

revista del  
**Comité**  
**Científico** de la aesan

**Nº 40**

agencia española de seguridad alimentaria y nutrición  
**agencia española de seguridad alimentaria y nutrición**  
agencia española de seguridad alimentaria y nutrición  
**agencia española de seguridad alimentaria y nutrición**  
agencia española de seguridad alimentaria y nutrición





Revista del Comité Científico de la AESAN

Madrid, 2024



revista del  
**Comité**  
**Científico** de la aesan

**Nº 40**

Nota: los informes que se incluyen a continuación son el resultado de las consultas que la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) y otras instituciones hacen al Comité Científico. Esta revista y sus informes se presentan conforme a

normas de presentación y publicación de bibliografía científica internacionalmente aceptadas. De ello se deriva, entre otras, la necesidad de abordar su estudio e interpretación desde la consideración ineludible de las citas bibliográficas referenciadas en el texto

y enumeradas en el apartado "Referencias" que incluye al final de los informes. Lo contrario, además de dificultar su comprensión integral, pudiera llevar a extraer, conclusiones parciales o equivocadas, divergentes del informe en su conjunto.

## **Consejo Editorial Científico**

### **Presidenta**

Ana María Rivas Velasco - (Universidad de Granada)

### **Vicepresidente**

Antonio Valero Díaz - (Universidad de Córdoba)

Concepción María Aguilera García - (Universidad de Granada)

Houda Berrada Ramdani - (Universitat de València)

Irene Bretón Lesmes - (Hospital Gregorio Marañón de Madrid)

Rosa María Capita González - (Universidad de León)

Araceli Díaz Perales - (Universidad Politécnica de Madrid)

María Pilar Guallar Castillón - (Universidad Autónoma de Madrid)

Ángel Gil Izquierdo - (Consejo Superior de Investigaciones Científicas)

Ángel Gutiérrez Fernández - (Universidad de La Laguna)

Isabel Hernando Hernando - (Universitat Politècnica de València)

Baltasar Mayo Pérez - (Consejo Superior de Investigaciones Científicas)

Azucena del Carmen Mora Gutiérrez - (Universidad de Santiago de Compostela)

Gema Nieto Martínez - (Universidad de Murcia)

Silvia Pichardo Sánchez - (Universidad de Sevilla)

María del Carmen Recio Iglesias - (Universitat de València)

María Dolores Rodrigo Aliaga - (Consejo Superior de Investigaciones Científicas)

María de Cortes Sánchez Mata - (Universidad Complutense de Madrid)

Gloria Sánchez Moragas - (Consejo Superior de Investigaciones Científicas)

María Roser Vila Casanovas - (Universitat de Barcelona)

### **Secretario técnico**

Vicente Calderón Pascual

### **Coordinadores de la edición**

Ricardo López Rodríguez

Paula Arrabal Durán

### **Edita**

© Ministerio de Derechos Sociales, Consumo y Agenda 2030  
Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN)  
<https://cpage.mpr.gob.es/>

NIPO: 236-24-020-9

ISSN: 2695-4443

Fecha de edición: 2024

**Diseño y maquetación:** Editorial MIC

## Índice

Prólogo	9
Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre la relación del cambio climático con la suficiencia alimentaria, y su impacto en el estado nutricional de la población	11
Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre la evaluación del riesgo de botulismo derivado del consumo de alimentos envasados al vacío o en atmósfera modificada	33





Desde la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) continuamos con nuestra labor de facilitar a las Administraciones públicas, investigadores, empresas y personas consumidoras la información científica elaborada por el Comité Científico de la AESAN.

Las evaluaciones de riesgos en materia de seguridad alimentaria y nutrición son fundamentales para su utilización en las actuaciones normativas y ejecutivas de la AESAN y, por ello, nuestro Comité Científico es un elemento insustituible para cumplir este objetivo de nuestra Agencia.

El Comité Científico, cuyos miembros proceden de universidades y centros de investigación, elabora sus informes de manera independiente para responder a las preguntas que le son realizadas. Se trata de un órgano multidisciplinar, en el que científicos de distintas áreas del conocimiento, profesiones y procedencias comparten sus puntos de vista, enriqueciendo los informes. La continuidad de su actividad durante más de 20 años desde su constitución en 2003 es un símbolo del valor de su trabajo.

En este número 40 se incluyen dos informes sobre distintas cuestiones relacionadas con la seguridad de los alimentos y la nutrición.

En el primer informe, el Comité Científico revisa las evidencias científicas disponibles sobre los efectos del cambio climático en la suficiencia alimentaria en términos de disponibilidad y biodiversidad, así como su posible impacto en el estado nutricional de la población.

El segundo informe trata sobre la evaluación del riesgo de botulismo derivado del consumo de alimentos envasados al vacío o en atmósfera modificada, sometidos o no a tratamientos de pasteurización post-ensado, y conservados a temperatura de refrigeración.

No quiero dejar pasar la oportunidad de mencionar la conmemoración de los 50 años de la creación en 1974 del Centro Nacional de Alimentación, otro pilar científico y técnico de nuestra Agencia que he tenido el placer de dirigir hasta mi reciente nombramiento como Directora Ejecutiva de la AESAN. Su labor de referencia analítica para los laboratorios de control oficial de alimentos es un elemento fundamental para proteger la salud de la ciudadanía.

En estos 50 años han pasado por el CNA cientos de personas, incluyendo personal de mantenimiento y administrativo, auxiliares de laboratorio, facultativos y personal directivo. Todos ellos contribuyeron a lo que es hoy, y son un ejemplo para quienes hemos tomado su relevo en los últimos años.

Ana López Santacruz Serraller

*Directora Ejecutiva de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición*



# Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre la relación del cambio climático con la suficiencia alimentaria, y su impacto en el estado nutricional de la población

Número de referencia: AESAN-2024-004

Informe aprobado por el Comité Científico en su sesión plenaria de 26 de septiembre de 2024

## Grupo de trabajo

Araceli Díaz Perales (Coordinadora), Isabel Hernando Hernando, Gema Nieto Martínez, Ana María Rivas Velasco y María Roser Vila Casanovas

## Comité Científico

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

## Secretario técnico

Vicente Calderón Pascual

Gestión técnica del informe AESAN: Paula Arrabal Durán

## Resumen

La suficiencia alimentaria (*food security*) es la forma de cuantificar el grado de acceso de la población a alimentos nutritivos y seguros en todo momento. Depende de varios factores, entre los que se incluyen la disponibilidad y la asequibilidad de dichos alimentos. Este término debe diferenciarse del de seguridad alimentaria (*food safety*), entendida como la disciplina, proceso o acción que previene que los alimentos contengan organismos vivos (bacterias, virus, parásitos) o sustancias químicas que pudieran causar un daño a la salud de las personas consumidoras.

El cambio climático consiste en la modificación del clima debido a actividades antropogénicas, que están alterando la composición atmosférica global y los fenómenos atmosféricos. Existen evidencias de que el cambio climático afecta, a través de diferentes vías, al grado de acceso de la población a alimentos nutritivos y seguros a nivel mundial. Los principales riesgos son: la pérdida de biodiversidad en las zonas rurales; la pérdida de ecosistemas marinos y costeros, y de medios de subsistencia; la pérdida de ecosistemas terrestres y de aguas continentales, y de medios de subsistencia y, por último, el deterioro de los sistemas alimentarios.

En relación con la pérdida de biodiversidad en distintos ecosistemas (marinos y terrestres) debida a este fenómeno, se ha observado un cambio en la distribución y fenología tanto de especies de plantas como de animales, produciéndose un desplazamiento hacia latitudes más frías (meridionalización) y hacia altitudes mayores de las diferentes especies. Se prevé que la degradación de la tierra y la pérdida de biodiversidad, reducirán el rendimiento de los cultivos, así como el contenido en nutrientes de los alimentos.

En cuanto a las repercusiones sobre las fuentes de alimentos, está aumentando el riesgo de plagas conocidas, así como de las pérdidas post-cosecha. El incremento en las temperaturas no sólo afecta directamente a los animales, provocando alteraciones metabólicas e inmunitarias, sino que también tiene consecuencias indirectas, dado que está incrementando la población de vectores transmisores de agentes infecciosos.

Por tanto, el cambio climático puede suponer un riesgo sobre el estado nutricional de la población debido a la reducción en la disponibilidad de alimentos, el acceso, la utilización y la estabilidad del sistema alimentario.

Es esencial diseñar formas de adaptación para reducir el impacto neto sobre la suficiencia alimentaria y la nutrición y, de esta manera, aumentar la resiliencia frente al cambio climático. Esto supone un cambio de paradigma hacia una agricultura y unos sistemas alimentarios más resistentes, más productivos y sostenibles, con el objetivo de garantizar la suficiencia alimentaria a nivel mundial ante el cambio climático.

## Palabras clave

Cambio climático, suficiencia alimentaria, estado nutricional, biodiversidad.

## **Report of the Scientific Committee of the Spanish Agency for Food Safety and Nutrition (AESAN) on the relationship between climate change and food security, and its impact on the nutritional status of the population**

## Abstract

Food security is the way to quantify the degree of access the population has to nutritious and safe food at all times. It depends on several factors, including the availability and affordability of that food. This term should not be confused with food safety, which is understood to be the discipline, process or action that prevents food from containing living organisms (bacteria, viruses and parasites) or chemical substances that could cause harm to the health of consumers.

Climate change is the climate altering due to anthropogenic activities, which are adversely affecting the global make-up of the atmosphere as well as atmospheric phenomena. There is evidence that in a number of ways, climate change affects the degree of access the population has to nutritious and safe food worldwide. The main risks are: the loss of biodiversity in rural areas; the loss of marine and coastal ecosystems, and thus livelihoods; the loss of terrestrial ecosystems and inland waters, and livelihoods and, finally, the deterioration of food systems.

In relation to the loss of biodiversity in different ecosystems (marine and terrestrial) due to this phenomenon, we have seen a change in the distribution and phenology of both plant and animal species. This means that different species are shifting towards colder latitudes (meridionalization) and towards higher altitudes. It is expected that land degradation and loss of biodiversity will reduce crop yields, as well as the nutrient content of food.

In terms of the repercussions on food sources, the risk of known pests, as well as post-harvest losses, is increasing. The increase in temperatures not only directly affects animals, causing metabolic and immune changes, but also has indirect consequences, since the population of vectors that transmit infectious agents is increasing.

Therefore, climate change can pose a risk to the nutritional status of the population due to the reduction in food availability, access to it, use of it and the stability of the food system.

It is essential to design ways of adapting to climate change to reduce the net impact on food security and nutrition and, in this way, increase resilience to global warming. This represents a paradigm shift towards more resilient, more productive and sustainable agriculture and food systems, with the aim of guaranteeing global food security in the face of climate change.

## Key words

Climate change, food security, nutritional status, biodiversity.

## Cita sugerida

Comité Científico AESAN. (Grupo de Trabajo) Díaz-Perales, A., Hernando, I., Nieto, G., Rivas, A.M. y Vila, M.R. Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre la relación del cambio climático con la suficiencia alimentaria, y su impacto en el estado nutricional de la población. *Revista del Comité Científico de la AESAN*, 2024, 40, pp: 11-32.

## 1. Introducción

La suficiencia alimentaria (*food security*) es la forma de cuantificar el grado de acceso de la población a alimentos nutritivos y seguros. Depende de varios factores, entre los que se incluyen la disponibilidad y la asequibilidad de dichos alimentos (Reino Unido, 2022). Según el *Committee on World Food Security* de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la suficiencia alimentaria existe cuando toda la población, durante todo el tiempo, tiene un acceso físico y económico a alimentos suficientes, seguros y nutritivos, que cubran sus necesidades dietéticas para una vida activa y sana (FAO, 2006). Este término debe diferenciarse del de seguridad alimentaria (*food safety*), entendida como la disciplina, proceso o acción que previene que los alimentos contengan organismos vivos (bacterias, virus, parásitos) o sustancias químicas que pudieran causar un daño a la salud de las personas consumidoras.

Recientemente, se ha sugerido el enfoque *One Health* para unificar criterios en la adaptación al cambio climático. Estas políticas pueden contribuir significativamente a garantizar la suficiencia alimentaria, poniendo énfasis en los alimentos de origen animal, los sistemas de ganadería extensiva, el saneamiento ambiental y los pasos hacia una gestión integrada regional y global (Zinsstag et al., 2018).

En la Conferencia de las Partes sobre el Cambio Climático celebrada en Dubai en diciembre de 2023 (COP28), se marcó como uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) acabar con el hambre, mitigar las vulnerabilidades en la producción de alimentos vinculadas al cambio climático y proteger los sistemas hídricos. Para ello, se deben implementar soluciones integradas y multi-sectoriales, como la gestión del uso de la tierra, la agricultura sostenible, sistemas alimentarios resilientes y enfoques basados en ecosistemas, así como del acceso equitativo a una alimentación y nutrición adecuadas para todos (COP28, 2023).

El cambio climático consiste en la modificación del clima debido a actividades antropogénicas, que están alterando la composición atmosférica global y los fenómenos atmosféricos (Naciones Unidas, 1992). Esta alteración se refleja en el incremento de las temperaturas, la disminución de las precipitaciones, la expansión del clima de tipo semiárido y de especies exóticas invasoras. Sus efectos sobre la flora y la fauna tienen un impacto sobre la suficiencia alimentaria y, por tanto, sobre la salud de las personas.

En los últimos años, se están registrando mayor número de eventos climáticos extremos, más frecuentes e intensos, tales como olas de calor, sequías e inundaciones, provocando que algunos sistemas naturales y humanos hayan sido desplazados más allá de su capacidad para adaptarse, causando daños irreversibles a la suficiencia alimentaria (disponibilidad, acceso, utilización y estabilidad). Por ejemplo, se sabe que si la temperatura mundial aumenta más de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales (actualmente, ha aumentado 1,1 °C), los riesgos de insuficiencia alimentaria serían más severos, conduciendo a desnutrición y deficiencias de micronutrientes, especialmente en regiones en desarrollo del planeta y altamente dependiente de la economía agraria, como el África Subsahariana, sur de Asia, Centroamérica y Sudamérica (IPCC, 2019, 2022).

Por otra parte, el cambio climático también amenaza al resto de los organismos vivos del planeta. Una cuarta parte de las especies de animales y plantas evaluados están bajo amenaza de extinción

(en torno a un millón de especies) (IPBES, 2019). Esta pérdida en la biodiversidad supone peligro para la suficiencia alimentaria. El 10 % de las razas domesticadas de mamíferos y el 3,5 % de las razas domesticadas de aves ya se han declarado extintas. La disminución de la variabilidad genética de las especies puede dar lugar a que los sistemas agrícolas sean más vulnerables a diversas amenazas como plagas y patógenos, así como al cambio climático en sí mismo (IPBES, 2019).

Teniendo en cuenta estas consideraciones, se ha solicitado al Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) que revise las evidencias científicas disponibles en el momento actual sobre los efectos del cambio climático en la suficiencia alimentaria en términos de disponibilidad y biodiversidad, así como su posible impacto en el acceso a los alimentos y en el estado nutricional de la población.

## 2. Estado actual de la suficiencia alimentaria

La alimentación es una necesidad humana fundamental y la insuficiencia de alimentos resulta en desnutrición. Debido a la pandemia de la COVID-19, el porcentaje de población mundial con desnutrición pasó de ser de un 8,4 % en 2019 a un 9,9 % en 2020 (FAO, 2021). Y este porcentaje no ha dejado de aumentar. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) estima que, para satisfacer la creciente demanda impulsada por el crecimiento de la población y los cambios en la dieta, la producción de alimentos tendrá que aumentar en un 60 % para 2050 (FAO, 2009). Pero, no basta únicamente con incrementar la producción dado que, actualmente, se producen alimentos suficientes, aunque todavía haya casi 800 millones de personas que padecen hambre. Es necesario, además, que todo el mundo tenga acceso a ellos, en la cantidad y calidad adecuadas, todo el tiempo.

Por ello, se pueden resumir los riesgos principales inducidos por el cambio climático con consecuencias directas para la suficiencia alimentaria en estos cuatro puntos principales (FAO, 2015):

- La pérdida de medios de subsistencia e ingresos en las zonas rurales.
- La pérdida de ecosistemas marinos y costeros, y de medios de subsistencia.
- La pérdida de ecosistemas terrestres y de aguas continentales, y de medios de subsistencia.
- Los efectos del deterioro de los sistemas alimentarios.

Además, hay que tener en cuenta que el cambio climático también tiene repercusiones sobre los flujos comerciales, los mercados alimentarios y la estabilidad de los precios, lo cual también perjudican a la suficiencia alimentaria y salud humana.

A continuación, se detallan los efectos sobre la suficiencia alimentaria de cada uno de esos riesgos derivados del cambio climático.

## 3. Pérdida de medios de subsistencia e ingresos en las zonas rurales

### 3.1 Sanidad vegetal

El cambio climático representa una amenaza significativa para las comunidades rurales, pero también brinda oportunidades para implementar estrategias de adaptación. Al diversificar los medios de vida, fortalecer la resiliencia ante desastres, promover prácticas sostenibles y conservar los

recursos naturales, las comunidades rurales pueden enfrentar los desafíos del cambio climático y construir un futuro más sostenible y próspero.

Según el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA) de las Naciones Unidas, al menos el 70 % de las personas muy pobres vive en zonas rurales, y la mayoría de ellas dependen en parte (o totalmente) de la agricultura para su subsistencia. Se estima que 500 millones de pequeñas explotaciones agrícolas de los países en desarrollo mantienen a casi 2000 millones de personas, y en Asia y África Subsahariana estas pequeñas explotaciones producen alrededor del 80 % de los alimentos consumidos (JRC, 2016).

El cambio climático está teniendo efectos tanto directos como indirectos en los sistemas de producción agrícola. Se clasifican como efectos directos aquellos que están directamente causados por una modificación de las características físicas, como los niveles y la distribución de la temperatura a lo largo del año y la disponibilidad de agua, en una producción agrícola concreta. Los efectos indirectos afectan a la producción a través de cambios en otras especies como polinizadores, plagas, vectores de enfermedades o especies invasoras.

### 3.1.1 Efectos directos

Los indicadores de vulnerabilidad del sector agropecuario están asociados a variables sociales y productivas, tales como la degradación del suelo, la equidad en la distribución de tierras, los niveles de riesgo frente a eventos extremos, los porcentajes de uso de agua y sistemas de riego, y el grado de cobertura de seguros agrícolas (Frieler et al., 2015).

Respecto a la degradación de suelos, el proceso de erosión es particularmente importante. Este fenómeno es, en gran parte, producto de la expansión de la frontera agrícola como un mecanismo para incrementar la producción, en lugar de mejorar la productividad mediante el uso adecuado de tecnologías y consideraciones ecológicas (FAO, 2001).

Por otra parte, los efectos observados de las tendencias climáticas basados en la producción de cultivos son ya evidentes en varias regiones del mundo (Porter et al., 2014). En las regiones tropicales y de baja latitud, se prevén efectos negativos del cambio climático en la productividad de los cultivos de trigo, arroz y maíz, en igualdad de condiciones con las superficies agrícolas, los niveles de gestión y la tecnología actuales, incluso con bajos niveles de calentamiento (Lobell et al., 2011). Por ejemplo, el aumento de la frecuencia de noches inusualmente calurosas en la mayoría de las regiones del planeta tiene un efecto perjudicial para la mayoría de los cultivos, con impactos observados en el rendimiento y la calidad del arroz.

Los principales productores agrícolas de las zonas templadas, como la Unión Europea en el caso del trigo y los Estados Unidos en el del maíz, pueden sufrir los graves efectos negativos del cambio climático debido a la menor disponibilidad de agua durante el periodo vegetativo, la mayor frecuencia e intensidad de los episodios de calor, que son más perjudiciales durante la floración (Müller y Elliott, 2015), y la aceleración de la fenología, que puede reducir la producción de biomasa. Las proyecciones agroecológicas basadas en escenarios de cambio climático sugieren que el potencial de producción de grano en la Federación Rusa, Ucrania y Kazajistán podría aumentar debido a una combinación de incremento de la temperatura invernal, ampliación del periodo vegetativo y efecto



de la fertilización por CO<sub>2</sub> en los cultivos agrícolas; sin embargo, la zona semiárida más productiva podría sufrir un aumento drástico de la frecuencia de las sequías (Lioubimtseva y Henebry, 2012).

Un estudio sobre los posibles efectos del cambio climático en la agricultura de Noruega, señala que, a pesar de problemas como inviernos inestables, aumento de las precipitaciones en otoño y, posiblemente, más maleza y enfermedades, una prolongación de la actual estación de crecimiento corta, junto con temperaturas de crecimiento más altas, puede ofrecer nuevas oportunidades para la agricultura en la región, si bien requerirá estrategias de adaptación adaptadas, la obtención de nuevas variedades de plantas, cambios en el calendario de siembra y rotación de cultivos, etc. (Uleberg et al., 2014).

### 3.1.2 Efectos indirectos

El cambio climático también está favoreciendo cambios en la distribución y las propiedades de los polinizadores y otras especies que contribuyen de forma esencial a la producción a través de los servicios ecosistémicos que prestan (FAO, 2011). Aproximadamente, el 80 % de todas las especies de plantas con flores son polinizadas por animales, incluidos vertebrados y mamíferos, siendo los insectos los principales polinizadores. Polinizadores como las abejas, las aves y los murciélagos afectan al 35 % de la producción mundial de cultivos. Su presencia contribuye aumentando la producción de 87 de los principales cultivos alimentarios y plantas medicinales del mundo. Se calcula que la polinización tuvo un valor de 153 000 millones de euros en todo el mundo en 2005 (Gallai et al., 2009) y contribuye al rendimiento y la calidad de, al menos, el 70 % de los principales cultivos alimentarios del mundo, especialmente muchos cultivos de frutas y hortalizas importantes desde el punto de vista nutricional (Klein et al., 2003).

Por otra parte, el cambio climático es un factor determinante en la aparición de nuevas plagas siendo impulsor de los riesgos fitosanitarios emergentes (EFSA, 2024). Por ejemplo, el caracol manzana supone una amenaza para los humedales del sur de Europa, ya que los fenómenos meteorológicos extremos y las inundaciones (influidos por el cambio climático) aumentan la propagación natural de esta plaga a través de ríos y canales (EFSA, 2014) (CABI, 2021). También pueden llegar nuevas plagas debido al movimiento relacionado con el clima de organismos portadores de enfermedades (principalmente, insectos y aves), conocidos como vectores. Por ejemplo, una evaluación de 2023 examinó los riesgos que plantean los virus transmitidos a las plantas por la mosca blanca de la hoja plateada (Naveed et al., 2023).

El aumento de la incidencia y la gravedad de los brotes de enfermedades vegetales asociadas a plagas plantea riesgos significativos y crecientes para la productividad primaria, la suficiencia alimentaria mundial y la pérdida de biodiversidad en muchas zonas vulnerables del mundo. La pérdida anual de rendimiento de los cultivos provocada por patógenos (microorganismos que causan enfermedades y limitan la salud y la productividad del huésped) y plagas se estima en 220 000 millones de dólares, lo cual repercute directamente en la suficiencia alimentaria, las economías regionales y otros aspectos socioeconómicos relacionados (Kumar et al., 2022). Esto se ve agravado por las pérdidas post-cosecha causadas por microorganismos patógenos como *Penicillium* spp. y *Xanthomonas euvesicatoria*. Se estima que cualquier posible aumento de la producción en las próximas

5 décadas se verá contrarrestado por la alteración de la presión de las enfermedades provocadas por patógenos conocidos y emergentes.

Es probable que las especies vegetales o los cultivares, que no hayan coevolucionado con el patógeno introducido en la nueva ubicación geográfica, fomenten la prevalencia del patógeno y los brotes de la enfermedad. Un ejemplo del comercio y el transporte como impulsores de la aparición de patógenos, es la marchitez del plátano, también conocida como enfermedad de Panamá, causada por el hongo transmitido por el suelo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, que, probablemente, se originó en el sudeste asiático y luego se propagó por todo el mundo durante el siglo XX (EFSA, 2022).

Por último, los cambios climáticos y ecológicos, y las prácticas modernas de gestión de la tierra, dominadas por los monocultivos y los cultivos de alta densidad, probablemente facilitaron la aparición y adaptación de patógenos de plantas capaces de diseminarse más allá de sus áreas geográficas normales. Por ejemplo, la soja y el trigo se cultivan extensivamente en monocultivos de alta densidad, y sus rendimientos se ven comprometidos por una plétora de plagas y patógenos. La roya de la soja, causada por el hongo *Phakopsora pachyrhizi*, y la mancha del trigo, causada por el hongo *Zymoseptoria tritici*, se encuentran entre las enfermedades más destructivas de estos cultivos, y se han documentado pérdidas de rendimiento de más del 50 % durante epidemias graves (Singh et al., 2023).

A pesar de la complejidad de los ecosistemas naturales, el cambio climático y la aparición y evolución de patógenos plantean retos similares para las comunidades de plantas silvestres y su productividad. Por ejemplo, la expansión del área de distribución de *Phytophthora cinnamomi* asociada al calentamiento global podría tener un impacto negativo significativo en las comunidades de plantas autóctonas de muchas partes del mundo. Un mayor aumento de la carga de la enfermedad como resultado del cambio climático podría tener consecuencias devastadoras para muchas especies de plantas, para la producción de alimentos y para la salud humana (Singh et al., 2023).

### 3.2 Salud animal

En relación con la salud animal, los efectos directos del cambio climático incluyen enfermedades y muertes relacionadas a las variaciones de temperatura. Los impactos indirectos, más complejos, incluyen la influencia del clima en la densidad y distribución de microorganismos, la propagación de enfermedades transmitidas por vectores, la escasez de alimentos y agua, así como el incremento de enfermedades de transmisión alimentaria.

Los animales homeotermos responden a las altas temperaturas aumentando la pérdida de calor y reduciendo su producción para evitar el incremento de la temperatura corporal (hipertermia). Este proceso implica el aumento de la frecuencia respiratoria y sudoración, así como la reducción de la ingesta de alimentos. Estos cambios fisiológicos contribuyen significativamente a la aparición de trastornos metabólicos en animales sometidos a estrés térmico. Concretamente, el ganado en entornos semiáridos cálidos suele criarse en sistemas extensivos, donde su potencial productivo se ve afectado por su exposición a factores climáticos extremos. Se prevé que el cambio climático aumente el estrés térmico en los animales, reduciendo su eficiencia alimentaria, las tasas de crecimiento y las tasas de reproducción, y por ende su producción y rentabilidad. Además del calor,

el ganado que pasta en zonas semiáridas cálidas se enfrenta a la variabilidad estacional en la cantidad y calidad del forraje y agua disponibles. Asimismo, los animales a menudo deben recorrer largas distancias en busca de estos recursos limitados durante los calurosos meses de verano. Por lo tanto, los animales de pastoreo están potencialmente expuestos a múltiples estresores: estrés térmico, escasez de forraje, y agua, y estrés físico por la movilidad en estos entornos (Sejian et al., 2013). En sistemas de pastoreo extensivo, estos estresores suelen ocurrir de manera simultánea en lugar de aislada, lo que hace esencial estudiar la influencia conjunta de estos factores en la capacidad adaptativa de diferentes especies en el contexto del cambio climático.

La conservación de las razas autóctonas es fundamental para afrontar las modificaciones en los sistemas extensivos causadas por el cambio climático, ya que proporcionan una rica base genética que puede ser adaptada a estos cambios. La presencia de especies ganaderas en contextos ecológicos específicos a lo largo del tiempo, sumada a factores históricos y sociales, ha generado en nuestro país a un amplio espectro de razas autóctonas especializadas en el aprovechamiento de los recursos pastorales. Estos animales, pertenecientes a más de 163 razas o variedades registradas en el Catálogo Oficial de Razas de España en peligro de extinción (MAPAMA, 2016), son los más adaptados a sus territorios y los más eficientes en la utilización de recursos naturales. A lo largo de los siglos, han permitido establecer rutinas ganaderas que optimizan este aprovechamiento (como el movimiento de los animales y la organización de ciclos productivos), modelando así los paisajes agrarios y culturales, y en muchos casos, terrenos de alto valor natural.

Estas razas autóctonas han evolucionado y perdurado gracias a su capacidad de adaptación a los distintos agrosistemas del país y a su aprovechamiento eficiente de sistemas pastorales específicos. Sin duda, muchas de ellas poseen las claves genéticas para la adaptación del sector ganadero a los cambios climáticos que España enfrentará en las próximas décadas, lo que hace imprescindible su conservación como medida de resiliencia. Profundizar en el estudio de sus características genéticas, fenotípicas y productivas, así como en su relación con las particularidades ecológicas de sus territorios, contribuiría tanto a su conservación como a su adaptación a los nuevos escenarios derivados del cambio climático. En conclusión, es fundamental preservar la biodiversidad en los entornos rurales y promover políticas de diversificación de especies para fortalecer la resiliencia de los agroecosistemas.

Las aves, en particular, son el grupo animal para el cual contamos con más datos sobre el impacto del cambio climático. En las zonas templadas y boreales del hemisferio norte, se observa que la primavera está llegando antes, mientras que el otoño se retrasa. En aves migratorias, se ha documentado que general regresan antes a sus áreas de cría, aunque no hay un patrón claro para la migración otoñal (Lehikoinen et al., 2004). En Europa, se estima un adelanto de, aproximadamente, 2,8 días por década en las fechas de llegada primaveral desde los años 70 (Lehikoinen y Sparks, 2010).

Los mecanismos biológicos que subyacen a estos cambios en el comportamiento migratorio de las aves aún no se comprenden completamente (Knudsen et al., 2011). La llegada más temprana en primavera podría deberse a condiciones climáticas más favorables y una mayor disponibilidad de alimento en fechas tempranas, lo que facilitaría una migración más rápida a través de Europa y América del Norte. Este fenómeno podría ilustrar una adaptación mediante plasticidad fenotípi-

ca. Alternativamente, los cambios observados en el comportamiento migratorio también podrían reflejar procesos microevolutivos, donde el cambio climático favorece la selección de individuos más precoces. Hasta ahora, las alteraciones climáticas han sido moderadas, pero las predicciones indican cambios drásticos en las próximas décadas (Solomon et al., 2007). La capacidad de las aves para adaptarse a estas nuevas condiciones dependerá en gran medida de los mecanismos biológicos implicados en su adaptación (Gordo y Sanz, 2005, 2008).

Existen evidencias de que las modificaciones en las rutas y en los tiempos de migración de las aves debido al calentamiento global y los cambios estacionales afectan a la distribución de enfermedades infecciosas, y facilitan la aparición de nuevas enfermedades zoonóticas que pueden tener un impacto en humanos y en el ganado (Gilbert et al., 2008). A medida que sus patrones migratorios se ven modificados, aumenta la posibilidad de que ocurra una diseminación de patógenos (virus, bacterias, parásitos) portados por las aves, y que estos patógenos encuentren nuevos hábitats y vectores. Esto es especialmente importante en el caso de vectores como mosquitos y garrapatas, que pueden establecer ciclos de transmisión en nuevas áreas geográficas y representar una amenaza para la salud pública y animal (Ogden y Robbin, 2016). El virus del Nilo Occidental es un claro ejemplo de una enfermedad transmitida por mosquitos que ha expandido su alcance a través de la migración de aves, afectando tanto a humanos como a animales domésticos y silvestres (Chancey et al., 2015). Otro riesgo que se incrementa es el de transmisión de enfermedades zoonóticas, puesto que los cambios en las rutas migratorias aumentan la probabilidad de interacción entre las aves migratorias y otras especies, incluidos los animales de granja. Esto incrementa el riesgo de transmisión de patógenos zoonóticos como los virus de influenza aviar (H5N1, H7N9), que en algunas ocasiones pueden saltar de las aves a los humanos y causar brotes con importantes repercusiones en la salud pública y la industria ganadera (Kilpatrick et al., 2006). Las aves silvestres pueden, a su vez, transmitir el virus a las aves de corral, afectando la producción ganadera y generando pérdidas económicas considerables. Globalmente se observa, además, un impacto indirecto en la seguridad alimentaria, puesto que la introducción de enfermedades en el ganado puede reducir su productividad y generar costos adicionales en medidas de control sanitario, lo que tiene repercusiones en la disponibilidad y el precio de productos de origen animal, especialmente en áreas vulnerables (Jones et al., 2012). En conclusión, los cambios en los patrones migratorios de las aves representan un desafío para la salud pública y para la producción ganadera en el contexto del cambio climático. La implementación de sistemas de monitoreo y prevención en áreas de paso de aves migratorias y su proximidad a instalaciones ganaderas podría ser una medida esencial para anticipar y mitigar brotes zoonóticos relacionados con estos cambios. Las evidencias científicas subrayan la necesidad de integrar la vigilancia de enfermedades en los programas de monitoreo de vida silvestre, en un esfuerzo por comprender mejor y gestionar los riesgos emergentes (Altizer et al., 2013).

#### **4. Pérdida de ecosistemas marinos y costeros, y de medios de subsistencia**

Desde la perspectiva de la biodiversidad marina, los principales efectos del cambio climático son el calentamiento del mar, el aumento de la variabilidad climática que conduce a eventos extremos más frecuentes, y los cambios en el nivel del mar, el hielo marino, la estratificación térmica y la cir-

culación oceánica. Además, tanto el calentamiento como la circulación oceánica alterada influyen en la reducción de las concentraciones de oxígeno en las capas interiores. Las emisiones de CO<sub>2</sub>, que en gran parte impulsan el cambio climático antropogénico, también causan la acidificación del mar. Todos estos procesos pueden actuar sobre la biodiversidad de manera directa (por ejemplo, cuando la temperatura local excede las tolerancias fisiológicas de las especies individuales) o indirecta (por ejemplo, al alterar la disponibilidad de hábitats, las interacciones entre especies o la productividad). Pueden producirse interacciones potencialmente complejas entre el cambio climático y otros aspectos del cambio global, especialmente los debidos a la pesca, la eutrofización, la destrucción del hábitat y las enfermedades zoonóticas (Worm y Lotze, 2021).

El medio marino alberga una enorme biodiversidad, lo que lo convierte en el sustento de actividades económicas con una larga tradición, como la pesca. Esta actividad no solo juega un papel fundamental en la alimentación saludable, sino que también es el medio de vida de muchas comunidades. Garantizar una pesca sostenible es crucial para asegurar el futuro de la actividad pesquera. Se prevé que, a mediados del siglo XXI, la población mundial supere ampliamente los 9000 millones de personas, y la última edición del informe de la FAO ya refleja hasta qué punto la pesca es determinante para alcanzar la meta global de un mundo sin hambre ni malnutrición (Pérez, 2020). España ocupa el puesto mundial número 20 en la pesca de captura marina y es el cuarto país importador de productos acuáticos (FAO, 2022), por lo que cualquier cambio en la producción de pesca y acuicultura a nivel global puede afectar al consumo de productos marinos por parte de la población, incidiendo en su nutrición. En la actualidad, la mayor amenaza para la pesca es el cambio climático. Por este motivo, en los últimos años, se está mostrando un interés cada vez mayor en la adaptación de la pesca y la acuicultura al cambio climático.

Las zonas de pesca más importantes en España son el Atlántico Nordeste (subzona FAO 27), donde se captura principalmente bacalao, merluza, arenque y caballa, el Mediterráneo y Mar Negro (subzona FAO 37), donde las capturas más importantes son sardina, boquerón, sepia, gamba y langostino, y el Atlántico Centro-Oeste (subzona FAO 47), con calamar gigante, merluza y vieira como principales capturas.

Como consecuencia del cambio climático en el hemisferio norte, se ha reportado un desplazamiento hacia el norte de cefalópodos y de peces como sardinas, boquerones y caballas. Concretamente, en la subzona FAO 27, se ha detectado una mayor abundancia de lubina europea y algunas especies de calamares en el Mar del Norte, y un aumento del bacalao y de la caballa en el Mar de Noruega (Nottestad et al., 2015). Estos cambios en la abundancia y distribución de especies pueden afectar a las capturas pesqueras tanto en número como en tipo de especie no solo en esa zona, sino también en zonas pesqueras adyacentes.

En el caso concreto del Mediterráneo (subzona FAO 37), se ha confirmado un claro calentamiento y aumento de la salinidad de las aguas mediterráneas que rodean las costas españolas. Estas variaciones de la temperatura y salinidad se han evaluado desde 1945 hasta 2016. En el caso de las aguas intermedias y profundas, la temperatura ha aumentado a un ritmo de entre 0,2 y 0,3 °C/100 años y, en las aguas superficiales, la tendencia está en torno a un aumento de 2 °C/100 años. En cuanto a la salinidad, aumenta a un ritmo de entre 0,1 y 0,3 ups/100 años (Vargas et al., 2019). Otros

factores a tener en cuenta son, por un lado, la sequía, que puede provocar que los ríos aporten más o menos nutrientes al mar, y también más o menos caudal; y, por otro lado, las lluvias torrenciales, que repercuten en ríos que desembocan en el mar y pueden arrastrar muchos sedimentos que contienen nutrientes. Estos cambios que se están produciendo en el Mediterráneo inciden en las capturas pesqueras. Por ejemplo, se ha observado que unos años hay mucho boquerón y sardina y, otros años, hay pocos individuos de estas especies (Vargas et al., 2019). También se ha visto que especies termófilas como el pez limón o serviola (*Seriola dumerili*) han experimentado un incremento en su abundancia, así como un aumento en su distribución hacia el norte, y que especies de peces boreales como el chanquete (*Aphia minuta*) o el espadín (*Sprattus sprattus*) son cada vez más escasas. Este efecto, que se conoce como “meridionalización”, se ha hecho patente en las capturas de algunas especies comerciales (Benigno y Almodovar, 2010).

En cuanto a previsiones de futuro en los sistemas marinos, se prevé que los efectos del cambio climático variarán según la región, y que el calentamiento de los océanos obligará a las poblaciones de peces a migrar en dirección a los polos, por lo que cabe esperar la extinción de algunas especies locales en zonas más cálidas. Sin embargo, esto no implica necesariamente un aumento de la diversidad biológica de los mares polares, habida cuenta del rápido retroceso del hielo marino y del aumento de la acidificación de las aguas frías. En las zonas costeras, está previsto que la proliferación de los fenómenos meteorológicos extremos, el aumento del nivel del mar y el desarrollo costero intensifiquen la fragmentación y la pérdida de hábitats (IPBES, 2019). Todo esto puede incidir a largo plazo en las capturas pesqueras y en la disponibilidad de productos del mar para la alimentación de los consumidores.

## 5. Pérdida de ecosistemas terrestres y de aguas continentales

Los ecosistemas terrestres y acuáticos son muy vulnerables al cambio climático, y en la actualidad, se está acelerando la tasa de extinción de especies: más del 60 % de las especies silvestres del mundo se han extinguido en los últimos 50 años (Thomsen y Thomsen, 2021). Se prevé que la pérdida de biodiversidad se extienda a medida que aumente el calentamiento global, con mayor repercusión en el norte de Sudamérica, el sur de África, la mayor parte de Australia y en las altas latitudes del norte. Según la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, el 16,2 % de las especies terrestres y de agua dulce que figuran como en peligro, en peligro crítico o extintas en la naturaleza incluyen el cambio climático o las condiciones meteorológicas extremas como una de sus amenazas (Parmesan et al., 2022).

El impacto del cambio climático en la biodiversidad incide en la distribución y fenología tanto de especies de plantas como de animales. En relación con las plantas, para muchas especies europeas se ha producido un desplazamiento hacia el norte y hacia altitudes mayores. Se prevé que para finales del siglo XXI la distribución se habrá desplazado varios cientos de kilómetros hacia el norte, con la consiguiente expansión de bosques en el norte y contracción en el sur, con un 60 % de las especies de plantas de montaña en peligro de extinción. La tasa de cambio supera la capacidad de adaptación, con lo cual la composición de muchas comunidades vegetales está cambiando. Así, en Europa Occidental y Central las especies de hoja ancha están reemplazando a las coníferas. Una

de las especies limitadas por el clima es el acebo (*Ilex aquifolium*), que se ha expandido en el sur de Escandinavia debido al aumento de las temperaturas invernales (Walther et al., 2005) (Feehan et al., 2009).

En cuanto a la distribución de las especies animales, casi la mitad (47 %) de los mamíferos terrestres en peligro de extinción, excluidos los murciélagos, y una cuarta parte (23 %) de las aves en peligro de extinción ya se han visto afectados negativamente por el cambio climático en, al menos, parte de su distribución (IPBES, 2019). En Europa, las aves, los insectos y los mamíferos se están desplazando hacia el norte y a mayores altitudes en respuesta al cambio climático. Sin embargo, muchas especies, incluidas las mariposas, no se desplazan tan rápidamente como cabría esperar con el ritmo actual de cambio climático (Warren et al., 2013), quizás debido, al menos en parte, a la fragmentación del hábitat.

Por otra parte, el calentamiento global ha provocado avances en los ciclos de vida de muchos grupos de animales, incluido el desove de las ranas, la anidación de las aves y la llegada de aves y mariposas migratorias. El avance estacional es particularmente fuerte y rápido en el Ártico. Las temporadas de reproducción se están alargando, lo que permite que durante el año se produzcan generaciones adicionales de insectos sensibles a la temperatura, como mariposas, libélulas y especies de plagas (Feehan et al., 2009).

La hibridación entre especies estrechamente relacionadas ha aumentado en las últimas décadas a medida que una especie cambia los límites de su área de distribución y se posiciona más cerca de la otra. Así, por ejemplo, en el norte de Canadá, se han documentado híbridos entre osos polares y osos pardos (Kelly et al., 2010), en tanto que, en los ríos de América del Norte, la hibridación entre la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) invasora y la trucha degollada (*Oncorhynchus clarkii*) nativa ha aumentado en frecuencia a medida que la trucha arcoíris se ha expandido a aguas más cálidas (Muhlfeld et al., 2014).

En Europa, el cambio climático ha provocado un desplazamiento de las zonas agroclimáticas hacia el norte y un inicio más temprano de la temporada de crecimiento (Ceglar et al., 2019). Desde 1990, se han producido reducciones en el rendimiento del trigo y la cebada, así como aumentos en el del maíz y la remolacha azucarera (Moore y Lobell, 2015). Asimismo, el calentamiento ha causado incrementos en el rendimiento de hortalizas frutales cultivadas, disminuciones en tubérculos, tomates y pepinos (Potopová et al., 2017) y una floración más temprana de los olivos (García-Mozo et al., 2015). También, la calidad del vino se ha visto afectada por el cambio climático (van Leeuwen y Darriet, 2016) (Bednar-Friedl et al., 2022).

Los hábitats de aguas frías y las especies obligadas asociadas son especialmente vulnerables a estos cambios, como, por ejemplo, los salmónidos (Santiago et al., 2016) (Merriam et al., 2017). Así, el tiempo medio de retorno del salmón del Atlántico a los ríos de Terranova y Labrador aumentó entre 12 y 21 días en las últimas décadas, asociado con condiciones generales más cálidas (Dempson et al., 2017). Por su parte, los lagos tropicales, que albergan miles de especies animales que no se encuentran en otros lugares y que sustentan importantes pesquerías, son propensos a la pérdida de oxígeno de aguas profundas debido al calentamiento, con consecuencias adversas para la productividad y la biodiversidad (Sterner et al., 2020) (Parmesan et al., 2022).

El aumento de las temperaturas del agua, la reducción de la cubierta de hielo y la disminución del oxígeno en aguas profundas provocan cambios en los ecosistemas de agua dulce consistentes con los cambios en los sistemas terrestres: desarrollo más temprano del fitoplancton y el zooplancton, y desove avanzado de los peces en primavera, así como extensión de la temporada de crecimiento (de Senerpont Domis et al., 2013) (Adrian et al., 2016). Los ectotérmicos, como los peces y los invertebrados, son particularmente susceptibles al estrés térmico y de oxígeno. En los lagos de Wisconsin (Estados Unidos), las temperaturas del agua anormalmente altas debido a veranos más cálidos provocaron una gran mortalidad de peces. Se prevé que estos fenómenos se dupliquen para el período 2041-2059 y se cuadripliquen para el período 2081-2099 en comparación con los niveles históricos (Till et al., 2019). Este aumento previsto de las mortandades puede facilitar que las especies de peces de aguas cálidas desplacen a las especies de aguas frías (Hansen et al., 2017).

España posee la mayor diversidad de sistemas acuáticos continentales de Europa, con floras y faunas singulares y muy específicas. En general, estos sistemas son de pequeño tamaño, están incluidos en cuencas hidrográficas muy grandes, a menudo dependen de las aguas subterráneas y experimentan intensas fluctuaciones hídricas, que afectan a su funcionamiento ecológico. Es muy probable que el cambio climático determine que parte de estos ecosistemas pasen de ser permanentes a estacionales, algunos incluso desaparezcan, y que la biodiversidad de muchos de ellos se reduzca (Alvarez Cobelas et al., 2005). Por ejemplo: en la vegetación de las riberas fluviales, se espera un aumento de los tarayes (*Tamarix*) frente a salicáceas (*Salix*) y chopos (*Populus*), y es probable que la adelfa (*Nerium oleander*) se expanda. En la vegetación emergente de los humedales, se pueden ver favorecidas las especies claramente anfibias frente a las genuinamente acuáticas; así, por ejemplo, *Phragmites* y *Scirpus* pueden acabar dominando sobre *Typha* o *Cladium* (Alvarez Cobelas et al., 2001).

Asimismo, para tolerar el estiaje pronunciado, los peces fluviales de mayor tamaño (barbos y bogas) desarrollan estrategias migratorias, ya sea remontando hasta encontrar aguas permanentes o bien descendiendo hasta la confluencia con los ríos principales. Los peces endémicos más peculiares son de pequeño tamaño (*Squalius alburnoides*, *Chondrostoma lemmingii*, *Iberocypris*) y su adaptación básica consiste en resistir el estío en pozas aisladas en condiciones de superpoblación (Carmona et al., 1999). Debido al aumento de la temperatura del agua, el hábitat de los salmónidos se reducirá y las poblaciones de truchas autóctonas se irán fraccionando al reducirse su hábitat (Alvarez Cobelas et al., 2005).

## 6. Los efectos del deterioro de los sistemas alimentarios

Entendiendo sistema alimentario como el conjunto de actividades involucradas en la producción, procesamiento, transporte, consumo y gestión de los residuos de los alimentos (MITECO, 2020), su relación con el cambio climático, la suficiencia alimentaria y la salud humana es dinámica y multi-sectorial (Schnitter y Berry, 2019).

La evidencia existente sugiere que el cambio climático puede causar perturbaciones en el suministro estable de recursos necesarios para operaciones de procesamiento y que eventos climáticos extremos pueden causar daños físicos al procesamiento e instalaciones (Ziska et al., 2016).



Asimismo, puede perturbar las redes de distribución de alimentos a través de crisis agudas como las condiciones climáticas extremas (Palko y Lemmen, 2017).

Por tanto, el cambio climático puede causar riesgos sobre el estado nutricional de la población debido a la reducción en la disponibilidad de alimentos, el acceso, la utilización y la estabilidad del sistema alimentario, lo cual, combinado con la alta demanda, incrementa el precio de los alimentos. Un sistema alimentario inestable, con escasa oferta de alimentos no procesados y precios elevados, aumenta la búsqueda de alimentos ultraprocesados y procesados, lo que saca a la luz otra vertiente de la inseguridad alimentaria y nutricional: el sobrepeso/la obesidad (Raiten y Aimone, 2017). Ello significa que el cambio climático influye directamente en la mala nutrición y la insuficiencia alimentaria y nutricional: desnutrición/déficit nutricional y sobrepeso/obesidad, reforzando la necesidad de políticas públicas intersectoriales que comprendan los factores determinantes que influyen en las elecciones alimentarias de la población y sus consecuencias en la mala nutrición, dando respuestas más allá del sector salud (de Moura Ariza et al., 2022).

Para hacer frente a los efectos negativos de los cambios climáticos es urgente una reestructuración del sistema alimentario y del perfil agrícola mundial, así como un cambio en el perfil alimentario y de consumo de la población.

## **7. Reducción del impacto del cambio climático en la suficiencia alimentaria**

### **7.1 Cambios en los patrones climáticos**

Las comunidades rurales dependen de las condiciones climáticas para la agricultura, la ganadería y otras actividades económicas. El cambio climático ha provocado variaciones en los patrones de lluvia, sequías más frecuentes y temperaturas extremas, afectando la disponibilidad de agua, la producción agrícola y la salud del ganado. Esto, a su vez, impacta en la suficiencia alimentaria y los medios de vida de las comunidades rurales.

Para adaptarse, es esencial que las comunidades diversifiquen sus fuentes de ingresos y adopten prácticas agrícolas sostenibles. Esto puede incluir la promoción de cultivos resistentes al clima, la implementación de técnicas de conservación del agua, la adopción de prácticas de gestión de suelos saludables y la exploración de opciones de ingresos no agrícolas, como el turismo rural o la producción de energía renovable (Erezi et al., 2023).

### **7.2 Riesgo de desastres naturales**

Las comunidades rurales, a menudo, se encuentran en áreas propensas a desastres naturales, como inundaciones, sequías, incendios forestales y tormentas intensas. El cambio climático ha exacerbado estos riesgos, aumentando la frecuencia e intensidad de los eventos extremos.

Para adaptarse, estas comunidades deben fortalecer su capacidad de respuesta y preparación ante desastres. Esto implica desarrollar sistemas efectivos de alerta temprana, mejorar la infraestructura resistente al clima, promover prácticas de gestión del riesgo de desastres y capacitar a los residentes en medidas de suficiencia y evacuación. Además, la planificación del uso de la tierra y la conservación de los ecosistemas naturales pueden ayudar a reducir los riesgos. Por ejemplo, la reforestación de áreas vulnerables puede prevenir inundaciones y deslizamientos de tierra, mientras

que la conservación de humedales favorece que actúen como amortiguadores naturales contra las tormentas) (LI, 2014).

### 7.3 Escasez de recursos naturales

El cambio climático también puede agravar la escasez de recursos naturales en las comunidades rurales, como el agua y los alimentos. Las sequías y el aumento de las temperaturas pueden reducir la disponibilidad de agua para riego y consumo humano, afectando directamente la producción agrícola y la calidad de vida.

En respuesta, es esencial implementar medidas de conservación del agua, como la captación de agua de lluvia, la construcción de sistemas de riego eficientes y la gestión sostenible de los acuíferos locales. Promover la diversificación de cultivos y la introducción de variedades resistentes al clima también puede ayudar a garantizar la suficiencia alimentaria en entornos cambiantes (Nikolaou et al., 2020).

### 7.4 Pérdida de biodiversidad

El cambio climático contribuye a la pérdida de biodiversidad, afectando tanto los ecosistemas naturales como las actividades económicas de las comunidades rurales, como la pesca y el turismo. La pérdida de biodiversidad reduce la capacidad de un ecosistema para adaptarse a los cambios y, en último término, se traduce en efectos negativos directos sobre la humanidad.

Para adaptarse, es fundamental promover prácticas de conservación y gestión sostenible de los recursos naturales. Esto incluye establecer áreas protegidas, fomentar la pesca responsable, regular el turismo para minimizar el impacto ambiental y promover la educación ambiental para crear conciencia sobre la importancia de la conservación de la biodiversidad.

## Conclusiones del Comité Científico

Existen evidencias de que el cambio climático afecta, a través de diferentes vías, al grado de acceso de la población a alimentos nutritivos y seguros a nivel mundial. Los principales riesgos son: la pérdida de biodiversidad en las zonas rurales; la pérdida de ecosistemas marinos y costeros, y de medios de subsistencia; la pérdida de ecosistemas terrestres y de aguas continentales, y de medios de subsistencia y, por último, el deterioro de los sistemas alimentarios.

En relación con la pérdida de biodiversidad en distintos ecosistemas (marinos y terrestres) debida al cambio climático, se ha observado un cambio en la distribución y fenología tanto de especies de plantas como de animales, produciéndose un desplazamiento hacia latitudes más frías (meridionalización) y hacia altitudes mayores de las diferentes especies. Se prevé que la degradación de la tierra y la pérdida de biodiversidad, reducirán el rendimiento de los cultivos, así como el contenido en nutrientes de los alimentos.

En cuanto a las repercusiones del cambio climático sobre las fuentes de alimentos, está aumentando el riesgo de plagas conocidas, así como de las pérdidas post-cosecha. El incremento en las temperaturas no sólo afecta directamente a los animales, provocando alteraciones metabólicas e

inmunitarias, sino que también tiene consecuencias indirectas, dado que está incrementando la población de vectores transmisores de agentes infecciosos.

Por tanto, el cambio climático puede suponer un riesgo sobre el estado nutricional de la población debido a la reducción en la disponibilidad de alimentos, el acceso, la utilización y la estabilidad del sistema alimentario.

Como afirma la FAO, comprender la cascada de riesgos derivados del cambio climático, así como las vulnerabilidades a estos riesgos, es esencial para diseñar las formas de adaptación para reducir el impacto neto sobre la suficiencia alimentaria y la nutrición. Aumentar la resiliencia frente al cambio climático puede requerir múltiples intervenciones, desde la protección social a las prácticas agrícolas y la gestión de riesgos, en el marco de estrategias que deben basarse en evaluaciones de riesgos y vulnerabilidades, y que tengan en cuenta las diferentes dimensiones (social, económica y medioambiental).

Es esencial diseñar formas de adaptación para reducir el impacto neto sobre la suficiencia alimentaria y la nutrición y, de esta manera, aumentar la resiliencia frente al cambio climático. Esto supone un cambio de paradigma hacia una agricultura y unos sistemas alimentarios más resistentes, más productivos y sostenibles, con el objetivo de garantizar la suficiencia alimentaria a nivel mundial ante el cambio climático.

## Referencias

- Adrian, R., Hessen, D.O., Blenckner, T., Hillebrand, H., Hilt, S., Jeppesen, E., Livingstone, D.M. y Trolle, D. (2016). Environmental Impacts-Lake Ecosystems. En libro: *North Sea Region Climate Change Assessment. Regional Climate Studies*. Quante, M. y Colijn, F. (Eds.), Springer, Cham, pp: 315-340.
- Altizer, S., Richard, S., Ostfeld, P., Johnson, T.J., Kutz, S. y Harvell, C.D. (2013). Climate Change and Infectious Diseases: From Evidence to a Predictive Framework. *Science*, 341 (6145), pp: 514-519.
- Alvarez Cobelas, M., Catalán, J. y García de Jalón, D. (2005). Impactos sobre los ecosistemas acuáticos continentales. En libro: *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*. Centro de Publicaciones. Secretaría Técnica. Ministerio del Medio Ambiente.
- Bednar-Friedl, B., Biesbroek, R., Schmidt, D.N., Alexander, P., Børsheim, K.Y., Carnicer, J., Georgopoulou, E., Haasnoot, M., Le Cozannet, G., Lionello, P., Lipka, O., Möllmann, C., Muccione, V., Mustonen, T., Piepenburg, D. y Whitmarsh, L. (2022). Europe. En libro: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Pörtner, H.O., Roberts, D.C., Tignor, M., Poloczanska, E.S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., Okem, A. y Rama, B. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, pp: 1817-1927.
- Benigno, E. y Almodóvar, A. (2010). El cambio climático modifica la fauna de peces del Mediterráneo. *Trofeo Pesca Mar*, 11, pp: 108-109.
- CABI (2021). Centre for Agricultural Bioscience International. The apple snail, *Pomacea canaliculata*: an evidence note on invasiveness and potential economic impacts for East Africa. Disponible en: <https://www.cabi.org/wp-content/uploads/Working-Paper-21.pdf> [acceso: 23-09-24].
- Carmona, J.A., Doadrio, I., Márquez, A.L., Real, R. y Vargas, J.M. (1999). Distribution patterns of indigenous fishes in the Tagus River basin, Spain. *Environmental Biology of Fishes*, 54, pp: 371-387.
- Ceglar, A., Zampieri, M., Toreti, A. y Dentener, F. (2019). Observed northward migration of agro-climate zones in Europe will further accelerate under climate change. *Earth's Future*, 7 (9), pp: 1088-1101.

- Chancey, C., Grinev, A., Volkova, E. y Rios, M. (2015). The Global Ecology and Epidemiology of West Nile Virus. *BioMed Research International*, 2015, pp: 1-20.
- COP28 (2023). UN Climate Conference. 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: 23-09-24].
- de Moura Ariza, T.A., Lopes, M.M., Cavalcante, D.D.B. y Machado, C.D.F. (2022). The impacts of climate change on Food and Nutritional Security: a literature review. *Ciência & Saúde Coletiva*, 27 (1), pp: 273-286.
- de Senerpont Domis, L.N., Elser, J.J., Gsell, A.S., Huszar, V.L.M., Ibelings, B.W., Jeppesen, E., Kosten, S., Mooij, W.M., Roland, F., Sommer, U., Van Donk, E., Winder, M. y Rling, M.L. (2013). Plankton dynamics under different climatic conditions in space and time. *Freshwater Biology*, 58, pp: 463-482.
- Dempson, B., Schwarz, C.J., Bradbury, I.R., Robertson, M.J., Veinott, G., Poole, R. y Colbourne, E. (2017). Influence of climate and abundance on migration timing of adult Atlantic salmon (*Salmo salar*) among rivers in Newfoundland and Labrador. *Ecology of Freshwater Fish*, 26 (2), pp: 247-259.
- EFSA (2014). Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria. Apple snail poses a serious threat to south European wetlands. Disponible en: <https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/140430a> [acceso: 23-09-24].
- EFSA (2022). Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria. Pest categorisation of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4. *EFSA Journal*, 20 (1): 7092, pp: 1-32.
- EFSA (2024). Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria. Climate change and food safety. Disponible en: <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/climate-change-and-food-safety> [acceso: 23-09-24].
- Erezi, E., Ehi, O.E. y Ayodeji, O.T. (2023). Promoting Sustainable Agriculture and Climate Resilience in African Nations. *International Journal of Agriculture and Earth Science*, 9 (5), pp: 27-45.
- FAO (2001). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Farming Systems and Poverty. Improving farmers' livelihoods in a changing world. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/ea3285fa-caff-4bd9-81aa-79c9331aa808/content> [acceso: 23-09-24].
- FAO (2006). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Food Security. Disponible en: [https://www.fao.org/fileadmin/templates/faoitay/documents/pdf/pdf\\_Food\\_Security\\_Concept\\_Note.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/templates/faoitay/documents/pdf/pdf_Food_Security_Concept_Note.pdf) [acceso: 23-09-24].
- FAO (2009). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Global agriculture towards 2050. Disponible en: [https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues\\_papers/HLEF2050\\_Global\\_Agriculture.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/HLEF2050_Global_Agriculture.pdf) [acceso: 23-09-24].
- FAO (2011). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Potential effects of climate change on crop pollination. Kjøhl, M., Nielsen, A. y Stenseth, N.C., Rome.
- FAO (2015). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Climate change and food security: risks and responses. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a4fd8ac5-4582-4a66-91b0-55abf642a400/content> [acceso: 23-09-24].
- FAO (2021). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. The State of Food Security and Nutrition in the World 2021. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/items/efd29e45-4004-4ec0-baad-eb9ea69278eb> [acceso: 23-09-24].
- FAO (2022). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul. Roma, FAO. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/items/92319005-6232-450f-8c75-4d4fcf24720d> [acceso: 23-09-24].
- Feehan, J., Harley, M. y van Minnen, J. (2009). Climate change in Europe. 1. Impact on terrestrial ecosystems and biodiversity. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, pp: 409-421.
- Frieler, K., Levermann, A., Elliott, J., Heinke, J., Arneth, A., Bierkens, M.F.P., Ciais, P., Clark, D.B., Deryng, D., Döll, P., Falloon, P., Fekete, B., Folberth, C., Friend, A.D., Gellhorn, C., Gosling, S.N., Haddeland, I., Khabarov, N., Lomas, M., Masaki, Y., Nishina, K., Neumann, K., Oki, T., Pavlick, R., Ruane, A.C., Schmid, E., Schmitz, C., Stacke,

- T., Stehfest, E., Tang, Q., Wisser, D., Huber, V., Piontek, F., Warszawski, L., Schewe, J., Lotze-Campen, H. y Schellnhuber, H.J. (2015). A framework for the cross-sectoral integration of multi-model impact projections: land use decisions under climate impacts uncertainties. *Earth System Dynamics*, 6 (2), pp: 447-460.
- Gallai, N., Salles, J.-M., Settele, J. y Vaissière, B.E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68, pp: 810-821.
- García-Mozo, H., Oteros, J. y Galan, C. (2015). Phenological changes in olive (*Olea europaea* L.) reproductive cycle in southern Spain due to climate change. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 22 (3), pp: 421-428.
- Gilbert, M., Slingenbergh, J. y Xiao, X. (2008). Climate change and avian influenza. *Revue scientifique et technique*, 27 (2), pp: 459-466.
- Gordo, O. y Sanz, J.J. (2005). Phenology and climate change: a long-term study in a Mediterranean locality. *Oecologia*, 146, pp: 484-495.
- Gordo, O. y Sanz, J.J. (2008). The relative importance of conditions in wintering and passage areas on spring arrival dates: the case of long-distance Tberian migrants. *Journal of Ornithology*, 149, pp: 199-210.
- Hansen, G.J., Read, J.S., Hansen, J.F. y Winslow, L.A. (2017). Projected shifts in fish species dominance in Wisconsin lakes under climate change. *Global change biology*, 23 (4), pp: 1463-1476.
- IPBES (2019). Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Service. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Disponible en: [https://files.ipbes.net/ipbes-web-prod-public-files/2020-02/ipbes\\_global\\_assessment\\_report\\_summary\\_for\\_policymakers\\_en.pdf](https://files.ipbes.net/ipbes-web-prod-public-files/2020-02/ipbes_global_assessment_report_summary_for_policymakers_en.pdf) [acceso: 23-09-24].
- IPCC (2019). Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Special report on climate change and land. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/chapter-5/> [acceso: 23-09-24].
- IPCC (2022). 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: 23-09-24].
- Jones, A.B, Grace, D., Kock, R., Alonso, S., Rushton, J., Said, M.Y., McKeever, D., Mutua, F., Young, J., McDermott, J. y Pfeiffe, D.U. (2012). Zoonosis emergence linked to agricultural intensification and environmental change. *PNAS*, 110 (21), pp: 8399-8404.
- JRC (2016). Joint Research Centre. Food and nutrition security and role of smallholder farms: challenges and opportunities. JRC Conference and Workshop Reports, pp: 1-88.
- Kelly, B., Whiteley, A. y Tallmon, D. (2010). The Arctic melting pot. *Nature*, 468 (7326), pp: 891.
- Kilpatrick, A.M., Aleksei, A., Chmura, D.W., Gibbons, R.C., Fleischer, P.P.M. y Daszak, P. (2006). Predicting the global spread of H5N1 avian influenza. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103 (51), pp: 19368-19373.
- Klein, A., Dewenter, S.I. y Tschardtke, T. (2003). Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proceedings of the Royal Society*, 270, pp: 955-961.
- Knudsen, E., Lindén, A., Both, C., Jonzén, N., Pulido, F., Saino, N., Sutherland, W.J., Bach, L.A., Coppack, T., Ergon, T., Gienapp, P., Gill, J.A., Gordo, O., Hedenström, A., Lehikoinen, E., Marra, P.P., Møller, A.P., Nilsson, A.L.K., Péron, G., Ranta, E., Rubolini, D., Sparks, T.H., Spina, F., Studds, C.E., Scether, S.A., Tryjanowski, P. y Stenseth, N.C. (2011). Challenging claims in the study of migratory birds and climate change. *Biological Reviews*, 86, pp: 928-946.
- Kumar, L., Chhogyel, N., Gopalakrishnan, T., Hasan, M.K., Jayasinghe, S., Kariyawasam, C., Kogo, B. y Ratnayake, S. (2022). Climate change and future of agri-food production. En libro: *Future Foods*, pp: 49-79.
- Lehikoinen, E., Sparks, T.H. y Zalakevicius, M. (2004). Arrival and departure dates. *Advances in Ecological Research*, 35, pp: 1-31.
- Lehikoinen, E. y Sparks, T.H. (2010). Bird migration. En libro: *Effects of Climate Change on Birds*. Møller, A.P.,

- Fiedler, W. y Berthold, P. (Eds.). Oxford University Press, Oxford, pp: 89-112.
- LI (2014). Lincoln Institute. Land Lines. Disponible en: [https://www.lincolnst.edu/app/uploads/legacy-files/pub-files/lange\\_wp18wl1.pdf](https://www.lincolnst.edu/app/uploads/legacy-files/pub-files/lange_wp18wl1.pdf) [acceso: 23-09-24].
- Lioubimtseva, E. y Henebry, G.M. (2012). Grain production trends in Russia, Ukraine and Kazakhstan: New opportunities in an increasingly unstable world? *Frontiers of Earth Science*, 6, pp: 57-166.
- Lobell, D.B., Schlenker, W. y Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333 (6042), pp: 616-620.
- MAPAMA (2016). Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Programa de estudios 2016. Informe de resultados. Disponible en: [https://www.mapa.gob.es/gl/ministerio/servicios/informacion/informederesultadosprogramadeestudios2016\\_tcm37-440495.pdf](https://www.mapa.gob.es/gl/ministerio/servicios/informacion/informederesultadosprogramadeestudios2016_tcm37-440495.pdf) [acceso: 23-09-24].
- Merriam, E.R., Fernandez, R., Petty, J.T. y Zegre, N. (2017). Can brook trout survive climate change in large rivers? If it rains. *Science of The Total Environment*, 607-608, pp: 1225-1236.
- 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/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/pnacc-2021-2030\\_tcm30-512163.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/pnacc-2021-2030_tcm30-512163.pdf) [acceso: 23-09-24].
- Moore, F.C. y Lobell, D.B. (2015). The fingerprint of climate trends on European crop yields. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112 (9), pp: 2670-2675.
- Muhlfeld, C.C., Kovach, R.P., Jones, L.A., Al-Chokhachy, R., Boyer, M.C., Leary, R.F., Lowe, W.H., Luikart, G. y Allendorf, F.W. (2014). Invasive hybridization in a threatened species is accelerated by climate change. *Nature Climate Change*, 4 (7), pp: 620-624.
- Müller, C. y Elliott, J. (2015). The Global Gridded Crop Model intercomparison: approaches, insights and caveats for modelling climate change impacts on agriculture at the global scale. En libro: *Climate change and food systems: global assessments and implications for food security and trade*. Elbehri, A. (Ed.), Rome, FAO.
- Naveed, H., Islam, W., Jafir, M., Andoh, V., Chen, L. y Chen, K. (2023). A Review of Interactions between Plants and Whitefly-Transmitted Begomoviruses. *Plants*, 12 (21): 3677, pp: 1-20.
- Naciones Unidas (1992). Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Disponible en: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf> [acceso: 23-09-24].
- Nikolaou, G., Neocleous, D., Christou, A., Kitta, E. y Nikolaos Katsoulas, N. (2020). Implementing Sustainable Irrigation in Water-Scarce Regions under the Impact of Climate Change. *Agronomy*, 10 (8): 1120, pp: 1-33.
- Nøttestad, L., Krafft, B.A., Anthonypillai, V., Bernasconi, M., Langård, L., Mørk, H.L. y Fernø, A. (2015). Recent changes in distribution and relative abundance of cetaceans in the Norwegian Sea and their relationship with potential prey. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2, pp: 83.
- Ogden, N. y Robbin, L. (2016). Effects of Climate and Climate Change on Vectors and Vector-Borne Diseases: Ticks Are Different. *Trends in Parasitology*, 32 (8), pp: 646-656.
- Palko, K. y Lemmen, D. (2017). Climate Risks and Adaptation Practices for the Canadian Transportation Sector. Government of Canada, Ottawa, Canada.
- Parmesan, C., Morecroft, M.D., Trisurat, Y., Adrian, R., Anshari, G.Z., Arneth, A., Gao, Q., Gonzalez, P., Harris, R., Price, J., Stevens, N. y Talukdar, G.H. (2022). Terrestrial and Freshwater Ecosystems and Their Services. En libro: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Portner, H.O., Roberts, D.C., Tignor, M., Poloczanska, E.S., Minterbeck, K., Alegria, A., Craig, M., Langsdorf, S., Loschke, S., Moller, V., Okem, A. y Rama, B. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp: 197-377.
- Pérez, J.G. (2020). Una pesca sostenible y respetuosa con la biodiversidad marina. *Mediterráneo económico*, 33, pp: 319-336.
- Porter, J.R., Xie, L., Challinor, A.J., Cochrane, K., Howden, S.M., Iqbal, M.M., Lobell, D.B. y Travasso, M.I. (2014). Food security and food production systems. En libro: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulne-*

- ability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R. y White, L.L. (Eds.). Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, pp: 485-533. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/> [acceso: 23-09-24].
- Potopová, V., Zahradníček, P., Štěpánek, P., Türkott, L., Fardab, A. y Soukup, J. (2017). The impacts of key adverse weather events on the field-grown vegetable yield variability in the Czech Republic from 1961 to 2014. *International Journal of Climatology*, 37 (3), pp: 1648-1664.
- Reino Unido (2022). Impact of climate change and biodiversity loss on food security. Disponible en: <https://lords-library.parliament.uk/impact-of-climate-change-and-biodiversity-loss-on-food-security/> [acceso: 23-09-24].
- Santiago, J.M., García de Jalón, D., Alonso, C., Solana, J., Ribalaygua, J., Pórtoles, J. y Monjo, R. (2016). Brown trout thermal niche and climate change: expected changes in the distribution of cold-water fish in central Spain. *Ecohydrology*, 9 (3), pp: 514-528.
- 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 of Environmental Research and Public Health*, 16 (14): 2531, pp: 1-16.
- Sejjan, V., Maurya, V.P., Kumar, K. y Naqvi, S.M.K. (2013). Effect of multiple stresses (thermal, nutritional and walking stress) on growth, physiological response, blood biochemical and endocrine responses in Malpura ewes under semi-arid tropical environment. *Tropical Animal Health and Production*, 45, pp: 107-116.
- 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. *Nature reviews microbiology*, 21, pp: 640-656.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B. y Miller, H.L. (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge
- Sterner, R.W., Keeler, B., Polasky, S., Poudel, R., Rhudea, K. y Rogers, M. (2020). Ecosystem services of Earth's largest freshwater lakes. *Ecosystem Services*, 41: 101046.
- Thomsen, B. y Thomsen, J. (2021). Multispecies livelihoods: Partnering for sustainable development and biodiversity conservation. En libro: *Partnerships for the goals. Encyclopedia of the UN sustainable development goals*. Filho, L.W., Azul, A.M., Brandli, L., Salvia, L.A. y Wall, T. (Eds). Springer, Cham, pp: 758-768.
- Till, A., Rypel, A.L., Bray, A. y Fey, S.B. (2019). Fish die-offs are concurrent with thermal extremes in north temperate lakes. *Nature Climate Change*, 9 (8), pp: 637-641.
- Uleberg, E., Hanssen-Bauer, I., van Oort, B. y Dalmannsdottir, S. (2014). Impact of climate change on agriculture in Northern Norway and potential strategies for adaptation. *Climatic Change*, 122, pp: 27-39.
- Vargas-Yáñez, M., García-Martínez, M.D.C., Moya-Ruiz, F., López-Jurado, J.L., Serra-Tur, M., Balbín, R., ... y Parrilla-Barrera, G. (2019). El estado actual de los ecosistemas marinos en el Mediterráneo español en un contexto de cambio climático. Instituto Español de Oceanografía.
- van Leeuwen, C. y Darriet, P. (2016). The impact of climate change on viticulture and wine quality. *Journal of Wine Economics*, 11 (1), pp: 150-167.
- Walther, G.R., Beissner, S. y Burga, C.A. (2005). Trends in the uphill shift of alpine plants. *Journal of Vegetation Science*, 16, pp: 541-548.
- Warren, R., VanDerWal, J., Price, J., Welbergen, J.A., Atkinson, I., Ramirez-Villegas, J., Osborn, T.J., Jarvis, A., Shoo, L.P., Williams, S.E. y Lowe, J.J. (2013). Quantifying the benefit of early climate change mitigation in avoiding biodiversity loss. *Nature Climate Change*, 3, pp: 678-682.
- Worm, B. y Lotze, H.K. (2021). Marine biodiversity and climate change. En libro: *Climate change*. Elsevier, pp: 445-464.
- Zinsstag, J., Crump, L., Schelling, E., Hattendorf, J., Maidane, Y.O., Ali, K.O., Muhummed, A., Umer, A.A., Aliyi, F.,

Nooh, F., Abdikadir, M.I., Ali, S.M., Hartinger, S., Mäusezahl, D., de White, M.B.G., Cordon-Rosales, C., Castillo, D.A., McCracken, J., Abakar, F., Cercamondi, C., Emmenegger, S., Maier, E., Karanja, S., Bolon, I., de Castañeda, R.R., Bonfoh, B., Tschopp, R., Probst-Hensch, N. y Cissé, G. (2023). Climate change and One Health. *FEMS Microbiology Letters*, 365 (11), pp: 1-8.

Ziska, L., Crimmins, A., Auclair, A., DeGrasse, S., Garofalo, J.F., Khan, A.S., Loladze, I., Perez de Leon, A.A., Showler, A., Thurston, J., et al. (2016). Food safety, nutrition, and distribution. En libro: *The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment*. U.S. Global Change Research Program: Washington, DC, USA, pp: 1-189.



# Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre la evaluación del riesgo de botulismo derivado del consumo de alimentos envasados al vacío o en atmósfera modificada

Número de referencia: AESAN-2024-005

Informe aprobado por el Comité Científico en su sesión plenaria de 12 de diciembre de 2024

## Grupo de trabajo

**María Dolores Rodrigo Aliaga (Coordinadora), Rosa María Capita González, Baltasar Mayo Pérez, Gloria Sánchez Moragas y Antonio Valero Díaz**

## Comité Científico

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

## Secretario técnico

Vicente Calderón Pascual

Gestión técnica del informe AESAN: Paula Arrabal Durán

## Resumen

El botulismo transmitido por alimentos es provocado tras la ingestión de una neurotoxina (BoNT) producida fundamentalmente por *Clostridium botulinum*. Esta bacteria presenta seis Grupos fenotípicos, siendo los Grupos I y II los relacionados con la enfermedad en humanos. Las BoNT se clasifican en siete tipos principales con diferente potencial antigénico, siendo los tipos A, B, E y F, los responsables del botulismo en humanos. Estas son producidas por *C. botulinum* I (mesófilo, temperatura de producción de toxinas entre 30 y 37 °C) y II (psicrotrofo y capaz de desarrollar la toxina hasta a 3-4 °C). La formulación del alimento (pH, actividad de agua ( $a_w$ ), concentración de NaCl,

adición de conservadores) es clave para evaluar el riesgo de botulismo, y el tratamiento térmico (esterilización) es la principal medida de control. Por ello, tradicionalmente, el riesgo de botulismo se ha asociado con deficiencias en el tratamiento térmico de alimentos en conserva.

También son particularmente vulnerables los alimentos de V gama (cocinados, envasados, sometidos a un ligero tratamiento de pasteurización y listos para ser consumidos tras un proceso final de calentado previo al consumo) cuando, además, están refrigerados y envasados al vacío o en atmósferas modificadas (REPFED, *Refrigerated Processed Foods of Extended Durability*), ya que dependiendo de su composición, pueden permitir el crecimiento de *C. botulinum* Grupo II a temperaturas superiores a 3,3 °C, con el consecuente desarrollo de la toxina botulínica que no va a ser inactivada durante el calentamiento previo al consumo del alimento.

Para mitigar los riesgos de botulismo en este tipo de alimentos es fundamental el seguimiento de unas buenas prácticas higiénicas a lo largo del proceso de elaboración. Del mismo modo es importante que su formulación sea tal que impida el desarrollo del patógeno (pH,  $a_w$ , concentración de NaCl o algún tipo de agente antimicrobiano). Asimismo, es crucial un control estricto de la temperatura de almacenamiento del alimento (por debajo de 4 °C, idealmente por debajo de 3,3 °C) y que el consumidor se adhiera a las instrucciones de conservación y consumo proporcionadas por el productor.

### Palabras clave

Botulismo, *Clostridium botulinum*, toxina botulínica, alimentos de V gama refrigerados.

### Report of the Scientific Committee of the Spanish Agency for Food Safety and Nutrition (AESAN) on the risk assessment of botulism resulting from the consumption of vacuum-packed or modified atmosphere-packed foods

### Abstract

Foodborne botulism is caused by the ingestion of a neurotoxin (BoNT) primarily produced by *Clostridium botulinum*. This bacterium is classified into six phenotypic groups, with groups I and II being associated with human disease. BoNT are divided into seven main types with different antigenic potentials, of which types A, B, E, and F are responsible for botulism in humans. These toxins are produced by *C. botulinum* group I (mesophilic, with toxin production temperatures between 30 and 37 °C) and group II (psychrotrophic, capable of producing toxins at temperatures as low as 3-4 °C). The formulation of food products (pH, water activity ( $a_w$ ), NaCl concentration, addition of preservatives) is critical for assessing botulism risk, and thermal processing (sterilization) remains the primary control measure. For this reason, the risk of botulism has traditionally been associated with deficiencies in the thermal treatment of canned foods.

Additionally, V-range foods (cooked, packaged, lightly pasteurized, and ready-to-eat products that require reheating before consumption), especially those that are refrigerated and vacuum-packed or stored in modified atmospheres (known as Refrigerated Processed Foods of Extended Durability, REPFED), are particularly vulnerable. Depending on their composition, these products may permit

the growth of *C. botulinum* group II at temperatures above 3.3 °C, with subsequent toxin production that cannot be inactivated during reheating before consumption.

To mitigate risks in this type of food, adherence to good hygienic practices throughout the production process is essential. Similarly, the formulation of the product should be designed to prevent pathogen growth (e.g., through pH control,  $a_w$  reduction, NaCl concentration, or the use of antimicrobial agents). Strict control of storage temperatures (below 4 °C, ideally below 3.3 °C) is also crucial, as is ensuring that consumers follow the storage and consumption instructions provided by the manufacturer.

### Key words

Botulism, *Clostridium botulinum*, botulinum toxin, refrigerated V-range foods.

### Cita sugerida

Comité Científico AESAN. (Grupo de Trabajo) Rodrigo, M.D., Capita, R.M., Mayo, B., Sánchez, G. y Valero, A. Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre la evaluación del riesgo de botulismo derivado del consumo de alimentos envasados al vacío o en atmósfera modificada. *Revista del Comité Científico de la AESAN*, 2024, 40, pp: 33-69.

## 1. Introducción

El botulismo es una enfermedad de origen alimentario grave, pero infrecuente, que se produce tras la ingestión de una neurotoxina (BoNT) desarrollada tras la germinación y multiplicación de esporas fundamentalmente de *Clostridium botulinum* y algunas otras especies de *Clostridium*, como *C. argentinense*, *C. baratii* o *C. butyricum*.

*C. botulinum* es un bacilo Gram positivo, anaerobio estricto y esporulado. Las esporas de este microorganismo están ampliamente distribuidas en el suelo y en los sedimentos acuáticos, pudiendo contaminar distintos tipos de alimentos. En función de sus propiedades serológicas hay descritas siete BoNT principales producidas por *C. botulinum* (A, B, C, D, E, F y G). Los tipos A, B, E y F son, principalmente, los que se asocian con el botulismo en seres humanos. Las cepas de *C. botulinum* también se clasifican en cuatro Grupos (I-IV) en función de sus diferentes propiedades bioquímicas, especialmente en relación a su capacidad proteolítica. Las cepas de *C. botulinum* que producen el botulismo en humanos pertenecen al Grupo I (cepas proteolíticas y mesófilas que producen las toxinas A, B y F) y al Grupo II (cepas no proteolíticas y psicrotrofas que producen las toxinas B, F y E). Por ello, para evaluar el riesgo de botulismo derivado del consumo de alimentos, es de gran importancia considerar no solo los aspectos relacionados con *C. botulinum*, si no también conocer las condiciones que derivan en el desarrollo de la toxina.

Durante los meses de junio y julio de 2023, se detectó en España un incremento de casos de botulismo, que sugerían la asociación entre el consumo platos preparados envasados al vacío o en atmósfera modificada y el desarrollo de la enfermedad. Dicha asociación no fue confirmada microbiológicamente al no detectarse la presencia de *C. botulinum*, ni de toxina botulínica, en el análisis microbiológico realizado en los platos preparados de los lotes potencialmente vinculados al brote. Sin embargo, considerando la gravedad de la patología, así como el hecho de que no seguir las instrucciones de conservación y utilización indicadas en el etiquetado de ciertos alimentos o platos preparados, envasados al vacío o en atmósferas modificadas, puede suponer un riesgo grave, se requiere evaluar el riesgo de botulismo y su relación con el consumo de estos alimentos. Por tanto, se solicita al Comité Científico de la Agencia de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) un informe en el que se evalúe:

1. El crecimiento de *C. botulinum* en diferentes matrices alimentarias, teniendo en cuenta los factores que influyen en el mismo: contenido de oxígeno, pH, actividad de agua ( $a_w$ ), conservadores, temperatura y tiempo de conservación, así como posibles indicaciones de tratamiento o cocinado en el etiquetado.
2. El riesgo de botulismo relacionado con el consumo de alimentos que se envasan al vacío o en atmósferas modificadas, sometidos o no a tratamientos de pasteurización post-ensavado, y conservados a temperaturas de refrigeración.

## 2. Antecedentes

### 2.1 *Clostridium botulinum*: aspectos taxonómicos

El género *Clostridium* es un miembro de la familia *Clostridiaceae*, en el orden *Clostridiales*, clase *Clostridia* y filo *Bacillota* (anteriormente *Firmicutes*) (Finegold et al., 2002). Este género consta

de, aproximadamente, unas 200 especies Gram-positivas, formadoras de esporas, entre las que se incluyen notables especies patógenas como *Clostridium difficile* (reclasificada de forma reciente como *Clostridiodes difficile*), *C. botulinum*, *C. tetani* y *C. perfringens*. La clasificación original se basaba en la caracterización fenotípica de los aislados como anaerobios estrictos, Gram-positivos y formadores de endosporas. La información genómica más reciente, sin embargo, demuestra que muchas de las especies clasificadas dentro del género *Clostridium* están lejanamente emparentadas según los principios taxonómicos más actuales (Lawson y Raney, 2016).

*C. botulinum* es una bacteria anaerobia estricta, Gram-positiva, esporulada, con forma de bacilo (mide, aproximadamente, 3-8  $\mu\text{m}$  de largo por 0,4-1,2  $\mu\text{m}$  de ancho) (Corsalini et al., 2021) y cuyas células se presentan individualmente o agrupadas (en parejas o cadenas cortas). *C. botulinum* se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, pudiendo estar presente en tierra, polvo, agua y sedimentos marinos y de aguas dulces (Long y Tauscher, 2006) (Espelund y Klaveness, 2014). Las esporas pueden persistir en suelos y sedimentos durante décadas, ya que presentan una elevada resistencia a diferentes factores ambientales, como desecación, agentes químicos, radiación o altas concentraciones de oxígeno (Liu, 2024). Además, el microorganismo está ocasionalmente presente en el contenido intestinal de animales asintomáticos (peces, aves y mamíferos) (Espelund y Klaveness, 2014).

En base a la combinación de análisis moleculares y perfiles metabólicos, se han establecido seis Grupos fenotípicos dentro de la especie *C. botulinum* (I-VI) (Liu, 2024), siendo las cepas de los Grupos I (proteolíticas) y II (no proteolíticas) las más comúnmente asociadas con casos de botulismo humano (Artin et al., 2008).

Las cepas del Grupo I tienen actividad proteolítica. Puesto que son mesófilas y su temperatura mínima de crecimiento es de 10 °C, tienen una importancia limitada en los alimentos refrigerados, salvo que se produzca una rotura de la cadena de frío (Parker et al., 2015). Estas cepas están principalmente asociadas a casos de botulismo humano por alimentos enlatados, dada la elevada termorresistencia de sus esporas, necesiéndose tratamientos de, al menos, 121 °C durante 3 minutos para inactivarlas (Carter y Peck, 2015) (Rawson et al., 2023). Las cepas del Grupo II son, generalmente, psicrotrofas (crecen a temperaturas menores de 7 °C), produciendo esporas de menor termorresistencia que las de los Grupos I y III. Son cepas no proteolíticas, que pueden crecer y producir toxinas a temperaturas de refrigeración, incluso algunas lo hacen a temperaturas inferiores a 4 °C, por lo que tienen gran importancia en los alimentos refrigerados o que han sido sometidos a un tratamiento térmico suave (principalmente pescados y mariscos) y envasados en anaerobiosis.

Por su parte, las cepas del Grupo III son mesófilas o ligeramente termófilas y productoras de esporas de termorresistencia moderada (Portinha et al., 2022). Las cepas del Grupo IV son proteolíticas y no glucolíticas, las del Grupo V son cepas no proteolíticas capaces de fermentar la glucosa y, finalmente, las del Grupo VI son cepas parcialmente proteolíticas que no fermentan la glucosa (Liu, 2024). En las Tablas 1, 2, 4, 5, 6 y 7 se muestran las principales características de cada uno de los Grupos de *C. botulinum* según diferentes autores consultados.

**Tabla 1.** Características de los diferentes Grupos fenotípicos de *Clostridium botulinum*

Propiedades	Grupos fenotípicos de <i>Clostridium botulinum</i>					
	Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo IV	Grupo V	Grupo VI
Tipos de toxina	A, B, F, AB, BF, FA	B4, E, F6	C, CD, DC	G	F7	E4/5
Proteólisis	+	-	+/-	+	-	+/-
Fermentación de la glucosa	+	+	-	-	+	-
Grupo de genes que codifican la toxina	<i>orfX</i> +, <i>ha</i> +	<i>orfX</i> +, <i>ha</i> +	<i>ha</i> +	<i>ha</i> +	<i>orfX</i> +	<i>orfX</i> +
Grupo afectado	Humanos	Humanos	Animales	n.d. <sup>a</sup>	Humanos	Humanos
Tipos próximos no toxigénicos	<i>C. sporogenes</i> serotipo B		<i>C. haemolyticum</i> <i>C. novyi</i> tipo A	Renombrado <i>C. argentinense</i>	Renombrado <i>C. barati</i> serotipo F	Renombrado <i>C. butyricum</i> serotipo E

<sup>a</sup>No disponible. **Fuente:** (Liu, 2024).

Las diferencias entre cepas de distintos Grupos fenotípicos de *C. botulinum* tiene una base genética, como se ha confirmado recientemente mediante estudios de genómica comparada (Smith et al., 2020). La localización de los genes que codifican las distintas toxinas es también diferente. Dependiendo de la cepa, los genes de los Grupos I y II están codificados en el cromosoma o en plásmidos, mientras que los genes de las cepas del Grupo III están localizados en un bacteriófago y, las del Grupo IV, en plásmidos (Moore y Lacey, 2019). Además, los genomas de las distintas cepas varían ampliamente en tamaño (entre 2,4 y 4,5 Mb), lo que indica grandes diferencias en su potencial genético.

## 2.2 Toxina botulínica

*C. botulinum* produce la toxina botulínica (BoNT). Esta es, probablemente, la toxina con mayor actividad biológica conocida; además, es el agente causal del botulismo (Rawson et al., 2023). Otras 15 especies de clostridios, incluyendo *C. baratii*, *C. argentinense* y *C. butyricum* son capaces también de producir BoNT (Poulain y Popoff, 2019). Las BoNT son metaloproteasas que escinden específicamente las proteínas solubles de las terminaciones postsinápticas, impidiendo la liberación del neurotransmisor y bloqueando la transmisión de la señal neuronal a los músculos efectores (Rossetto et al., 2021). Sin embargo, las BoNT no son capaces de atravesar la barrera hematoencefálica y, por tanto, solo afectan a los nervios motores. Las BoNT comparten una estructura similar y se sintetizan como una protoxina de 150 kD (Meurens et al., 2023). La protoxina original se escinde en dos cadenas polipeptídicas asimétricas: una cadena pesada (100 kD) y una ligera (50 kD). Estas dos cadenas constituyen la toxina activa y están unidas de forma covalente por puentes disulfuro. En las cepas proteolíticas, la proteasa celular es responsable de la activación, mientras que, en las cepas no proteolíticas, la toxina se activa por la acción degradativa de otros microorganismos pro-

teolíticos presentes en el medio (Popoff y Brüggemann, 2022). Todas ellas tienen un modo de acción similar: la cadena pesada de la toxina activada se une a las células neuronales periféricas y permite la endocitosis de la cadena ligera (Rawson et al., 2023). En el interior de las células, la cadena ligera se une a las proteínas responsables de la exocitosis de acetilcolina, de forma que esta no se libera y se pierde la actividad nerviosa utilizada para controlar los músculos.

Las BoNT se clasifican en siete tipos con distinto potencial antigénico (A, B, C, D, E, F y G) (Peck et al., 2017). Las toxinas A, B, E y F son las responsables principales del botulismo en humanos (el 65 % debidos a la toxina tipo A, el 25 % a la toxina tipo E y el 7 % a la toxina tipo B). Son producidas por los genotipos de *C. botulinum* I (A, B y F) y II (B, F y E). Debido a las diferencias en temperaturas de crecimiento de los distintos genotipos (Tablas 2, 4, 5, 6 y 7), la temperatura óptima de formación de las BoNT A, producida por *C. botulinum* I (mesófilo) oscila entre 30 y 37 °C, pero las BoNT B, E y F, que pueden ser producidas por *C. botulinum* II (psicrotrofo), se pueden desarrollar a temperaturas tan bajas como 3-4 °C. Por ello, es posible que, en el caso de alimentos de baja acidez, no esterilizados, almacenados en condiciones de anaerobiosis y en refrigeración se pueda desarrollar la BoNT.

**Tabla 2.** Características de las cepas de *Clostridium* spp. productoras de neurotoxinas (BoNT)

Características	Grupo I ( <i>C. botulinum</i> proteolítico)	Grupo II ( <i>C. botulinum</i> no proteolítico)	Grupo III ( <i>C. botulinum</i> )	Grupo IV ( <i>C. argentinense</i> )	Grupo V ( <i>C. butyricum</i> )	Grupo VI ( <i>C. baratii</i> )
Tipos de neurotoxinas producidos	A B (cepas proteolíticas) F H	E B (cepas no proteolíticas) F	C D	G	E	F
Proteólisis	+	-	-	+	-	-
Temperatura óptima de crecimiento	35-40 °C	18-25 °C	40 °C	37 °C	30-37 °C	30-45 °C
Casos de botulismo asociados	Humanos (generalmente alimentos enlatados)	Humanos (generalmente alimentos refrigerados o sometidos a tratamiento térmico suave)	Animales (C-aves; D-vacuno)	Brotos no informados; aislamientos ambientales	Humanos	Humanos

**Fuente:** (Rawson et al., 2023)

Las BoNT se producen tras las fases de esporulación y germinación (Shen et al., 2019). Existen evidencias de que, en el caso de las toxinas producidas por cepas no proteolíticas, se necesita un tiempo de, al menos, 10 días a 8 °C para que se desarrollen (Peck et al., 2006). *In vitro*, los niveles más altos de neurotoxinas se producen al final de la fase exponencial de crecimiento y en las primeras fases de desarrollo estacionario (Popoff y Brüggemann, 2022). Los diferentes tipos de BoNT tienen diferente estabilidad al calor y a otras condiciones ambientales (Tablas 4 y 7). En general,

las BoNT se desnaturalizan tras 10 minutos a 100 °C o 30 minutos a 80 °C y se mantienen estables durante más de 3 ciclos de congelación y descongelación (Munir et al., 2023). Como característica común, todas ellas son muy estables en ambientes de extrema acidez.

### 2.3 Botulismo

El botulismo es una enfermedad paralizante, poco frecuente, pero grave, que llega a ser mortal si no se diagnostica rápidamente y se trata con la antitoxina botulínica (ANSES, 2019), siendo necesario, en algunos casos, un tratamiento de apoyo, especialmente ventilación mecánica.

Dependiendo de las características del hospedador y de la ruta de infección, existen cinco tipos principales de botulismo: botulismo transmitido por alimentos, botulismo por heridas, botulismo infantil, botulismo iatrogénico y toxemia intestinal en adultos (CDC, 2024), de los que el botulismo transmitido por alimentos es el más común. Como se ha comentado anteriormente, la causa de este último es la ingestión de alimentos contaminados con BoNT. En un estudio elaborado por el RIVM (*Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu*), se estimó que valores por encima de 0,06 ng/kg peso corporal podrían ocasionar efectos adversos para la salud, mientras que valores de entre 0,004 y 0,008 ng/kg peso corporal se podrían considerar seguros (RIVM, 2000). El botulismo humano se caracteriza por una debilidad bilateral de los músculos descendentes, los síntomas generalmente comienzan en los nervios craneales y se presentan como visión borrosa o doble, sequedad de boca y dificultad para hablar (Johnson et al., 2008). La sintomatología temprana clásica del botulismo se puede recordar utilizando la mnemónica de las “cuatro D”: disartria, diplopía, disfonía y disfagia (Rawson et al., 2023). Los síntomas del botulismo duran de unos pocos días a 8 meses, aunque la recuperación total puede durar años.

### 2.4 Prevalencia de *C. botulinum* en alimentos

*C. botulinum* es un microorganismo que se puede encontrar en determinados alimentos, tanto de origen vegetal como animal. Rhodehamel et al. (1992), Dodds (1993) y Chai et al. (2013) mencionan presencia en espinacas, patatas, maíz, cáscaras de cebolla, setas, ajos, coles, miel y carnes tanto frescas como procesadas. *C. botulinum* también es común en ciertos pescados y productos pesqueros, como la trucha de piscifactoría (Hielm et al., 1998). La incidencia en las carnes es baja (Tomppkin, 1980) (Hauschild, 1989), aunque se ha detectado en carne de cerdo (Abrahamsson y Riemann, 1971) (Roberts y Smart, 1976).

Sin embargo, no existen muchos datos sobre la prevalencia en alimentos de V gama, refrigerados y envasados al vacío o en atmósferas modificadas. Pernu et al. (2020) pusieron de manifiesto una alta prevalencia (32 %) de *C. botulinum* Grupo II en salchichas de origen vegetal (74 muestras de 7 productores diferentes en el mercado alemán y finlandés), con un tratamiento térmico suave y envasadas al vacío.

En el caso de la prevalencia en materias primas destinadas a ser utilizadas en alimentos REPFED (*Refrigerated Processed Foods of Extended Durability*), esta es frecuentemente baja (datos dados como número más probable/kg): 2-3/kg (102 muestras); carne, 2-4/kg (143 muestras); productos lácteos, 2-5/kg (26 muestras); espesantes, 2-4/kg (143 muestras); aromas y salsas, 0,3-0,6/kg (25 muestras); especias y hierbas, <0,6/kg (65 muestras), solo detectándose BoNT tipos A y B (Carlin et al., 2004).



### 3. Alertas y brotes asociados a *C. botulinum* en alimentos envasados al vacío o en atmósferas modificadas

En Europa se notifican cada año alrededor de 100 casos confirmados de botulismo por los sistemas nacionales de vigilancia (ECDC, 2023). Este número se ha mantenido estable desde 2017 hasta 2021, con un promedio de 85 casos anuales (ECDC, 2023). En 2022, se notificaron 7 brotes de transmisión alimentaria en la Unión Europea, afectando en promedio a un total de 20 personas, principalmente en Italia (32), Rumania (11), Francia y España. En los Estados Unidos, se producen un promedio de 110 casos de botulismo al año, y el 25 % de ellos son casos confirmados de transmitido por alimentos (CDC, 2024). Los brotes recientes declarados en Europa se han relacionado con conservas de verduras caseras (Italia), conservas de carne de cerdo y productos de jamón (Polonia y Rumanía), conservas de pescado y productos derivados de pescado, y en alimentos enlatados y productos caseros (Francia) (ECDC, 2024).

Desde el año 2020, la Red de Alerta Alimentaria Europea (RASFF, *Rapid Alert System for Food and Feed*) ha notificado 7 alertas relacionadas con la presencia o sospecha de la BoNT en alimentos, principalmente en platos preparados (España en 2023 e Italia en 2024), setas en salmuera (Rusia en 2024), conservas (Francia en 2023), pescado y derivados (Turquía en 2022), y queso crema (Reino Unido en 2020).

**Tabla 3.** Brotes recientes de botulismo alimentario relacionados con cepas no proteolíticas

Año	País	Producto	Toxina	Casos (muertes)	Causa brote	Referencia
2001	Australia	Pollo recalentado	E	1	Fallo control temperatura	Mackle et al. (2001)
2001	Estados Unidos	Cola y patas de castor fermentado-casero	E	3	Fallo control temperatura	CDC (2001)
2001	Canadá	Huevas de salmón fermentadas caseras	E	4	n.d. <sup>a</sup>	Anon (2002)
2002	Estados Unidos	Piel y grasa de beluga casera	E	12	n.d.	McLaughlin et al. (2004)
2003	Alemania	Pescado salado casero	E	3	Fallo control temperatura	Eriksen et al. (2004)
2004	Alemania	Salmón ahumando comercial envasado al vacío	E	1	Consumido caducado	Dressler (2005)
2016	Alemania y España	Pescado seco y salado	E	5	n.d.	ECDC/EFSA (2016)
2023	Francia	Sardinias en conserva caseras	B	15 (1)	n.d.	Meurice et al. (2023)

<sup>a</sup>n.d.: no disponible.

Los brotes recientes de botulismo transmitido por alimentos asociados con *C. botulinum* proteolítico están, fundamentalmente, relacionados con conservas alimentarias procesadas o conservadas de manera inadecuada. En el caso de los brotes de botulismo transmitidos por *C. botulinum* no proteolítico, estos han estado, fundamentalmente, asociados a alimentos refrigerados en los que

previamente a su consumo no se ha respetado la vida útil comercial o su temperatura de almacenamiento (Tabla 3).

## 4. Factores que influyen en la supervivencia de *C. botulinum* en alimentos

### 4.1 Efecto del contenido en oxígeno

Las principales características del microorganismo, así como las condiciones necesarias para su crecimiento y producción de toxinas, se incluyen en las Tablas 1, 2, 4, 5 y 6, basadas en los datos ofrecidos por diferentes autores consultados. *C. botulinum* es una bacteria anaerobia (en ausencia de oxígeno puede germinar y producir la toxina botulínica, por ejemplo, en conservas vegetales). Sin embargo, la presencia de altos niveles de oxígeno, por sí sola, no es una barrera suficiente para impedir el crecimiento o producción de toxinas (Camerini et al., 2019). Por un lado, se ha comprobado que el microorganismo puede tolerar trazas de oxígeno dada su producción de superóxido dismutasa (Liu, 2024). Adicionalmente, es posible que en el seno del alimento se den microambientes en los que la bacteria esté protegida del efecto del oxígeno y, por lo tanto, del estrés oxidativo (AC-MSF, 2024). En este sentido, en condiciones de laboratorio, se ha detectado crecimiento y producción de toxinas de *C. botulinum* proteolítico en productos de panadería de alta humedad (actividad de agua ( $a_w$ )= 0,990) envasados en atmósfera modificada (15 % oxígeno) a 25 °C (Daifas et al., 1999) y en champiñones envasados en una película plástica semipermeable (Whiting y Naftulin, 1992). Del mismo modo, Cai et al. (1997) y Erickson et al. (2015) describieron también la producción de BoNT tipo E en bagre y salmón, respectivamente, envasados en materiales permeables al oxígeno.

### 4.2 Efecto del pH

Por lo que respecta al pH, las cepas de *C. botulinum* pueden crecer con valores de pH de 4,6 o superiores, por lo que suponen un riesgo en alimentos de baja acidez (Peck, 2009). Si bien algunos brotes de botulismo se han atribuido a alimentos con pH inferior a 4,6, se ha comprobado que dichos productos estaban también contaminados con mohos, que habían incrementado el pH del alimento, permitiendo a *C. botulinum* crecer y producir toxinas (Peck, 2009).

**Tabla 4.** Condiciones necesarias para la supervivencia, el crecimiento y la producción de toxinas de *Clostridium botulinum* y otros clostridios neurotoxigénicos en condiciones de laboratorio

	<i>C. botulinum</i> Grupo I Proteolítico	<i>C. botulinum</i> Grupo II No proteo- lítico	<i>C. botulinum</i> Grupo III No proteolítico	<i>C. botulinum</i> Grupo IV Proteolítico	<i>C. butyricum</i> Grupo V	<i>C. baratii</i> Grupo VI
Tipos de neurotoxinas producidos	A, B, F	B, E, F	C, D	G	E	F
Clostridios no productores de neurotoxinas estrechamente relacionados	<i>C. sporogenes</i>	Ninguno en ese momento	<i>C. novyii</i>	<i>C. argentinense</i>	<i>C. butyricum</i>	<i>C. baratii</i>

**Tabla 4.** Condiciones necesarias para la supervivencia, el crecimiento y la producción de toxinas de *Clostridium botulinum* y otros clostridios neurotoxigénicos en condiciones de laboratorio

	<i>C. botulinum</i> Grupo I Proteolítico			<i>C. botulinum</i> Grupo II No proteo- lítico			<i>C. botulinum</i> Grupo III No proteolítico			<i>C. botulinum</i> Grupo IV Proteolítico			<i>C. butyricum</i> Grupo V			<i>C. baratii</i> Grupo VI		
<b>Crecimiento</b>	Mín <sup>a</sup>	Ópt <sup>b</sup>	Máx <sup>c</sup>	Mín	Ópt	Máx	Mín	Ópt	Máx	Mín	Ópt	Máx	Mín	Ópt	Máx	Mín	Ópt	Máx
Temperatura (°C)	10	35-40	48	2,5	18-25	45	15	37-40	n.d. <sup>d</sup>	n.d.	37	n.d.	12	3-37	n.d.	10	30-45	n.d.
pH	4,6	n.d.	9	5	7	9	5,1	6,1-6,3	9	4,6	7	n.d.	4,8	7	n.d.	3,7	7	n.d.
Actividad de agua (a <sub>w</sub> )	0,94	n.d.	n.d.	0,97	n.d.	n.d.	0,97	n.d.	n.d.	0,94	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
% de NaCl que inhibe el crecimiento	10			5			5			10			n.d.			8,5		
<b>Producción de toxinas</b>																		
Temperatura mínima (°C)	10			3			15			n.d.			12			10		
Actividad de agua (a <sub>w</sub> ) mínima	0,94			0,97			0,97			0,94			n.d.			n.d.		

<sup>a</sup>Mín.: mínimo. <sup>b</sup>Ópt.: óptimo. <sup>c</sup>Máx.: máximo. <sup>d</sup>n.d.: no disponible. **Fuente:** (ANSES, 2019).

#### 4.3 Efecto de la actividad de agua (a<sub>w</sub>)

El valor mínimo de a<sub>w</sub> que permite el crecimiento y la producción de toxinas de las cepas de *C. botulinum* se muestra en las Tablas 4, 5, 6 y 7. La a<sub>w</sub> mínima para el crecimiento es de 0,94 en el caso de las cepas proteolíticas y de 0,97 para las no proteolíticas, si bien el valor puede verse afectado por el tipo de sustrato (menor con glicerol que con NaCl) o alimento.

**Tabla 5.** Condiciones marginales para el crecimiento de *Clostridium botulinum*

<b>Condiciones</b>	<b>Cepas proteolíticas</b>	<b>Cepas no proteolíticas</b>
Valor mínimo de actividad de agua (a <sub>w</sub> )	0,935	0,970
Valor mínimo de pH	4,6	5,0
Valor máximo de pH	9,0	9,0
Concentración máxima de NaCl	10 %	5 %
Temperatura mínima	10-12 °C	3,3 °C
Temperatura máxima	50 °C	45 °C

**Fuente:** (Chaidoutis et al., 2022).

#### 4.4 Efecto de los conservadores alimentarios

Para controlar el riesgo de botulismo, podría ser de interés recurrir al empleo de ciertos aditivos alimentarios cuyo uso, además de efectivo, debe encontrarse permitido por la legislación de aplicación, y estará condicionado, entre otros motivos, por el tipo de alimento de que se trate. Por ejem-

plo, en el caso de algunos productos cárnicos, como el jamón, la utilización de nitratos y nitritos ha demostrado ser una estrategia eficaz. Sin embargo, y a pesar de las ventajas de estos compuestos, su empleo plantea algunos inconvenientes, como el hecho de que pueden reaccionar con aminas secundarias, resultando en la formación de N-nitrosaminas, sustancias con potencial actividad carcinogénica (Chaidoutis et al., 2022) (Munir et al., 2023). Por ello, el empleo y la concentración de uso máxima para estos aditivos está limitado en la legislación.

Además de los nitratos y nitritos existen otros aditivos que, como se ha señalado anteriormente, dependiendo del alimento en cuestión, podrían utilizarse como conservadores, entendiéndose como tales aquellas sustancias que prolongan la vida útil de los alimentos, protegiéndolos del deterioro causado por microorganismos o que protegen del crecimiento de microorganismos patógenos.

Los aditivos alimentarios autorizados y sus condiciones de uso en la elaboración de los alimentos se establecen en el Reglamento (CE) N° 1333/2008 sobre aditivos alimentarios (UE, 2008). Más concretamente, las condiciones de uso se identifican en la parte E del anexo II del dicho reglamento, que se organiza en categorías alimentarias, de tal manera, que para conocer los aditivos cuyo empleo se permite en un alimento en particular, es imprescindible conocer la categoría alimentaria en la que dicho alimento se clasifica.

#### 4.5 Efecto de la temperatura

La temperatura de crecimiento óptima de *C. botulinum* Grupo I es de 35-40 °C (Liu, 2024). En el caso de las cepas de este Grupo, la temperatura mínima de crecimiento es de 10 °C (12 °C, según algunos autores) (Tablas 2, 4, 5, 6 y 7). Las cepas del Grupo II presentan una temperatura óptima de crecimiento de 26-28 °C, y la particularidad de que pueden crecer y producir toxina a 3 °C (incluso a temperaturas inferiores, Tabla 7). Por ello, estas cepas constituyen el principal riesgo en relación con *C. botulismo* en alimentos refrigerados almacenados en condiciones anaerobias.

<b>Tabla 6.</b> Características de los Grupos I y II de <i>Clostridium botulinum</i>		
<b>Característica</b>	<b><i>C. botulinum</i> tipo I (<i>C. botulinum</i> proteolítico)</b>	<b><i>C. botulinum</i> tipo II (<i>C. botulinum</i> no proteolítico)</b>
Neurotoxinas formadas	A, B, F, H <sup>a</sup>	B, E, F
Proteólisis <sup>b</sup>	+	-
Temperatura mínima de crecimiento	12 °C	3 °C
Temperatura óptima de crecimiento	37 °C	30 °C
Valor mínimo de pH para el crecimiento	4,6	5,0
Concentración de NaCl que previene el crecimiento	10 %	5 %
Actividad de agua (a <sub>w</sub> ) mínima (con NaCl) para el crecimiento	0,94	0,97
Actividad de agua (a <sub>w</sub> ) mínima (con glicerol) para el crecimiento	0,93	0,94
Termorresistencia de las esporas <sup>c</sup>	D <sub>121</sub> = 0,21 minutos	D <sub>82,2</sub> = 2,4/231 minutos <sup>d</sup>
<i>Clostridium</i> no neurotóxico equivalente	<i>Clostridium sporogenes</i>	

<sup>a</sup>Se puede formar más de un tipo de toxina; tipo de neurotoxina H no verificada en el momento de la edición

de la Tabla. <sup>b</sup>La proteólisis denota la capacidad para degradar proteínas nativas (por ejemplo, clara de huevo coagulada, carne cocida, caseína). Tanto *C. botulinum* Grupo I como *C. botulinum* Grupo II pueden degradar la gelatina. <sup>c</sup>Tiempo de reducción decimal (valor D, es decir, el tiempo para lograr una reducción decimal en esporas viables) a una temperatura determinada especificada en tampón fosfato (pH 7,0). <sup>d</sup>Valor D sin/con lisozima durante la recuperación. **Fuente:** (Carter y Peck, 2015).

<b>Tabla 7.</b> Condiciones para el crecimiento, supervivencia y producción de toxinas en cepas de <i>Clostridium botulinum</i> de interés en seguridad alimentaria			
<b>Característica</b>	<b>Condiciones ambientales</b>	<b>Cepas del Grupo I</b>	<b>Cepas del Grupo II</b>
Crecimiento de las células vegetativas	Temperatura óptima (°C)	35-40	18-25
	Rango de temperaturas (°C)	10-48	1,5-45
	Valor de pH óptimo	7,0	7,0
	Rango de valores de pH	4,6-9,0	5,0-9,0
	Actividad de agua ( $a_w$ ) mínima con NaCl	0,94	0,97
	Actividad de agua ( $a_w$ ) mínima con glicerol	0,93	0,94
	% de NaCl que previene el crecimiento	$\geq 10$	$\geq 5$
Resistencia de las esporas	Calor	$D_{121} = 0,04-0,72$	$D_{80} = 0,23-2,63$
		$Z \sim 10$ °C	
	Congelación	Sí	Sí
Estabilidad de las toxinas	Calor	Desnaturalización tras 10 minutos a 100 °C o 30 minutos a 80 °C	
	Congelación	Estable incluso tras 3 descongelaciones y congelaciones	
	pH	Más estable en condiciones fuertemente ácidas <sup>a</sup>	

<sup>a</sup>En general, las toxinas son más estables en alimentos ácidos, como salsa de tomate a pH 4,2, que en alimentos de baja acidez, como maíz enlatado a pH 6,2. **Fuente:** (Munir et al., 2023).

## 5. Valoración del riesgo de *C. botulinum* relacionado con el consumo de alimentos envasados al vacío o en atmósferas modificadas sometidos o no a tratamientos de pasteurización post-ensado

El botulismo transmitido por alimentos se produce tras la ingestión de una cierta cantidad de BoNT generada una vez que las esporas de *C. botulinum* germinan y comienzan a multiplicarse en el alimento. Debido a la gravedad de la enfermedad, en la práctica, no se contempla un nivel aceptable de toxina de *C. botulinum* en los alimentos. Y, aunque la producción de toxina está asociada con la proliferación de *C. botulinum*, es difícil determinar con precisión la concentración final en el alimento por lo que, generalmente, la gestión del riesgo se basa en establecer márgenes de seguridad en base a la probabilidad de supervivencia, germinación y crecimiento de esporas de *C. botulinum*. En este sentido, la formulación del alimento, así como las condiciones de distribución y almacenamiento, son factores clave para disminuir el riesgo de *C. botulinum*.

De forma general, los productos catalogados como V gama se comercializan tras la aplicación

de un tratamiento térmico y suelen precisar de un calentamiento previo al consumo. Algunos de estos platos preparados se pueden conservar a temperatura ambiente, por lo que se asocian a una vida útil más prolongada y, por tanto, y en función de las diferentes medidas de control aplicadas, podrían ser más susceptibles de presentar crecimiento de *C. botulinum* (Membré et al., 2015). En condiciones de refrigeración, la generación de toxina está causada solamente por cepas no proteolíticas, pudiendo constituir también un problema de seguridad alimentaria (Peck et al., 2006). A pesar de que la toxina botulínica tiene una termorresistencia moderada (80 °C, 30 minutos) en comparación con la espora, un calentamiento previo al consumo, con frecuencia resulta insuficiente para la inactivación de la toxina, con el consiguiente riesgo de intoxicación alimentaria en caso de ingestión de una cantidad suficientemente elevada. Esto hace que los tratamientos térmicos a nivel doméstico no constituyan una medida efectiva para la mitigación del riesgo asociado al botulismo.

Hauschild y Simonsen (1986) estimaron el margen de seguridad en niveles de probabilidad de germinación y crecimiento de esporas de *C. botulinum* proteolítico en productos cárnicos curados de entre  $<10^{-7}$  y  $10^{-8}$ . En su estudio, los citados autores se basaron en la utilización de datos procedentes de industrias con respecto al número de unidades contaminadas por lote a lo largo de los años, junto con la información epidemiológica de los casos de botulismo por alimentos. Esta información puede proporcionar una evaluación significativa de los riesgos reales de esos productos en el pasado y, en caso de que no se hayan reportado casos de botulismo, se podría demostrar que los controles utilizados fueron válidos y llevaron a un producto seguro. Así mismo, Pflug (1987) estimó una probabilidad de  $10^{-9}$  en aquellos alimentos conservados a temperatura ambiente que pueden favorecer el crecimiento y producción de toxina por parte de *C. botulinum*.

Peck et al. (2006) utilizaron el mismo enfoque para *C. botulinum* no proteolítico en alimentos refrigerados, incluyendo carne fresca envasada en atmósfera modificada y al vacío, con una vida útil máxima de 10 días a  $\leq 8$  °C y sin otros controles específicos adicionales (pH,  $a_w$ , NaCl, etc.), aparte de la temperatura de almacenamiento y la vida útil. En el citado estudio, se estableció que entre 1986 y 2005 se habían comercializado un total de  $8,3 \times 10^9$  unidades en esas condiciones (vida útil máxima de 10 días a  $\leq 8$  °C) sin haberse reportado casos de botulismo, por lo que se deduce que la probabilidad de aparición de una unidad con presencia de toxina era igual o inferior a  $1,58 \times 10^{-10}$  para alimentos refrigerados con una vida útil máxima de 10 días a  $\leq 8$  °C. Estas condiciones han servido de base para el establecimiento de la vida útil bajo el principio de "10-day rule", ya que la formación de toxina por parte de cepas no proteolíticas de *C. botulinum* se origina en un tiempo de, al menos, 10 días y a una temperatura  $\leq 8$  °C (ACMSF, 2006). Este hecho fue posteriormente demostrado por Peck et al. (2020) en carne fresca envasada y almacenada a una temperatura de entre 3 y 8 °C. Sus resultados mostraron que la cantidad de toxina estuvo por debajo del límite de detección en aquellas muestras almacenadas durante más de 25 días.

Según la información disponible en los estudios de evaluación de riesgos, la proporción de unidades contaminadas de un lote es normalmente muy baja, lo que hace disminuir considerablemente el riesgo asociado a la producción de toxina por parte de *C. botulinum*. Por tanto, considerando un seguimiento de buenas prácticas de higiene, junto con el control de calidad de las materias primas, y unas condiciones adecuadas de conservación (tiempo y temperatura), el riesgo debería ser bajo

o muy bajo. Sin embargo, es necesario considerar la probabilidad de supervivencia de *C. botulinum* en función de factores ambientales asociados a la formulación del producto y condiciones de conservación.

Dada la existencia de múltiples factores asociados a la producción de toxina por parte de *C. botulinum*, hasta la fecha son escasos los estudios que abordan una evaluación de riesgos completa para este patógeno, siendo la mayoría de ellos relacionados con cepas no proteolíticas.

Uno de los primeros enfoques fue establecido por Barker et al. (2002), quienes desarrollaron modelos para la estimación del crecimiento de *C. botulinum* en función de diversos factores tales como temperatura, pH, NaCl, fase de latencia, concentración de inóculo y tiempo de almacenamiento. Este enfoque se ejemplificó posteriormente en una evaluación de exposición de *C. botulinum* no proteolítico en un alimento pasteurizado a base de patata (80 °C, 1 minuto) (Barker et al., 2005). En base a ello, se establecieron distintos márgenes de seguridad. Se obtuvo una probabilidad de presencia de toxina de  $10^{-9}$  en envases almacenados durante 75 días a 20 °C en presencia de ácido sórbico. En el caso de un almacenamiento a temperaturas de 8 y 12 °C, dicha probabilidad se reduce a valores inferiores a  $10^{-11}$ .

Por otro lado, Peck et al. (2008) realizaron una revisión de los factores asociados al crecimiento y producción de toxina por parte de *C. botulinum* no proteolítico en alimentos refrigerados de vida útil corta. Los autores concluyeron que el riesgo de botulismo está relacionado con el control de factores difíciles de cuantificar, y que presentan una alta variabilidad en función de la cepa, tipo de alimento y condiciones de elaboración, tales como estado higiénico de las materias primas, inactivación o daño celular producido por el tratamiento térmico, o condiciones de almacenamiento.

Malakar et al. (2011) desarrollaron una evaluación cuantitativa del riesgo de *C. botulinum* no proteolítico en postres lácteos refrigerados. Entre otros factores, se consideró la variabilidad en la destrucción de esporas debida al tratamiento térmico. Los resultados mostraron que la probabilidad de obtener unidades con presencia de esporas fue muy baja ( $9,4 \times 10^{-5}$  y  $8,0 \times 10^{-6}$ ), considerando valores D de 0,03 y 0,24 minutos a 95 °C, respectivamente. Para aquellas unidades contaminadas, el tiempo de producción de toxina dependió de la temperatura de almacenamiento, oscilando entre 8 y 26 días a 4 °C, y entre 3 y 9 días a 7 °C. El tiempo de reducción decimal y la temperatura de almacenamiento por parte del consumidor fueron los factores más determinantes sobre el riesgo asociado a *C. botulinum* no proteolítico en este tipo de productos.

Otros estudios relacionados con cepas proteolíticas de *C. botulinum* fueron desarrollados por Membré et al. (2015), quienes realizaron una evaluación cuantitativa del riesgo en paté en conserva estable a temperatura ambiente. El modelo se construyó utilizando un tratamiento térmico suficientemente representativo para dicho producto (con un valor de letalidad o  $F_0$  establecido en 0,5 minutos, con o sin adición de nitrito). Los resultados obtenidos mostraron que la probabilidad de enfermedad por habitante por año fue muy baja ( $8,0 \times 10^{-10}$ ), corroborándose con el análisis de los datos epidemiológicos. Por lo tanto, la práctica industrial de producción de *foie gras* en conserva se consideró adecuada para controlar el riesgo de *C. botulinum* proteolítico, con tratamientos térmicos equivalentes a una temperatura de 105 °C.

Combinando la información obtenida de las evaluaciones de riesgos, junto con datos epidemio-

lógicos, se pueden establecer los llamados Objetivos de Seguridad Alimentaria (FSO, *Food Safety Objectives*), definidos como “la frecuencia máxima y la concentración máxima de un peligro en un alimento al momento del consumo, que provee o contribuye al nivel adecuado de protección (ALOP, *Appropriate Level Of Protection*)” (ICMSF, 2002). En este sentido, Anderson et al. (2011) consideraron que, teniendo en cuenta un nivel de contaminación medio de  $10^3$  esporas de *C. botulinum* por unidad de producto, y un tratamiento de inactivación que garantice la eliminación de 12 log, el FSO se puede establecer en -9,0 log/unidad de producto, es decir que, en un lote de  $10^9$  unidades, no existe ninguna espora capaz de sobrevivir, germinar y crecer para producir toxina. Utilizando este razonamiento, los autores establecieron una serie de métricas relacionadas con valores de FSO en determinados alimentos tratados térmicamente (legumbres en conserva, fiambre de carne, salsa pesto y queso de untar), en función de la intensidad del tratamiento térmico y formulación (Tabla 8). Para ello, aplicaron la inecuación propuesta por ICMSF (2002), donde  $H_0$  es el término que refleja la contaminación inicial de cada una de las unidades del lote ( $\log N_0/\text{unidad}$ ),  $\Sigma R$  es el sumatorio de las reducciones como consecuencia de los tratamientos de inactivación ( $\log N_0/N_R$ ), y  $\Sigma I$  es el sumatorio de los incrementos de la concentración del patógeno ( $\log N_f/N_0'$ ):

$$H_0 - \Sigma R + \Sigma I \leq \text{FSO} \quad \text{Ecuación 1}$$

Mediante esta fórmula, se pueden proponer valores de FSO que se pueden traducir en la probabilidad de aparición de unidades en un lote que puedan estar relacionadas con casos de botulismo.

Product	$H_0$	$\Sigma R$	$\Sigma I$	FSO	Medidas de control
Alubias en conserva	1,2	7,2	0,0	-6,0	$F_0^* = 1,3$ (minutos)
Alubias en conserva	1,2	10,2	0,0	-9,0	$F_0 = 1,9$ (minutos)
Fiambre de carne	-1,7	3,0	-3,3	-8,0	$F_0 = 0,6$ (minutos); pH= 7,0; NaCl= 4,5 %; Nitrito= 150 ppm
Fiambre de carne	-1,7	3,0	-4,3	-9,0	$F_0 = 0,6$ (minutos); pH= 6,5; NaCl= 5,5 %; Nitrito= 150 ppm
Salsa pesto	2,3	0,0	-7,0	>-4,7	pH= 4,6
Salsa pesto	2,3	0,0	-2,0	0,3	pH= 4,75
Queso de untar	-1,6	0,0	-4,4	-6,0	pH= 5,6; NaCl+Na <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> = 4,5 %; humedad= 56 %
Queso de untar	-1,6	0,0	-4,4	-6,0	pH= 6,0; NaCl+Na <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> = 5,0 %; humedad= 54 %

\* $F_0$ = valor de letalidad (minutos) equivalente a un tratamiento de 121 °C. **Fuente:** (Anderson et al., 2011).

En cualquier caso, los valores obtenidos en las evaluaciones de riesgo de *C. botulinum* publicadas hasta la fecha indican una probabilidad baja o muy baja de aparición de unidades contaminadas, asumiendo que se siguen unas prácticas industriales adecuadas a nivel de control de materias primas, formulación, tratamientos de inactivación y condiciones de distribución y almacenamiento. No obstante, las características de las cepas de *C. botulinum* que pueden proliferar en alimentos sometidos a



pasteurización y conservados en refrigeración, así como la variabilidad en los patrones de comportamiento de los consumidores, deben tenerse en cuenta de cara al establecimiento de medidas de prevención adecuadas frente al botulismo. El conocimiento de los factores que inducen la supervivencia, germinación, crecimiento y producción de toxina por parte de *C. botulinum* en cada tipo de alimento particular se antoja fundamental para poder desarrollar estrategias efectivas de mitigación del riesgo.

## 6. Medidas de control

### 6.1 Tratamiento térmico

El tratamiento térmico es el método más efectivo para la inactivación de esporas de *C. botulinum*. Sin embargo, la termotolerancia de estas esporas varía tanto entre Grupos como dentro de ellos. En general, las esporas de *C. botulinum* se encuentran entre las más termorresistentes de aquellas producidas por microorganismos patógenos. De hecho, en los productos comercialmente estériles, el tratamiento se establece con el objetivo de conseguir 12 reducciones decimales (12D) de *C. botulinum* (ANSES, 2021).

De forma general, la resistencia de las células vegetativas y las esporas de las cepas proteolíticas (Grupo I) es mayor que las de las cepas no proteolíticas (Grupo II) (ANSES, 2010). Tradicionalmente, se ha establecido un tiempo de 0,21 minutos a 121,1 °C (Esty y Meyer, 1922) como el necesario para reducir la carga de *C. botulinum* en 1 ciclo logarítmico ( $D_{121,1}$ ). Estudios más recientes han confirmado el valor. Un metaanálisis realizado utilizando 23 artículos científicos (394 valores D recogidos) determinó un valor medio  $D_{121,1}$  de 0,20 minutos, con una desviación estándar de 0,11 minutos, y valores individuales de hasta 0,48 minutos (Diao et al., 2014). Adicionalmente, en base a este valor se establece el concepto de "cocción botulínica mínima", que supone un tratamiento térmico en el punto más frío del alimento de 3 minutos a 121,1 °C, o cualquier combinación de letalidad (F) equivalente. Estas combinaciones tiempo-temperatura resultan en 12 reducciones logarítmicas de *C. botulinum* (Grupo I), siendo, actualmente, el baremo estándar establecido para la esterilización de conservas de baja acidez (concepto de 12D). En el caso de *C. botulinum* Grupo II, un tratamiento térmico de 90 °C durante 10 minutos (6D) es suficiente (ACMSF, 1992) para conseguir la esterilización comercial. Este tratamiento térmico es el recomendado para la conservación de alimentos de V gama refrigerados y envasados al vacío o en atmósferas modificadas (REFED) (ACMSF, 1992).

Las toxinas botulínicas, tienen una termoestabilidad menor, inactivándose tras tratamientos térmicos (temperaturas y tiempos) que varían según los autores, siendo los valores recogidos en la bibliografía de 85 °C durante 5 minutos (Chaidoutis et al., 2022) (Rawson et al., 2023), de 100 °C durante 10 minutos o de 80 °C durante 30 minutos (Poulain y Papoff, 2019). Hay que señalar que esta variabilidad puede deberse a varios factores, como la composición del medio o el tipo de cepa (Munir et al., 2023).

### 6.2 Efecto de los conservadores alimentarios

Durante siglos, la conservación de carne y pescado se ha basado en el uso de conservadores (nitritos y nitratos de sodio, fundamentalmente). Sin embargo, debido a preocupaciones sobre la posible formación de compuestos carcinógenos como las N-nitrosaminas a partir de derivados de estos

compuestos, se han identificado alternativas a partir de sorbato de potasio, ciertos polifosfatos (Nelson et al., 1983) y lactato de sodio (Meng y Genigeorgis, 1993) (Houtsma et al., 1994). Notermans et al. (1985) demostraron que una combinación de ácido ascórbico y ácido cítrico podría inhibir la formación de toxinas en patatas cocidas envasadas al vacío, mejorando la inocuidad incluso bajo condiciones de abuso de temperatura. En conjunto, estos estudios destacan el potencial de diversos aditivos para desarrollar efectos que contribuyen a controlar el crecimiento de *C. botulinum* y la producción de toxinas en diferentes alimentos. El empleo de aditivos alimentarios durante la elaboración de alimentos se encuentra estrictamente regulado en la Unión Europea mediante el ya previamente mencionado Reglamento (CE) N° 1333/2008 (UE, 2008).

### 6.3 Otros tratamientos

En los últimos 30 años, se ha llevado a cabo un esfuerzo importante en investigación sobre tecnologías alternativas al tratamiento térmico para la conservación de alimentos. Tal es el caso de las altas presiones hidrostáticas (HPP, *High Pressure Processing*), los pulsos eléctricos de alta intensidad (PEF, *Pulse Electric Field*), la radiación ionizante (IR, *Ionizing Radiation*) o recientemente el plasma frío (CP, *Cold Plasma*).

En la actualidad, el grado de desarrollo de cada una de ellas es variable. En el caso de las altas presiones hidrostáticas, la tecnología está completamente implantada a nivel industrial como proceso para la pasteurización de alimentos (eliminación de las células vegetativas de microorganismos patógenos). Sin embargo, la capacidad de esta tecnología para inactivar esporas bacterianas con los desarrollos industriales actuales, es limitada. Se requieren valores de presión por encima de los actualmente establecidos por la industria o en combinación con temperaturas de más de 80 °C para poder encontrar reducciones logarítmicas de esporas bacterianas considerables desde el punto de vista comercial (Munir et al., 2023).

En el caso de los pulsos eléctricos de alta intensidad, las investigaciones llevadas a cabo ponen de manifiesto la poca efectividad de esta tecnología para inactivar esporas microbianas (Soni et al., 2020) (Qiu et al., 2022).

La radiación ionizante sí que ha mostrado efectividad para la inactivación de las esporas bacterianas, y sus efectos pueden observarse en forma de daños estructurales, contenido citoplasmático derramado, reducción de la integridad de la membrana y fragmentación del ADN genómico (Fietser et al., 2012). Sin embargo, su aplicación como tecnología de conservación es un tema controvertido en la Unión Europea, debido a preocupaciones sobre su seguridad, los posibles efectos en la calidad nutricional y sensorial de los alimentos, y el impacto en la salud humana. Su uso está autorizado en España y en el resto de Estados miembros de la Unión Europea para hierbas aromáticas, especias y condimentos vegetales (secos), si bien algunos países de la Unión Europea permiten también la irradiación de otros productos.

La aplicación del plasma frío a la conservación de alimentos está actualmente en estudio. Los resultados descritos hasta el momento ponen de manifiesto el potencial de esta tecnología para la inactivación de esporas bacterianas (Liao et al., 2019) (Valdez-Narváez et al., 2024), sin embargo, no se han encontrado estudios centrados en la inactivación de esporas de *C. botulinum*, por lo que todavía no es posible establecer conclusiones específicas al respecto.

## Conclusiones del Comité Científico

La gestión del riesgo de botulismo se basa en establecer márgenes de seguridad en función de la probabilidad de supervivencia, germinación y crecimiento de las esporas de *C. botulinum* formadoras de BoNT.

En el caso de alimentos esterilizados (conservas), el tratamiento térmico aplicado es suficiente para inactivar las esporas de *C. botulinum*. Por lo tanto, siempre que no haya fallos en el procesado ni en el envasado, son alimentos seguros independientemente de su formulación, temperatura y tiempo de almacenamiento.

En el caso de alimentos con tratamientos térmicos más suaves (cocinado y/o pasteurización térmica), como los de V gama refrigerados, envasados al vacío, listos para su consumo o que requieren solamente un ligero calentamiento previo, el riesgo de botulismo dependerá en gran medida del seguimiento de unas buenas prácticas higiénicas a lo largo del proceso de elaboración. Asimismo, es de especial importancia el establecimiento de medidas de control que impidan el desarrollo de *C. botulinum* tanto a nivel de la formulación del alimento (pH,  $a_w$ , concentración de NaCl o algún tipo de agente antimicrobiano), como del control estricto del tiempo y la temperatura de almacenamiento del alimento (por debajo de 4 °C, idealmente por debajo de 3,3 °C). Además, el consumidor debe adherirse a las instrucciones de conservación y consumo proporcionadas por el productor.

## Referencias

- Abrahamsson, K. y Riemann, H. (1971). Prevalence of *Clostridium botulinum* in semi-preserved meat products. *Applied Microbiology*, 21, pp: 543-544.
- ACMSF (1992). Advisory Committee on the Microbiological Safety of Food. Food Standards Agency. Report on vacuum packaging and associated processes. Disponible en: [https://acmsf.food.gov.uk/sites/default/files/mnt/drupal\\_data/sources/files/multimedia/pdfs/acmsfvacpackreport.pdf](https://acmsf.food.gov.uk/sites/default/files/mnt/drupal_data/sources/files/multimedia/pdfs/acmsfvacpackreport.pdf) [acceso 8-08-24].
- ACMSF (2006). Advisory Committee on the Microbiological Safety of Food. Food Standards Agency. Report on Minimally Processed Infant Weaning Foods and the Risk of Infant Botulism. Disponible en: [https://acmsf.food.gov.uk/sites/default/files/mnt/drupal\\_data/sources/files/multimedia/pdfs/committee/acmsfar2006.pdf](https://acmsf.food.gov.uk/sites/default/files/mnt/drupal_data/sources/files/multimedia/pdfs/committee/acmsfar2006.pdf) [acceso: 3-08-24].
- ACMSF (2024). Advisory Committee on the Microbiological Safety of Food. Food Standards Agency. Report on Botulinum Neurotoxin-Producing Clostridia. Disponible en: <https://doi.org/10.46756/sci.fsa.ozk974> [acceso: 3-08-24].
- Anderson, N.M., Larkin, J.W., Cole, M.B., Skinner, G.E., Whiting, R.C., Gorris, L.G.M., Rodriguez, A., Buchanan, R., Stewart, C.M., Hanlin, J.H., Keener, L. y Hall, P.A. (2011). Food Safety Objective approach for controlling *Clostridium botulinum* growth and toxin production in commercially sterile foods. *Journal of Food Protection*, 74, pp: 1956-1989.
- Anon (2002). Two outbreaks of botulism associated with fermented salmon roe - British Columbia - August 2001. *Canada Communicable Disease Report*, 28, pp: 1-4.
- ANSES (2010). Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. *Clostridium botulinum*, and Neurotoxicogenic Clostridia (Saisine n° 2016-SA-0074). Disponible en: <https://www.anses.fr/fr/system/files/MIC2010sa0234FIEN.pdf> [acceso: 3-08-24].
- ANSES (2019). Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Fiche de description de danger biologique transmissible par les aliments: *Clostridium botulinum*, *Clostridium neuro-*

- toxinogènes* (Saisine n° 2016-SA-0074). Disponible en: <https://www.anses.fr/fr/system/files/BIORISK2016SA-0074Fi.pdf> [acceso: 3-08-24].
- ANSES (2021). Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. *Clostridium botulinum*: Mise à jour des connaissances sur les différentes formes des types C, D, mosaïque C/D et D/C et E (Saisines 2019-SA-0112 à 2019-SA-0115) Disponible en: <https://www.anses.fr/fr/system/files/SABA-2019SA0114Ra.pdf> [acceso: 3-08-24].
- Artin, I., Carter, A.T., Holst, E., Lövenklev, M., Mason, D.R., Peck, M.W. y Rådström, P. (2008). Effects of carbon dioxide on neurotoxin gene expression in nonproteolytic *Clostridium botulinum* type E. *Applied and Environmental Microbiology*, 74, pp: 2391-2397.
- Barker, G.C., Talbot, N.L.C. y Peck, M.W. (2002). Risk assessment for *Clostridium botulinum*: a network approach. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 50, pp: 167-175.
- Barker, G.C., Malakar, P.K., Del Torre, M., Stecchini, M.L. y Peck, M.W. (2005). Probabilistic representation of the exposure of consumers to *Clostridium botulinum* neurotoxin in a minimally processed potato product. *International Journal of Food Microbiology*, 100, pp: 345-357.
- Cai, P., Harrison, M.A., Huang, Y.W. y Silva, J.L. (1997). Toxin Production by *Clostridium botulinum* Type E in Packaged Channel Catfish. *Journal of Food Protection*, 60 (11), pp: 1358-1363.
- Camerini, S., Marcocci, L., Picarazzi, L., Iorio, E., Ruspantini, I., Pietrangeli, P., Crescenzi, M. y Franciosa, G. (2019). Type E Botulinum Neurotoxin-Producing *Clostridium butyricum* Strains Are Aerotolerant during Vegetative Growth. *mSystems*, 4 (2): e00299-18, pp: 1-16.
- Carlin, F., Broussolle, V., Perelle, S., Litman, S. y Fach, P. (2004). Prevalence of *Clostridium botulinum* in food raw materials used in REPFEDs manufactured in France. *International Journal of Food Microbiology*, 91, pp: 141-145.
- Carter, A.T. y Peck, M.W. (2015). Genomes, neurotoxins and biology of *Clostridium botulinum* Group I and Group II. *Research in Microbiology*, 166, pp: 303-317.
- CDC (2001). U.S. Centers for Disease Control and Prevention. Botulism. Disponible en: <https://www.cdc.gov/botulism/index.html> [acceso: 13-06-24].
- CDC (2024). U.S. Centers for Disease Control and Prevention. Botulism; Epidemiological Overview for Clinicians. Disponible en: <https://www.emergency.cdc.gov/agent/botulism/clinicians/epidemiology.asp> [acceso: 23-06-24].
- Chai, E., Choi, E., Guitierrez, C., Melvin Hochman, M. y Johnkutty, S. (2013). Botulism associated with home-fermented tofu in two Chinese immigrants - New York City, March-April 2012y. *MMWR, Morbidity and Mortality Weekly Report*, 62, pp: 529-532.
- Chaidoutis, E., Keramydas, D., Papalexis, P., Migdanis, A., Migdanis, I., Lazaris, A.C. y Kavantzias, N. (2022). Foodborne botulism: A brief review of cases transmitted by cheese products (Review). *Biomededical Reports*, 16, pp: 41.
- Corsalini, M., Inchingolo, F., Dipalma, G., Wegierska, A., Charitos, I.A., Potenza, M.A., Scarano, A., Lorusso, F., Inchingolo, A.D., Montagnani, M. y Santacroce, L. (2021). Botulinum neurotoxins (BoNTs) and their biological, pharmacological, and toxicological issues: A scoping review. *Applied Sciences*, 11: 8849, pp: 1-14.
- Daifas, D.P., Smith, J.P., Blanchfield, B. y Austin, J.W. (1999). Growth and Toxin Production by *Clostridium botulinum* in English-style Crumpets Packaged Under Modified Atmospheres. *Journal of Food Protection*, 62 (4), pp: 349-355.
- Diao, M.M., André, S. y Membré, J.M. (2014). Meta-analysis of D-values of proteolytic *Clostridium botulinum* and its surrogate strain *Clostridium sporogenes* PA 3679. *International Journal of Food Microbiology*, 174, pp: 23-30.
- Dodds, K.L. (1993). *Clostridium botulinum* in foods. En libro: *Clostridium botulinum: Ecology and Control in Foods*. Nueva York. CRC Press, pp: 53-68.

- Dressler, D. (2005). Botulismus durch Raucherlachsverzehr. *Der Nervenarzt*, 76, pp: 763-766.
- ECDC (2023). Centro Europeo para la Prevención y Control de Enfermedades. Botulism. Annual Epidemiological Report for 2020. Disponible en: <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/botulism-annual-epidemiological-report-2020.pdf> [acceso: 23-06-24].
- ECDC (2024). Centro Europeo para la Prevención y Control de Enfermedades. Botulism. Annual Epidemiological Report for 2021. Disponible en: [https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/BOTU\\_AER\\_2021\\_Report\\_FINAL.pdf](https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/BOTU_AER_2021_Report_FINAL.pdf) [acceso: 23-06-24].
- ECDC/EFSA (2016). Centro Europeo para la Prevención y Control de Enfermedades/Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria. Type E botulism associated with fish product consumption - Germany and Spain. *EFSA Supporting publication*, EN-1157, pp: 1-9.
- Eriksen, T., Brantsaeter, A.B., Kiehl, W. y Steffens, I. (2004). Botulism infection after eating fish in Norway and Germany: two outbreak report. *Eurosurveillance Weekly*, 8, pp: 1-2.
- Erickson, M.C., Ma, L.M. y Doyle, M.P. (2015). *Clostridium botulinum* Toxin Production in Relation to Spoilage of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Packaged in Films of Varying Oxygen Permeabilities and with Different Atmospheres. *Journal of Food Protection*, 78 (11), pp: 2006-2018.
- Espelund, M. y Klavness, D. (2014). Botulism outbreaks in natural environments - an update. *Frontiers in Microbiology*, 5: 287, pp: 1-7.
- Esty, J.R. y Meyer, K.F. (1922). The heat resistance of the spores of *B. botulinus* and allied anaerobes. XI. *The Journal of Infectious Diseases*, 31, pp: 650-663.
- Fiester, S.E., Helfinstine, S.L., Redfearn, J.C., Uribe, R.M. y Woolverton, C.J. (2012). Electron Beam Irradiation Dose Dependently Damages the *Bacillus* Spore Coat and Spore Membrane. *International Journal of Microbiology*, 2012: 579593, pp: 1-9.
- Finegold, S.M., Song, Y. y Liu, C. (2002). Taxonomy-General comments and update on taxonomy of Clostridia and Anaerobic cocci. *Anaerobe*, 8 (5), pp: 283-285.
- Hauschild, A.H.W. y Simonsen, B. (1986). Safety assessment for shelf-stable canned cured meats - an unconventional approach. *Food Technology*, 40, pp: 155-158.
- Hauschild, A.H.W. (1989). *Clostridium botulinum*. En libro: *Foodborne Bacterial Pathogens*. Nueva York. M. Dekker, pp: 111-189.
- Hielm, S., Björkroth, J., Hyytiä, E. y Korkeala, H. (1998). Prevalence of *Clostridium botulinum* in Finnish trout farms: pulsed-field gel electrophoresis typing reveals extensive genetic diversity among type E isolates. *Applied and Environmental Microbiology*, 64 (11), pp: 4161-4167.
- Houtsma, P.C., Heuvelink, A., Dufrenne, J. y Notermans, S. (1994). Effect of sodium lactate on toxin production, spore germination and heat resistance of proteolytic *Clostridium botulinum* strains. *Journal of Food Protection*, 57 (4), pp: 327-330.
- ICMSF (2002). Comisión Internacional de Especificaciones Microbiológicas para Alimentos. En libro: *Microorganisms in food 7. Microbiological testing in food safety management*. Nueva York. Kluwer Academic/Plenum.
- Johnson, E.A. y Montecucco, C. (2008). Botulism. En libro: *Handbook of Clinical Neurology*, Volumen 91. Amsterdam. Elsevier, pp: 333-368.
- Lawson, P.A. y Rainey, F.A. (2016). Proposal to restrict the genus *Clostridium* (Prazmowski) to *Clostridium butyricum* and related species. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 66, pp: 1009-1016.
- Liao, X., Muhammad, A.I., Chen, S., Hu, Y., Ye, X., Liu, D. y Ding, T. (2019). Bacterial Spore Inactivation Induced by Cold Plasma. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59, pp: 2562-2572.
- Liu, D. (2024). Chapter 45 - *Clostridium botulinum* and associated neurotoxins. En libro: *Molecular Medical Microbiology*. 3ª edición. Londres. Academic Press, pp: 933-944.
- Long, S.C. y Tauscher, T. (2006). Watershed issues associated with *Clostridium botulinum*: a literature review. *Journal of Water and Health*, 4, pp: 277-288.

- Mackle, I.J., Halcomb, E. y Parr, M.J.A. (2001). Severe Adult Botulism. *Anaesthesia and Intensive Care*, 29 (3), pp: 297-300.
- Malakar, P.K., Barker, G.C. y Peck, M.W. (2011). Quantitative risk assessment for hazards that arise from non-proteolytic *Clostridium botulinum* in minimally processed chilled dairy-based foods. *Food Microbiology*, 28, pp: 321-330.
- McLaughlin, J.B. (2004). Botulism type E outbreak associated with eating a beached whale, Alaska. *Emerging Infectious Diseases*, 10 (9), pp: 1685-1687.
- Membré, J.M., Diao, M., Thorin, C., Cordier, G., Zuber, F. y André, S. (2015). Risk assessment of proteolytic *Clostridium botulinum* in canned foie gras. *International Journal of Food Microbiology*, 210, pp: 62-72.
- Meng, J. y Genigeorgis, C.A. (1993). Modeling lag phase of nonproteolytic *Clostridium botulinum* toxigenesis in cooked turkey and chicken breast as affected by temperature, sodium lactate, sodium chloride and spore inoculum. *International Journal of Food Microbiology*, 19 (2), pp: 109-122.
- Meurens, F., Carlin, F., Federighi, M., Filippitzi, M.E., Fournier, M., Fravallo, P., Ganière, J.P., Grisot, L., Guillier, L., Hilaire, D., Kooh, P., Le Bouquin-Leneveu, S., Le Maréchal, C., Mazuet, C., Morvan, H., Petit, K., Vaillancourt, J.P. y Woudstra, C. (2023). *Clostridium botulinum* type C, D, C/D, and D/C: An update. *Frontiers in Microbiology*, 13: 1099184, pp: 1-18.
- Meurice, L., Filleul, L., Fischer, A., Burbaud, A., Delvallez, G., Diancourt, L., Belichon, S., Clouzeau, B., Malvy, D., Oliva-Labadie, M., Bragança, C., Wilking, H., Franca, R., Martin, G., Godbole, G., Tourdjman, M. y Jourdan-Da, S.N. (2023). Foodborne botulism outbreak involving different nationalities during the Rugby World Cup: critical role of credit card data and rapid international cooperation, France, September 2023. *Euro Surveillace*, 28 (47): 2300624, pp: 1-6.
- Moore, R.J. y Lacey, J.A. (2019). Genomics of the Pathogenic Clostridia. *Microbiology Spectrum*, 7 (3), pp: 1-17.
- Munir, M.T., Mtimet, N., Guillier, L., Meurens, F., Fravallo, P., Federighi, M. y Kooh, P. (2023). Physical Treatments to Control *Clostridium botulinum* Hazards in Food. *Foods*, 12: 1580, pp: 1-25.
- Nelson, K.A., Busta, F.F., Sofas, J.N. y Wagner, M.K. (1983). Effect of polyphosphates in combination with nitrite-sorbate or sorbate on *Clostridium botulinum* growth and toxin production in chicken frankfurter emulsions. *Journal of Food Protection*, 46, pp: 846-850.
- Notermans, S., Dufrenne, J. y Keybets, J.H. (1985). Use of preservatives to delay toxin formation by *Clostridium botulinum* (Type B, strain Okra) in vacuum-packed, cooked potatoes. *Journal of Food Protection*, 49 (10), pp: 851-855.
- Parker, M.D., Barrett, P.I., Shepherd, J., Price, L.J. y Bull, S.D. (2015). Characterisation of non-toxicogenic *Clostridium* spp. strains, to use as surrogates for non-proteolytic *Clostridium botulinum* in chilled food challenge testing. *Journal of Microbiological Methods*, 108, pp: 83-91.
- Peck, M.W., Goodburn, K.E., Betts, R.P. y Stringer, S.C. (2006). *Clostridium botulinum* in vacuum packed (VP) and modified atmosphere packed (MAP) chilled foods. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/237298240\\_Clostridium\\_botulinum\\_in\\_vacuum\\_packed\\_VP\\_and\\_modified\\_atmosphere\\_packed\\_MAP\\_chilled\\_foods](https://www.researchgate.net/publication/237298240_Clostridium_botulinum_in_vacuum_packed_VP_and_modified_atmosphere_packed_MAP_chilled_foods) [acceso: 23-06-24].
- Peck, M.W., Goodburn, K.E., Betts, R.P. y Stringer, S.C. (2008). Assessment of the potential for growth and neurotoxin formation by non-proteolytic *Clostridium botulinum* in short shelf-life commercial foods designed to be stored chilled. *Trends in Food Science & Technology*, 19, pp: 207-216.
- Peck, M.W. (2009). Biology and genomic analysis of *Clostridium botulinum*. *Advances in Microbial Physiology*, 55, pp: 183-265.
- Peck, M.W., Smith, T.J., Anniballi, F., Austin, J.W., Bano, L., Bradshaw, M., Cuervo, P., Cheng, L.W., Derman, Y., Dorner, B.G., Fisher, A., Hill, K.K., Kalb, S.R., Korkeala, H., Lindström, M., Lista, F., Lúquez, C., Mazuet, C., Pirazzini, M., Popoff, M.R., Rossetto, O., Rummel, A., Sesardic, D., Singh, B.R. y Stringer, S.C. (2017). Historical Perspectives and Guidelines for Botulinum Neurotoxin Subtype Nomenclature. *Toxins (Basel)*, 9: 38, pp: 1-21.

- Peck, M.W., Webb, M.D. y Goodburn, K.E. (2020). Assessment of the risk of botulism from chilled, vacuum/modified atmosphere packed fresh beef, lamb and pork held at 3 °C-8 °C. *Food Microbiology*, 91: 103544, pp: 1-9.
- Pernu, N., Keto-Timonen, R., Lindström, M. y Korkeala, H. (2020). High Prevalence of *Clostridium botulinum* in Vegetarian Sausages. *Food Microbiology*, 91: 103512, pp: 1-5.
- Pflug, I.J. (1987). Factors important in determining the heat process values, FT, for low-acid canned foods. *Journal of Food Protection*, 50, pp: 528-533.
- Popoff, M.R. y Brüggemann, H. (2022). Regulatory Networks Controlling Neurotoxin Synthesis in *Clostridium botulinum* and *Clostridium Tetani*. *Toxins*, 14: 364, pp: 1-19.
- Portinha, I.M., Douillard, F.P., Korkeala, H. y Lindström, M. (2022). Sporulation strategies and potential role of the exosporium in survival and persistence of *Clostridium botulinum*. *International Journal of Molecular Sciences*. 23 (2): 754, pp: 1-17.
- Poulain, B. y Popoff, M.R. (2019). Why Are Botulinum Neurotoxin-Producing Bacteria So Diverse and Botulinum Neurotoxins So Toxic? *Toxins*, 11: 34, pp: 1-18.
- Qiu, X., Chang, J., Jin, Y. y Wu, W.J. (2022). Pulsed Electric Field Treatments with Nonlethal Field Strength Alter the Properties of Bacterial Spores. *Journal of Food Protection*, 85, pp: 1053-1060.
- Rawson, A.M., Dempster, A.W., Humphreys, C.M. y Minton, N.P. (2023). Pathogenicity and virulence of *Clostridium botulinum*. *Virulence*, 14 (1): 2205251, pp: 1-28.
- Rhodehamel, E.J., Reddy, N.R. y Pierson, M.D. (1992). Botulism: the causative agent and its control in foods. *Food Control*, 3, pp: 125-143.
- RIVM (2000). Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Hazard identification and characterization, and dose response assessment of spore forming pathogens in cooked chilled food containing vegetables. Disponible en: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/149106008.html> [acceso: 2-08-24].
- Roberts, T.A. y Smart, J.L. (1976) The occurrence and growth of *Clostridium* spp. in vacuum-packed bacon with particular reference to *Cl. Perfringens* (welchii) and *Cl. botulinum*. *Journal of Food Technology*, 11 (3), pp: 229-244.
- Rossetto, O., Pirazzini, M., Fabris, F. y Montecucco, C. (2021). Botulinum Neurotoxins: Mechanism of Action. *Handbook of Experimental Pharmacology*, 263, pp: 35-47.
- Shen, A., Edwards, A.N., Sarker, M.R. y Paredes-Sabja, D. (2019). Sporulation and Germination in Clostridial Pathogens. *Microbiology Spectrum*, 7, pp: 1-30.
- Smith, T.J., Xie, G., Williamson, C.H.D., Hill, K.K., Fernández, R.A., Sahl, J.W., Keim, P. y Johnson, S.L. (2020). Genomic Characterization of Newly Completed Genomes of Botulinum Neurotoxin-Producing Species from Argentina, Australia, and Africa. *Genome Biology and Evolution*, 12, pp: 229-242.
- Soni, A., Oey, I., Silcock, P., Ross, I.K. y Bremer, P.J. (2020). Effect of Pulsed Electric Field with Moderate Heat (80 °C) on Inactivation, Thermal Resistance and Differential Gene Expression in *B. Cereus* Spores. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44: e14503.
- Tompkin, R.B. (1980). Botulism from meat and poultry products - a historical perspective. *Food Technology*, 34, pp: 229-236.
- UE (2008). Reglamento (CE) N° 1333/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre aditivos alimentarios. DO L 354 de 13 de diciembre de 2008, pp: 16-33.
- Valdez-Narváez, M.I, Fernández-Felipe, M.T., Martínez, A. y Rodrigo, D. (2024). Inactivation of *Bacillus cereus* Spores and Vegetative Cells in Inert Matrix and Rice Grains Using Low-Pressure Cold Plasma. *Foods*, 13: 2223, pp: 1-12.
- Whiting, R.C. y Naftulin, K.A. (1992). Effect of Headspace Oxygen Concentration on Growth and Toxin Production by Proteolytic Strains of *Clostridium botulinum*. *Journal of Food Protection*, 55 (1), pp: 23-27.







GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE DERECHOS SOCIALES, CONSUMO  
Y AGENDA 2030



agencia  
española de  
seguridad  
alimentaria y  
nutrición