnology and Oceanography*, 51 (2): 820e829, pp: 820-829.
- EFSA (2014). Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria. Scientific Opinion on the risk posed by pathogens in food of non-animal origin. Part 2 (*Salmonella* and Norovirus in berries). *EFSA Journal*, 12 (6): 3706, pp: 1-95.
- EFSA (2020). Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria. Climate change as a driver of emerging risks for food and feed safety, plant, animal health and nutritional quality. *EFSA supporting publication*, EN-1881, pp: 1-146.
- EFSA (2024). Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria.. Public health aspects of *Vibrio* spp. related to the consumption of seafood in the EU. *EFSA Journal*, 22: e8896, pp: 1-92.
- EFSA/ECDC (2024). Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria/Centro Europeo para la Prevención y Control de Enfermedades. The European Union One Health 2023 Zoonoses report. *EFSA Journal*, 22 (12): e9106, pp: 1-201.
- Engelthaler, D.M. y Casadevall, A. (2019). On the emergence of *Cryptococcus gattii* in the Pacific Northwest: Ballast tanks, tsunamis, and black swans. *MBio*, 10 (5): e02193-19, pp: 1-10.
- Englund, G., Öhlund, G., Hein, C.L. y Diehl, S. (2011). Temperature dependence of the functional response. *Ecology Letters*, 14, pp: 914-921.
- European Climate and Health Observatory (2024). Enfermedades transmitidas por el agua y los alimentos. Disponible en: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/es/observatory/evidence/health-effects/water-and-food-borne-diseases> [acceso: 30-05-25].
- Fanzo, J., Davis, C., McLaren, R. y Choufani, J. (2018). The effect of climate change across food systems: Implications for nutrition outcomes. *Global Food Security*, 18, pp: 12-19.
- FAO (1996). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Rome Declaration on World Food Security and World Food Summit on Plan Action. In Proceedings of the World Food Summit. Disponible en: <https://www.fao.org/4/w3613e/w3613e00.htm> [acceso: 30-05-25].
- FAO (2008). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Climate change: implications for food safety. Disponible en: <https://www.fao.org/4/i0195e/i0195e00.pdf> [acceso: 30-05-25].
- FAO (2018). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i9705en/i9705en.pdf> [acceso: 30-05-25].
- FAO (2020). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Climate change: unpacking the burden on food safety. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/6f-00ca3a-90ae-432b-8124-d748533b277a/content> [acceso: 30-05-25].
- Feliciano, R., Boué, G., Mohssin, F., Hussaini, M.M. y Membré, J.M. (2021). Probabilistic modelling of *Escherichia coli* concentration in raw milk under hot weather conditions. *Food Research International*, 149: 110679, pp: 1-10.
- Figueras, M.J., Aldea, M.J., Fernández, N., Aspíroz, C., Alperi, A. y Guarro, J. (2007). *Aeromonas* hemolytic uremic syndrome. A case and a review of the literature. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 58 (2), pp: 231-234.
- Fox, J.W. (2012). Venoms and poisons from marine organisms. En libro: *Goldman's Cecil medicine*. 24ª edición. Filadelfia. Elsevier Saunders, pp: 697-700.
- Froeschke, G., Harf, R., Sommer, S. y Matthee, S. (2010). Effects of precipitation on parasite burden along a nat-

- ural climatic gradient in southern Africa - implications for possible shifts in infestation patterns due to global changes. *Oikos*, 119, pp: 1029-1039.
- Gagné, M.J., Savard, T. y Brassard, J. (2022). Interactions Between Infectious Foodborne Viruses and Bacterial Biofilms Formed on Different Food Contact Surfaces. *Food and Environmental Virology*, 14 (3), pp: 267-279.
- Ganiatsa, A., Gartzonika, C., Gaitanis, G., Voulgari, P., Levidiotou-Stefanou, S. y Bassukas, I.D. (2020). *Aeromonas hydrophila* Survives the Treatment of Posttraumatic Cellulitis in the Shelter of an Obscured Fish-Bone Fragment. *Case Reports in Dermatological Medicine*, 2020: 498950, pp: 1-3.
- Garofalo, C., Osimani, A., Milanović, V., Taccari, M., Cardinali, F., Aquilanti, L., Riolo, P., Ruschioni, S., Isidoro, N. y Clementi, F. (2017). The microbiota of marketed processed edible insects as revealed by high-throughput sequencing. *Food Microbiology*, 62, pp: 15-22.
- Ge, C., Lee, C. y Lee, J. (2012). The impact of extreme weather events on *Salmonella* internalization in lettuce and green onion. *Food Research International*, 45, pp: 1118-1122.
- Gertler, M., Dürr, M., Renner, P., Poppert, S., Askar, M., Breidenbach, J., Frank, C., Preußel, K., Schielke, A., Werber, D., Chalmers, R., Robinson, G., Feuerpfeil, I., Tannich, E., Gröger, C., Stark, K. y Wilking, H. (2015). Outbreak of cryptosporidium hominis following river flooding in the city of Halle (Saale), Germany, August 2013. *BMC Infectious Diseases*, 15 (1): 88, pp: 1-10.
- Gillingham, E., Lake, I., Lo Iacono, G. y Nichols, G. (2023). Effect of climate change on infectious diseases in the UK. Disponible en: <https://openresearch.surrey.ac.uk/esploro/outputs/report/Effect-of-climate-change-on-infectious/99841364402346> [acceso: 30-05-25].
- Giordano, M., Beardall, J. y Raven, J.A. (2005). CO₂ concentrating mechanisms in algae: mechanisms, environmental modulation, and evolution. *Annual Review of Plant Biology*, 56, pp: 99-131.
- Girón-Guzmán, I., Sánchez-Alberola, S., Cuevas-Ferrando, E., Falcó, I., Díaz-Reolid, A., Puchades-Colera, P., Ballesteros, S., Pérez-Cataluña, A., Coll, J.M., Núñez, E., Fabra, M.J., López-Rubio, A. y Sánchez, G. (2024). Longitudinal study on the multifactorial public health risks associated with sewage reclamation. *Clean Water*, 7 (72), pp: 1-15.
- Glibert, P.M., Allen, J.I., Artioli, Y., Beusen, A., Bouwman, L., Harle, J. y Holt, J. (2014). Vulnerability of coastal ecosystems to changes in harmful algal bloom distribution in response to climate change: projections based on model analysis. *Global Change Biology*, 20, pp: 3845-3858.
- Gobler, C.J. y Baumann, H. (2016). Hypoxia and acidification in ocean ecosystems: coupled dynamics and effects on marine life. *Biology Letters*, 12 (5): 20150976, pp: 1-8.
- Gobler, C.J. (2020). Climate Change and Harmful Algal Blooms: Insights and perspective. *Harmful Algae*, 91: 101731, pp: 1-4.
- Gobler, C.J., Doherty, O.M., Griffith, A.W., Hattenrath-Lehmann, T.K., Kang, Y. y Litaker, W. (2017). Ocean warming since 1982 has expanded the niche of toxic algal blooms in the North Atlantic and North Pacific oceans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114, pp: 4975-4980.
- Goedknegt, M.A., Welsh, J.E., Drent, J. y Thielges, D.W. (2015). Climate change and parasite transmission: how temperature affects parasite infectivity via predation on infective stages. *Ecosphere*, 6 (6): 96, pp: 1-9.
- Greenfield, D.I., Gooch, J., Stewart, J.R., Hilborn, E.D., George, B.J., Li, Q., Dickerson, J., Keppler, C.K. y Sandifer, P.A. (2017). Temporal and Environmental Factors Driving *Vibrio Vulnificus* and *V. Parahaemolyticus* Populations and Their Associations With Harmful Algal Blooms in South Carolina Detention Ponds and Receiving Tidal Creeks. *GeoHealth*, 1 (9), pp: 306-317.
- Griffith, A.W., Doherty, O.M. y Gobler, C.J. (2019). Ocean warming along temperate western boundaries of the Northern Hemisphere promotes an expansion of *Cochlodinium polykrikoides* blooms. *Proceedings of the Royal Society B*, 286 (1904): 20190340, pp: 1-9.
- Grilo, M.L., Pereira, A., Sousa-Santos, C., Robalo, J.I. y Oliveira, M. (2021). Climatic Alterations Influence Bacterial Growth, Biofilm Production and Antimicrobial Resistance Profiles in *Aeromonas* spp. *Antibiotics*, 10 (8): 1008, pp: 1-15.

- Grimaud, G.M., Mairet, F., Sciandra, A. Y Bernard, O. (2017). Modeling the temperature effect on the specific growth rate of phytoplankton: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 16 (4), pp: 625-645.
- Guzman, B.R., de Blasio, B.F., MacDonald, E., Nichols, G., Sudre, B., Vold, L., Semenza, J.C. y Nygård, K. (2015). Analytical studies assessing the association between extreme precipitation or temperature and drinking water-related waterborne infections: a review. *Environmental Health*, 14 (1): 29, pp: 1-12.
- Hall, G.V., D'Souza, R.M. y Kirk, M.D. (2002). Foodborne disease in the new millennium: out of the frying pan and into the fire? *The Medical Journal of Australia*, 177 (11-12), pp: 614-618.
- Hallegraeff, G.M. (2010). Ocean climate change, phytoplankton community responses, and harmful algal blooms: a formidable predictive challenge. *Journal of Phycology*, 46 (2), pp: 220-235.
- Hardy, J.T. (2003). En libro: *Climate change: causes, effects, and solutions*. Chichester. John Wiley & Sons.
- Hassoun, A., Bekhit, A.E.D., Jambrik, A.R., Regenstein, J.M., Chemat, F., Morton, J.D. y Ueland, Ø. (2022). The fourth industrial revolution in the food industry-part II: Emerging food trends. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64 (2), pp: 407-437.
- Hee, S., Knauer, K., Su, C. y Toborek, M. (2025). Antibiotic resistance in plastisphere. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13 (1): 115217.
- Herrera, M., Anadón, R., Iqbal, S.Z., Bailly, J.D. y Ariño, A. (2016). Food safety-basic concepts, recent issues, and future challenges. En libro: *Climate change and food safety*. Suiza. Springer, pp: 113-123.
- Hinder, S.L., Hays, G.C., Edwards, M., Roberts, E.C., Walne, A.W. y Gravenor, M.B. (2012). Changes in marine dinoflagellate and diatom abundance under climate change. *Natural Climate Change*, 2 (4), pp: 271-275.
- Huang, Y., Ren, W., Wang, L., Hui, D., Grove, J.H., Yang, X., Tao, B. y Goff, B. (2018). Greenhouse gas emissions and crop yield in no-tillage systems: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 268, pp: 144-153.
- Hummel, M.A., Berry, M.S. y Stacey, M.T. (2018). Sea level rise impacts on wastewater treatment systems along the US coasts. *Earth's Future*, 6 (4), pp: 622-633.
- Hunter, P.R. (2003). Climate change and waterborne and vector-borne disease. *Journal of Applied Microbiology*, 94, pp: 37-46.
- IOM (2024). International Organization for Migration. World migration report 2024. Disponible en: <https://worldmigrationreport.iom.int/> [acceso: 30-05-25].
- IPCC (2019). Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Food Security. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/srcccl/chapter/chapter-5/> [acceso: 30-05-25].
- IPCC (2021). Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Climate Change 2021 - The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponible en: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf [acceso: 30-05-25].
- IPCC (2022a). Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> [acceso: 30-05-25].
- IPCC (2022b). Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/srcccl/chapter/chapter-4-sea-level-rise-and-implications-for-low-lying-islands-coasts-and-communities/> [acceso: 30-05-25].
- IPCC (2023). Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Climate Change 2023: Synthesis Report. Disponible en: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf [acceso: 30-05-25].
- Ivanovich, C.C., Sun, T., Gordon, D.R. y Ocko, I.B. (2023). Future warming from global food consumption. *Nature Climate Change*, 13 (3), pp: 297-302.
- Janda, J.M. y Abbott, S.L. (2010). The Genus *Aeromonas*: Taxonomy, Pathogenicity, and Infection. *Clinical Microbiology Reviews*, 23 (1), pp: 35-73.

- Jia, B., Wang, W., Ni, X., Lawrence, K.C., Zhuang, H., Yoon, S.-C. y Gao, Z. (2020). Essential processing methods of hyperspectral images of agricultural and food products. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 198: 103936.
- Jiang, C., Shaw, K., Upperman, C.R., Blythe, D., Mitchell, C., Murtugudde, R., Sapkota, A.R. y Sapkota, A. (2015). Climate change, extreme events and increased risk of salmonellosis in Maryland, USA: evidence for coastal vulnerability. *Environment International*, 83, pp: 58-62.
- Jiménez, A.E., Fernández, A., Alfaro, R., Dolz, G., Vargas, B., Epe, C. y Schnieder, T. (2010). A cross-sectional survey of gastrointestinal parasites with dispersal stages in feces from Costa Rican dairy calves. *Veterinary Parasitology*, 173, pp: 236-246.
- Jin, H., Köppl, C.J., Fischer, B.M.C., Rojas-Conejo, J., Johnson, M.S., Morillas, L., Lyon, S.W., Durán-Quesada, A.M., Suárez-Serrano, A., Manzoni, S. y García, M. (2021). Drone-Based Hyperspectral and Thermal Imagery for Quantifying Upland Rice Productivity and Water Use Efficiency after Biochar Application. *Remote Sensing*, 13 (10), pp: 1-22.
- Johansson, E., Lan, Y., Olalekan, O., Kuktaite, R., Chawade, A. y Rahmatov, M. (2024). Alien introgression to wheat for food security: functional and nutritional quality for novel products under climate change. *Frontiers in Nutrition*, 11: 1393357, pp: 1-11.
- Johnson, P.T.J., Dobson, A., Lafferty, K.D., Marcogliese, D., Memmott, J., Orlofske, S.A., Poulin, R. y Thielges, D.W. (2010). When parasites become prey: ecological and epidemiological significance of eating parasites. *Trends in Ecology and Evolution*, 25, pp: 362-371.
- Johnson, P.T.J. y Thielges, D.W. (2010). Diversity, decoys and the dilution effect: how ecological communities affect disease risk. *Journal of Experimental Biology*, 213, pp: 961-970.
- Johnson, P.T., Ostfeld, R.S. y Keesing, F. (2015). Frontiers in research on biodiversity and disease. *Ecology letters*, 18 (10), pp: 1119-1133.
- Jones, K.E., Patel, N.G., Levy, M.A., Storeygard, A., Balk, D., Gittleman, J.L. y Daszak, P. (2008). Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*, 451, pp: 990-993.
- Joseph, C., Hamilton, G., O'Connor, M., Nicholas, S., Marshall, R., Stanwell-Smith, R., Sims, R., Ndawula, E., Casemore, D., Gallagher, P. y Harnett, P. (1991). Cryptosporidiosis in the Isle of Thanet: an outbreak associated with local drinking water. *Epidemiology & Infection*, 107, pp: 509-519.
- Judan, K.G., Takumi, O., Bongulto, K.A., Gandalera, E.E., Kagia, N. y Watanabe, K. (2024). Natural compound-induced downregulation of antimicrobial resistance and biofilm-linked genes in wastewater *Aeromonas* species. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 14, pp: 1-12.
- Karant, S., Beneño, E.O., Patra, D. y Pradhan, A.K. (2023a). Importance of artificial intelligence in evaluating climate change and food safety risk. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11: 100485, pp: 1-7.
- Karant, S., Patel, J., Shirmohammadi, A. y Pradhan, A.K. (2023b). Machine learning to predict foodborne salmonellosis outbreaks based on genome characteristics and meteorological trends. *Current Research in Food Science*, 6: 100525, pp: 1-10.
- Katsini, L., Bhonsale, S., Akkermans, S., Roufou, S., Griffin, S., Valdramidis, V., Misiou, O., Koutsoumanis, K., Muñoz López, C.A., Polanska, M. y van Impe, J.F.M. (2022). Quantitative methods to predict the effect of climate change on microbial food safety: A needs analysis. *Trends in Food Science & Technology*, 126, pp: 113-125.
- Keesing, F., Holt, R.D. y Ostfeld, R.S. (2006). Effects of species diversity on disease risk. *Ecology Letters*, 9, pp: 485-498.
- Keesing, F., Belden, L.K., Daszak, P., Dobson, A., Harvell, C.D., Holt, R.D., Hudson, P., Jolles, A., Jones, K.E., Mitchell, C.E., Myers, S.S., Bogich, T. y Ostfeld, R.S. (2010). Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases. *Nature*, 468, pp: 647-652.
- Kendrovski, V. y Gjorgjev, D. (2012). Climate Change: Implication for Food-Borne Diseases (*Salmonella* and Food Poisoning Among Humans in R. Macedonia). En libro: *Structure and Function of Food Engineering*. InTech.

- Khan, I., Khan, F., Ahmad, S., Pandey, P. y Khan, M.M. (2021). Microbes and Climate: A Tangled Relation. En libro: *Microbiomes and the Global Climate Change*. Singapur. Springer.
- Kim, M.K., Pyo, K., Hwang, Y., Park, K.H., Hwang, I.G., Chai, J. y Shin, E. (2012). Effect of temperature on embryonation of *Ascaris suum* eggs in an environmental chamber. *Korean Journal of Parasitology*, 50, pp: 239-242.
- Kim, Y.S., Park, K.H., Chun, H.S., Choi, C. y Bahk, G.J. (2015). Correlations between climatic conditions and foodborne disease. *Food Research International*, 68, pp: 24-30.
- Kniel, K.E. y Spanninger, P. (2017). Preharvest Food Safety Under the Influence of a Changing Climate. *Microbiology Spectrum*, 5 (2), pp: 1-9.
- Korich, D.G., Mead, J.R., Madore, M.S., Sinclair, N.A. y Sterling, C.R. (1990). Effects of ozone, chlorine dioxide, chlorine, and monochloramine on *Cryptosporidium parvum* oocyst viability. *Applied and Environmental Microbiology*, 56, pp: 1423-1428.
- Kuhn, K.G., Nygård, K.M., Guzman-Herrador, B., Sunde, L.S., Rimhanen-Finne, R., Trönnberg, L., Jepsen, M.R., Ruuhela, R., Wong, W.K. y Ethelberg, S. (2020). Campylobacter infections expected to increase due to climate change in Northern Europe. *Scientific Reports*, 10 (1): 13874, pp: 1-9.
- Kwan, L.C., Cheung, D.K.F. y Kam, K.M. (2003). Peak occurrences of ciguatera fish poisoning precede cholera outbreaks in Hong Kong. *Epidemiology and Infection*, 131 (1), pp: 621-626.
- Lacetera, N. (2019). Impact of climate change on animal health and welfare. *Animal Frontiers*, 9, pp: 26-31.
- Lafferty, K.D. (2009). The ecology of climate change and infectious diseases. *Ecology*, 90, pp: 888-900.
- Lake, I.R., Gillespie, I.A., Bentham, G., Nichols, G.L., Lane, C., Adak, G.K. y Threlfall, E.J. (2009). A re-evaluation of the impact of temperature and climate change on foodborne illness. *Epidemiology and Infection*, 137 (11), pp: 1538-1547.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304, pp: 1623-1627.
- Lamy, B., Baron, S. y Barraud, O. (2022). *Aeromonas*: the multifaceted middleman in the One Health world. *Current Opinion in Microbiology*, 65, pp: 24-32.
- Laviad, S. y Halpern, M. (2016). Chironomids' Relationship with *Aeromonas* Species. *Frontiers in Microbiology*, 7: 736, pp: 1-7.
- Laviad-Shitrit, S., Izhaki, I., Arakawa, E. y Halpern, M. (2018). Wild waterfowl as potential vectors of *Vibrio cholerae* and *Aeromonas* species. *Tropical Medicine & International Health*, 23 (7), pp: 758-764.
- Lewandowska, A.M., Boyce, D.G., Hofmann, M., Matthiessen, B., Sommer, U. y Worm, B. (2014). Effects of sea surface warming on marine plankton. *Ecology Letters*, 17 (5), pp: 614-623.
- Li, X., Wang, P., Mu, J., Mu, D., Sun, C., Li, Z., Ren, D., Huo, Z. y Xu, X. (2025). Unraveling long-term water consumption changes and agro-ecological responses to agricultural practices in arid irrigation districts of the upper Yellow River basin (2000-2021). *Journal of Hydrology*, 658: 133222.
- Liao, H., Lyon, C.J., Ying, B. y Hu, T. (2024). Climate change, its impact on emerging infectious diseases and new technologies to combat the challenge. *Emerging Microbes & Infections*, 13 (1): 2356143, pp: 1-13.
- Liu, C., Hofstra, N. y Franz, E. (2013). Impacts of climate change on the microbial safety of pre-harvest leafy green vegetables as indicated by *Escherichia coli* O157 and *Salmonella* spp. *International Journal of Food Microbiology*, 163, pp: 119-128.
- Lu, J., Yu, Z., Ngiam, L. y Guo, J. (2022). Microplastics as potential carriers of viruses could prolong virus survival and infectivity. *Water Research*, 225: 119115.
- Lutz, C., Erken, M., Noorian, P., Sun, S. y McDougald, D. (2013). Environmental reservoirs and mechanisms of persistence of *Vibrio cholerae*. *Frontiers in Microbiology*, 4: 375, pp: 1-15.
- Lynch, V.D. y Shaman, J. (2023). Waterborne Infectious Diseases Associated with Exposure to Tropical Cyclonic Storms, United States, 1996-2018. *Emerging Infectious Diseases*, 29 (8), pp: 1548-1558.
- MacFadden, D.R., McGough, S.F., Fisman, D., Santillana, M. y Brownstein, J.S. (2018). Antibiotic resistance increases with local temperature. *Nature Climate Change*, 8 (6), pp: 510-514.

- Macpherson, C.N. (2013). The epidemiology and public health importance of toxocaríasis: a zoonosis of global importance. *International Journal of Parasitology*, 43 (12-13), pp: 999-1008.
- Marcogliese, D.J. (2001). Implications of climate change for parasitism of animals in the aquatic environment. *Canadian Journal of Zoology*, 79, pp: 1331-1352.
- Marín, C., Ibáñez, D., Ríos-Corripio, G., Guerrero, J.A., Rodrigo, D. y Martínez, A. (2020). Nature of the inactivation by high hydrostatic pressure of natural contaminating microorganisms and inoculated *Salmonella* Typhimurium and *E. coli* O157:H7 on insect protein-based gel particles. *LWT- Food Science & Technology*, 133: 109948.
- Marques, A., Nunes, M.L., Moore, S.K. y Strom, M.S. (2010). Climate change and seafood safety: Human health implications. *Food Research International*, 43 (7), pp: 1766-1779.
- Martinez-Urtaza, J., Bowers, J.C., Trinanes, J. y DePaola, A. (2010). Climate anomalies and the increasing risk of *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio vulnificus* illnesses. *Food Research International*, 43 (7), pp: 1780-1790.
- Mas-Coma, S., Valero, M.A. y Bargues, M.D. (2009). Fasciola, lymnaeids and human fascioliasis, with a global overview on disease transmission, epidemiology, evolutionary genetics, molecular epidemiology and control. *Advances in Parasitology*, 69, pp: 41-146.
- McLaughlin, J.B., DePaola, A., Bopp, C.A., Martinek, K.A., Napolilli, N.P., Allison, C.G., Murray, S.L., Thompson, E.C., Bird, M.M. y Middaugh, J.P. (2005). Outbreak of *Vibrio parahaemolyticus* Gastroenteritis Associated with Alaskan Oysters. *New England Journal of Medicine*, 353 (14), pp: 1463-1470.
- McMichael, A.J., Woodruff, R.E. y Hales, S. (2006). Climate change and human health: present and future risks. *The Lancet*, 367 (9513), pp: 859-869.
- McMichael, C. (2015). Climate change-related migration and infectious disease. *Virulence*, 6, pp: 548-553.
- McMichael, A., Woodward, A. y Muir, C. (2017). Climate Change and the Health of Nations: Famines, Fevers and the Fate of Populations. *Population and Development Review*, 44 (1), pp: 176-179.
- Medina, A., Rodríguez, A. y Magan, N. (2014). Effect of climate change on *Aspergillus flavus* and aflatoxin B1 production. *Frontiers in Microbiology*, 5: 348, pp: 1-7.
- Medina, Á., Rodríguez, A. y Magan, N. (2015). Climate change and mycotoxigenic fungi: impacts on mycotoxin production. *Current Opinion in Food Science*, 5, pp: 99-104.
- Meiry M., Brenner, G., Markovits, A. y Klement, E. (2013). A change in the epidemiology of bovine cysticercosis in Israel between 1973 and 2008 due to import of live cattle. *Transboundary and Emerging Diseases*, 60, pp: 298-302.
- Merlin, C., Masters, M., McAteer, S. y Coulson, A. (2003). Why Is Carbonic Anhydrase Essential to *Escherichia coli*? *Journal of Bacteriology*, 185 (21), pp: 6415-6424.
- Mignatti, A., Boag, B. y Cattadori, I. (2016) Host immunity shapes the impact of climate changes on the dynamics of parasite infections. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113, pp: 2970-2975.
- Miraglia, M., Marvin, H.J.P., Kleter, G.A., Battilani, P., Brera, C., Coni, E., Cubadda, F., Croci, L., De Santis, B., Dekkers, S., Filippi, L., Hutjes, R.W.A., Noordam, M.Y., Pisante, M., Piva, G., Prandini, A., Toti, L., van den Born, G.J. y Vespermann, A. (2009). Climate change and food safety: An emerging issue with special focus on Europe. *Food and Chemical Toxicology*, 47 (5), pp: 1009-1021.
- Mirón, I.J. (2017). Cambio climático y riesgos alimentarios. *Revista de Salud Ambiental*, 17 (1), pp: 47-56.
- Mishra, R., Mentha, S.S., Misra, Y. y Dwivedi, N. (2023). Emerging pollutants of severe environmental concern in water and wastewater: A comprehensive review on current developments and future research. *Water-Energy Nexus*, 6, pp: 74-95.
- MITECO (2020). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (2021-2030). Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/pnacc-2021-2030_tcm30-512163.pdf [acceso: 30-05-25].
- Moore, S.K., Mantua, N.J., Hickey, B.M. y Trainer, V.L. (2009). Recent trends in paralytic shellfish toxins in Puget Sound, relationships to climate, and capacity for prediction of toxic events. *Harmful Algae*, 8 (3), pp: 463-477.

- Moore, S.M., Azman, A.S., Zaitchik, B.F., Mintz, E.D., Brunkard, J., Legros, D., Hill, A., McKay, H., Luquero, F.J., Olson, D. y Lessler, J. (2017). El Niño and the shifting geography of cholera in Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114 (17), pp: 4436-4441.
- Morand, S. (2011). En libro: *Infectious Diseases, Biodiversity and Global Changes: How the Biodiversity Sciences May Help*. InTech.
- Moretti, A., Pascale, M. y Logrieco, A.F. (2018). Mycotoxin risks under a climate change scenario in Europe. *Trends in Food Science & Technology*, 84, pp: 38-40.
- Morita, S., Namikoshi, A., Hirata, T., Oguma, K., Katayama, H., Ohgaki, S., Motoyama, N. y Fujiwara, M. (2002). Efficacy of UV irradiation in inactivating *Cryptosporidium parvum* oocysts. *Applied and Environmental Microbiology*, 68, pp: 5387-5393.
- Mouriño-Pérez, R.R., Worden, A.Z. y Azam, F. (2003). Growth of *Vibrio cholerae* O1 in Red Tide Waters off California. *Applied and Environmental Microbiology*, 69 (11), pp: 6923-6931.
- NIH (2022). National Institute of Health. Climate change and health initiative strategic framework. Disponible en: <https://www.nih.gov/sites/default/files/research-training/initiatives/climate-change/nih-climate-change-framework.pdf> [acceso: 30-05-25].
- Nhemachena, C. y Hassan, R. (2007). Micro-level Analysis of Farmers' Adaptations to Climate Change in Southern Africa. International Food Policy Research Institute. Washington. Disponible en: <https://ageconsearch.umn.edu/record/42399?ln=en&v=pdf> [acceso: 30-05-25].
- NYSERDA (2018). Health Impacts of Power Outages and Warm Weather on Food Safety- Report Summary. Disponible en: <https://www.nyserda.ny.gov/> [acceso: 30-05-25].
- O'Neil, J.M., Davis, T.W., Burford, M.A. y Gobler, C.J. (2012). The rise of harmful cyanobacteria blooms: the potential roles of eutrophication and climate change. *Harmful Algae*, 14, pp: 313-334.
- Ofek, T., Lalzar, M., Laviad-Shitrit, S., Izhaki, I. y Halpern, M. (2021). Comparative Study of Intestinal Microbiota Composition of Six Edible Fish Species. *Frontiers in Microbiology*, 12: 760266, pp: 1-9.
- Okaka, F. y Odhiambo, B. (2018). Relationship between flooding and out Break of Infectious Diseases in Kenya: a review of the literature. *Journal of Environmental and Public Health*, 5452938, pp: 1-8.
- Oliveira, M., Usall, J., Solsona, C., Alegre, I., Viñas, I. y Abadías, M. (2010). Effects of packaging type and storage temperature on the growth of foodborne pathogens on shredded 'Romaine' lettuce. *Food Microbiology*, 27 (3), pp: 375-380.
- OMS (2019). Organización Mundial de la Salud. Shiga Toxin-producing *Escherichia Coli* (STEC) and Food: Attribution, Characterization and Monitoring. Disponible en: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/272871/9789241514279-eng.pdf?sequence=1> [acceso: 30-05-25].
- Orlowski, S.A., Jadin, R.C., Preston, D.L. y Johnson, P.T. (2012). Parasite transmission in complex communities: Predators and alternative hosts alter pathogenic infections in amphibians. *Ecology*, 93, pp: 1247-1253.
- Ostfeld, R.S. y Keesing, F. (2012). Effects of host diversity on infectious disease. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 43, pp: 157-182.
- Ostry, V., Malir, F., Toman, J. y Grosse, Y. (2017). Mycotoxins as human carcinogens-the IARC Monographs classification. *Mycotoxin Research*, 33 (1), pp: 65-73.
- Paerl, H.W. y Huisman, J. (2008). Blooms like it hot. *Science*, 320, pp: 57-58.
- Paerl, H.W. y Huisman, J. (2009). Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. *Environmental Microbiology Reports*, 1, pp: 27-37.
- Palko, K. y Lemmen, D. (2017). Climate Risks and Adaptation Practices for the Canadian Transportation Sector. Disponible en: <https://natural-resources.canada.ca/sites/nrcan/files/earthsciences/pdf/assess/2016/ClimateRisk-E-ACCESSIBLE.pdf> [acceso: 30-05-25].
- Pandey, R.K., Dubey, A.K., Sharma, S. y Rani, C. (2023). Climate Change and Zoonotic diseases. *Emerging Pandemics*, 2023, pp: 81-98.

- Pang, M. (2023). Editorial: *Aeromonas* spp.-transmission, pathogenesis, host-pathogen interaction, prevention and treatment. *Frontiers in Microbiology*, 14: 1320343, pp: 1-2.
- Pascual, M., Rodó, X., Ellner, S.P., Colwell, R. y Bouma, M.J. (2000). Cholera Dynamics and El Niño-Southern Oscillation. *Science*, 289: 5485, pp: 1766-1769.
- Patz, J.A., Engelberg, D. y Last, J. (2000). The Effects of Changing Weather on Public Health. *Annual Review of Public Health*, 21 (1), pp: 271-307.
- Paz, S. y Broza, M. (2007). Wind Direction and Its Linkage with *Vibrio cholerae* Dissemination. *Environmental Health Perspectives*, 115 (2), pp: 195-200.
- Peng, Z., Liu, Y., Qi, J., Gao, H., Li, X., Tian, Q., Qian, X., Wei, G. y Jiao, S. (2023). The climate-driven distribution and response to global change of soil-borne pathogens in agroecosystems. *Global Ecology and Biogeography*, 32 (5), pp: 766-779.
- Perrone, G., Ferrara, M., Medina, A., Pascale, M. y Magan, N. (2020). Toxigenic Fungi and Mycotoxins in a Climate Change Scenario: Ecology, Genomics, Distribution, Prediction and Prevention of the Risk. *Microorganisms*, 8 (10): 1496, pp: 1-20.
- Pessoa, R.B.G., de Oliveira, W.F., Correia, M.T., Fontes, A. y Coelho, L.C.B.B. (2022). *Aeromonas* and Human Health Disorders: Clinical Approaches. *Frontiers in Microbiology*, 13: 868890, pp: 1-15.
- Polley, L.R. (2015). Foodborne parasites and climate change. En libro: *Foodborne parasites in the Food Supply web*. Elsevier, pp: 23-47.
- Poulin, R. (2006). Global warming and temperature mediated increases in cercarial emergence in trematode parasites. *Parasitology*, 132, pp: 143-151.
- Pozio, E. (2020). How globalization and climate change could affect foodborne parasites. *Experimental Parasitology*, 208: 107807.
- Pulido, O.M. (2016). Phycotoxins by harmful algal blooms (HABS) and human poisoning: an overview. *International Clinical Pathology Journal*, 2, pp: 145-152.
- Qiu, Y., Zhou, Y., Chang, Y., Liang, X., Zhang, H., Lin, X., Qing, K., Zhou, X. y Luo, Z. (2022). The Effects of Ventilation, Humidity, and Temperature on Bacterial Growth and Bacterial Genera Distribution. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19 (22): 15345, pp: 1-13.
- Reinfelder, J.R. (2011). Carbon concentrating mechanisms in eukaryotic marine phytoplankton. *Annual Review of Marine Science*, 3, pp: 291-315.
- Robertson, L.J., Sprong, H., Ortega, Y.R., van der Giessen, J.W.B. y Fayer, R. (2014). Impacts of globalisation on foodborne parasites. *Trends in Parasitology*, 30 (1), pp: 37-52.
- Roufou, S., Griffin, S., Katsini, L., Polańska, M., van Impe, J.F.M. y Valdramidis, V.P. (2021). The (potential) impact of seasonality and climate change on the physicochemical and microbial properties of dairy waste and its management. *Trends in Food Science & Technology*, 116, pp: 1-10.
- Roufou, S., Griffin, S., Katsini, L., Polańska, M., van Impe, J.F.M., Alexiou, P. y Valdramidis, V.P. (2024). Identification of genes used by *Escherichia coli* to mitigate climatic stress conditions. *Gene Reports*, 36: 101998, pp: 1-11.
- Ruiz de Alegría-Puig, C., Fernández-Martínez, M. y de Malet Pintos-Fonseca, A. (2023). Epidemiology of *Aeromonas* spp. isolated from stool in a tertiary hospital in Cantabria, Northern Spain, in the last five years. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 41 (4), pp: 211-214.
- Sadique, A., Neogi, S.B., Bashar, T., Sultana, M., Johura, F.-T., Islam, S., Hasan, N.A., Huq, A., Colwell, R.R. y Alam, M. (2021). Dynamics, Diversity, and Virulence of *Aeromonas* spp. in Homestead Pond Water in Coastal Bangladesh. *Frontiers in Public Health*, 9: 692166, pp: 1-12.
- Samandoulgou, I., Vimont, A., Fernandez, B., Fliss, I. y Jean, J. (2021). Murine Norovirus Interaction with *Pseudomonas aeruginosa* Biofilm in a Dynamic Bioreactor. *Food and Environmental Virology*, 13, pp: 485-492.
- Schmeller, D.S., Courchamp, F. y Killeen, G. (2020). Biodiversity loss, emerging pathogens and human health risks. *Biodiversity and Conservation*, 29, pp: 3095-3102.

- Schmidt-Nielsen, K. (1997). En libro: *Animal physiology: adaptation and environment*. Cambridge. Cambridge University Press.
- Schnitter, R. y Berry, P. (2019). The climate change, food security and human health nexus in Canada: A framework to protect population health. *International Journal Environmental Research and Public Health*, 16 (14): 2531, pp: 1-16.
- Schwartz, K., Borowiak, M., Strauch, E., Deneke, C. y Richter, M.H. (2024). Emerging *Aeromonas* spp. infections in Europe: characterization of human clinical isolates from German patients. *Frontiers in Microbiology*, 15: 1498180, pp: 1-20.
- Semenza, J.C., Herbst, S., Rechenburg, A., Suk, J.E., Höser, C., Schreiber, C. y Kistemann, T. (2012a). Climate Change Impact Assessment of Food- and Waterborne Diseases. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42 (8), pp: 857-890.
- Semenza, J.C., Höuser, C., Herbst, S., Rechenburg, A., Suk, J.E., Frechen, T. y Kistemann, T. (2012b). Knowledge mapping for climate change and food- and waterborne diseases. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42 (4), pp: 378-411.
- Short, E.E., Caminade, C. y Thomas, B.N. (2017). Climate Change Contribution to the Emergence or Re-Emergence of Parasitic Diseases. *Infectious Diseases: Research and Treatment*, 10, pp: 1-7.
- Siegel, D.A., DeVries, T., Cetinić, I. y Bisson, K.M. (2023). Quantifying the ocean's biological pump and its carbon cycle impacts on global scales. *Annual Review of Marine Science*, 15, pp: 329-356.
- Singh, B.K., Delgado-Baquerizo, M., Egidi, E., Guirado, E., Leach, J.E., Liu, H. y Trivedi, P. (2023). Climate change impacts on plant pathogens, food security and paths forward. *Natural Reviews Microbiology*, 21 (10), pp: 640-656.
- Sinha, E., Michalak, A.M. y Balaji, V. (2017). Eutrophication will increase during the 21st century as a result of precipitation changes. *Science*, 357, pp: 405-408.
- Smith, H.V., Patterson, W.J., Hardie, R., Greene, L.A., Benton, C., Tulloch, W., Gilmour, R.A., Girdwood, R.W., Sharp, J.C. y Forbes, G.I. (1989). An outbreak of waterborne cryptosporidiosis caused by post-treatment contamination. *Epidemiology and Infection*, 103 (3), pp: 703-715.
- Smith, B. y Fazil, A. (2019). How will climate change impact microbial foodborne disease in Canada? *Canada Communicable Disease Report*, 45 (4), pp: 108-113.
- Spadaro, S., Berselli, A., Marangoni, E., Romanello, A., Colamussi, M.V., Ragazzi, R., Zardi, S. y Volta, C.A. (2014). *Aeromonas sobria* necrotizing fasciitis and sepsis in an immunocompromised patient: a case report and review of the literature. *Journal of Medical Case Reports*, 8 (1): 315, pp: 1-6.
- Studer, A., Kremer, L., Nelles, J., Poulin, R. y Thieltges, D.W. (2013). Biotic interference in parasite transmission: Can the feeding of anemones counteract an increased risk of parasitism in amphipods at higher temperature? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 445, pp: 116-119.
- Thieltges, D.W., Reise, K., Prinz, K. y Jensen, K.T. (2009). Invaders interfere with native parasite-host interactions. *Biological Invasions*, 11, pp: 1421-1429.
- Tirado, M.C., Clarke, R., Jaykus, L.A., McQuatters-Gollop, A. y Frank, J.M. (2010). Climate change and food safety: A review. *Food Research International*, 43 (7), pp: 1745-1765.
- Todd, E.C.D. (2013). Globalization and epidemiology of foodborne disease. En libro: *Guide to Foodborne Pathogens*. 2^ª edición. Wiley.
- Truchado, P., Garre, A., Gil, M.I., Simón-Andreu, P.J., Sánchez, G. y Allende, A. (2021). Monitoring of human enteric virus and coliphages throughout water reuse system of wastewater treatment plants to irrigation endpoint of leafy greens. *Science of the Total Environment*, 782: 146837, pp: 1-9.
- Turner, J.W., Malayil, L., Guadagnoli, D., Cole, D. y Lipp, E.K. (2014). Detection of *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio vulnificus* and *Vibrio cholerae* with respect to seasonal fluctuations in temperature and plankton abundance. *Environmental Microbiology*, 16 (4), pp: 1019-1028.

- UE (2015). Reglamento (UE) 2015/2283 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de noviembre de 2015, relativo a los nuevos alimentos, por el que se modifica el Reglamento (UE) N° 1169/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo y se derogan el Reglamento (CE) N° 258/97 del Parlamento Europeo y del Consejo y el Reglamento (CE) N° 1852/2001 de la Comisión. DO L 327 de 11 de diciembre de 2015, pp: 1-22.
- UE (2020). Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de mayo de 2020, relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua. DO L 177 de 5 de junio de 2020, pp: 32-55.
- Utaaker, K.S. y Robertson, L.J. (2015). Climate change and foodborne transmission of parasites: a consideration of possible interactions and impacts for selected parasites. *Food Research International*, 68, pp: 16-23.
- Veng, T. y Andersen, O.B. (2020). Consolidating sea level acceleration estimates from satellite altimetry. *Advances in Space Research*, 68, pp: 496-503.
- Vermeulen, S.J., Campbell, B.M. e Ingram, J.S.I. (2012). Climate Change and Food Systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 37 (1), pp: 195-222.
- Vezzulli, L., Pruzzo, C., Huq, A. y Colwell, R.R. (2010). Environmental reservoirs of *Vibrio cholerae* and their role in cholera. *Environmental Microbiology Reports*, 2 (1), pp: 27-33.
- Vezzulli, L., Colwell, R.R. y Pruzzo, C. (2013). Ocean Warming and Spread of Pathogenic Vibrios in the Aquatic Environment. *Microbial Ecology*, 65 (4), pp: 817-825.
- Vezzulli, L., Grande, C., Reid, P.C., Hélaouët, P., Edwards, M., Höfle, M.G., Brettar, I., Colwell, R.R. y Pruzzo, C. (2016). Climate influence on *Vibrio* and associated human diseases during the past half-century in the coastal North Atlantic. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113 (34), pp: 1-10.
- Wallace, R.B., Baumann, H., Grear, J.S., Aller, R.C. y Gobler, C.J. (2014). Coastal ocean acidification: the other eutrophication problem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 148, pp: 1-13.
- Weaver, H.J., Hawdon, J.M. y Hoberg, E.P. (2010). Soil-transmitted helminthiasis: implications of climate change and human behavior. *Trends in Parasitology*, 26, pp: 574-581.
- Weilhammer, V., Schmid, J., Mittermeier, I., Schreiber, F., Jiang, L., Pastuhovic, V., Herr, C. y Heinze, S. (2021). Extreme weather events in Europe and their health consequences - A systematic review. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 233: 113688, pp: 1-11.
- Wells, M.L., Trainer, V.L., Smayda, T.J., Karlson, B.S.O., Trick, C.G., Kudela, R.M., Ishikawa, A., Bernard, S., Wulffi, A., Anderson, D.M. y Cochlan, W.P. (2015). Harmful algal blooms and climate change: learning from the past and present to forecast the future. *Harmful Algae*, 49, pp: 68-93.
- Welsh, J.E., van der Meer, J., Brussaard, C.P.D. y Thielges, D.W. (2014). Inventory of organisms interfering with transmission of a marine trematode. *Journal of the Marine Biological Association UK*, 94, pp: 697-702.
- Wu, X., Lu, Y., Zhou, S., Chen, L. y Xu, B. (2016). Impact of climate change on human infectious diseases: empirical evidence and human adaptation. *Environment International*, 86, pp: 14-23.
- Xiao, W., Liu, X., Irwin, A.J., Laws, E.A., Wang, L., Chen, B. y Huang, B. (2018). Warming and eutrophication combine to restructure diatoms and dinoflagellates. *Water Research*, 128, pp: 206-216.
- Yavarian, J., Shafiei-Jandaghi, N.Z. y Mokhtari-Azad, T. (2019). Possible viral infections in flood disasters: a review considering 2019 spring floods in Iran. *Iranian Journal of Microbiology*, 11 (2), pp: 85-89.
- Zemp, M., Huss, M., Thibert, E., Eckert, N., McNabb, R., Huber, J., Barandun, M., Machguth, H., Nussbaumer, S.U., Gärtner-Roer, I., Thomson, L., Paul, F., Maussion, F., Kutuzov, S. y Cogley, J.G. (2019). Global glacier mass changes and their contributions to sea-level rise from 1961 to 2016. *Nature*, 568: 7752, pp: 382-386.
- Zhang, Y., Bi, P. y Hiller, J.E. (2010). Climate variations and *Salmonella* infection in Australian subtropical and tropical regions. *Science of The Total Environment*, 408 (3), pp: 524-530.
- Zhao, Y., Duan, C., Zhang, X., Chen, H., Ren, H., Yin, Y. y Ye, L. (2018). Insights into the gut microbiota of freshwater shrimp and its associations with the surrounding microbiota and environmental factors. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28, pp: 946-956.
- Zhu, L.W., Zhang, L., Wei, L.N., Li, H.M., Yuan, Z.P., Chen, T., Tang, Y.L., Liang, X.H. y Tang, Y.J. (2015). Collaborative

regulation of CO₂ transport and fixation during succinate production in *Escherichia coli*. *Scientific Reports*, 5 (1): 17321, pp: 1-12.

Ziska, L., Crimmins, A., Auclair, S., DeGrasse, J.F., Garofalo, A.S., Khan, I., Loladze, A.A., Pérez de León, A., Showler, J.T. y Walls, I. (2016). Food Safety, Nutrition, and Distribution. En libro: *The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment*. Washington, DC. U.S. Global Change Research Program, pp: 189-216.

Zweifel C. y Stephan, R. (2012). Spices and herbs as source of *Salmonella*-related foodborne diseases. *Food Research International*, 45, pp: 765-769.