

# Impacto del cambio climático sobre el bienestar animal en los sistemas ganaderos

I. Blanco-Penedo<sup>1,\*</sup>, J. Cantalapiedra<sup>2</sup> y P. Llonch<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Unidad de Epidemiología Veterinaria, Departamento de Ciencias Clínicas, Universidad de Ciencias Agrarias de Suecia, Suecia

<sup>2</sup> Servicio de Ganadería, Consellería do Medio Rural, Xunta de Galicia, Lugo, España

<sup>3</sup> Departamento de Ciencia Animal y de los Alimentos. Universidad Autónoma de Barcelona. Cerdanyola del Vallès, España

## Resumen

El cambio climático global afecta cada vez más a la producción agrícola y ganadera con un efecto negativo abrumador en la salud y el bienestar del ganado. El sector ganadero tiene la urgencia de ser más eficiente y sostenible y cumplir con estándares más altos de bienestar animal. Los efectos negativos del cambio climático sobre la salud y el bienestar de los animales son la consecuencia de los cambios combinados de la temperatura atmosférica, precipitaciones, y la frecuencia y magnitud de los fenómenos meteorológicos extremos que pueden ser tanto directos como indirectos. Las prácticas agroganaderas deben considerar la necesidad de adaptación continua (resiliencia) a un entorno en constante cambio que ofrezca soluciones para amortiguar los eventos extremos climáticos, la disponibilidad cambiante de nutrientes, la disponibilidad estacional de forraje, la epidemiología de las enfermedades, y otras tensiones que se sumarán a un entorno de condiciones heterogéneas. Esta revisión pretende documentar el conocimiento científico más actualizado sobre el impacto del cambio climático en la salud y el bienestar animal, las estrategias de adaptación de los sistemas ganaderos que pueden implementarse para reducir este impacto, así como identificar las oportunidades para investigar nuevas estrategias de adaptación.

**Palabras clave:** Cambio climático global, bienestar animal, ganadería, enfermedad infecciosa emergente, resiliencia.

## Climate change impacts on animal welfare in livestock systems

### Abstract

Global climate change increasingly affects agricultural and livestock production with an overwhelmingly negative effect on the health and wellbeing of livestock. The livestock sector must urgently seek for more efficient and sustainable productivity and meet higher standards of animal welfare. The negative effects of climate change on animal health and welfare are the consequence of the combined changes in atmospheric temperature, rainfall, and frequency and magnitude of extreme weather events that can be both direct and indirect. Agro-livestock sector practices should consider the need for continuous adaptation (resilience) to an ever-changing environment that offers solutions to buffer climate extremes,

---

\* Autor para correspondencia: isabel.blanco.penedo@slu.se

changing nutrient availability, seasonal forage availability, disease epidemiology, and other challenges that will be added in an environment of heterogeneous conditions. This review aims to document the most up-to-date scientific knowledge on the impact of climate change on animal health and welfare, the adaptation strategies of livestock systems that can be implemented to reduce this impact, as well as identifying opportunities to investigate new strategies of adaptation.

**Keywords:** Global climate change, animal welfare, livestock, emerging infectious disease, resilience.

## Introducción

El cambio climático (CC) es un hecho incuestionable que provoca modificaciones sobre la biodiversidad, el equilibrio ecológico de los ecosistemas y que afecta negativamente a la producción, salud y bienestar de los animales, tanto salvajes como domésticos.

En los sistemas de producción animal, el medio ambiente está relacionado con la salud y bienestar animal a través de mecanismos complejos y variables, de modo que cualquier cambio en el medio ambiente tiene efectos sobre los animales. Por ejemplo, la salud y el bienestar animal se ven afectados por eventos extremos tales como inundaciones, sequías e incendios (se resaltan aquí los efectos de los grandes incendios declarados en diciembre de 2019 en Australia, sobre los animales tanto de ganadería como salvajes). Por otro lado, los cambios en el ambiente son también factores con efecto indirecto, debido a la reducción de la disponibilidad de un hábitat adecuado, de la cantidad y calidad de alimentos y de agua, pero también por la (re)aparición de enfermedades infecciosas, algunas de ellas transmitidas por vectores que dependen de las condiciones climáticas. Pero la relación entre la ganadería y el CC es bidireccional (Llonch *et al.*, 2017) ya que la ganadería es, en sí misma, una fuente importante de gases de efecto invernadero (GEI), tales como el metano (CH<sub>4</sub>) o el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) que, junto con el CO<sub>2</sub>, contribuyen de forma notable al CC (Herrero *et al.*, 2016).

Las anomalías climáticas involucradas en el CC a través de la variabilidad climática ge-

neran un impacto socioeconómico en los ámbitos regional y local. Por ejemplo, en zonas donde la agricultura está ligada al ecosistema, la aparición de inundaciones, plagas y expansión de enfermedades, cambios en los ciclos vegetativos de los cultivos, por mencionar algunos, provocan pérdidas en la producción y rendimiento de cultivos, amenazando de esta forma la alimentación animal y la seguridad alimentaria. De ahí que, la mayoría de las acciones políticas sean implementadas a nivel local y regional.

El CC afecta a la vida de los animales en sus correspondientes ecosistemas de varias maneras. Una forma de contextualizar los efectos del CC sobre los animales es utilizar el concepto de bienestar animal de "Las cinco libertades", el cual se basa en 5 necesidades cuya satisfacción resulta imprescindible para el bienestar: ausencia de sed, hambre y desnutrición; ausencia de incomodidad; ausencia de dolor, lesiones y enfermedades; libertad para expresar un comportamiento normal; y ausencia de miedo y angustia (Farm Animal Welfare Council, 1992; 1993). Es decir, evaluar el impacto del CC sobre cada uno de estos 5 conceptos con el fin de sistematizar el análisis del impacto global sobre los animales.

No todos los sistemas ganaderos sufren de igual manera el impacto del CC. Por ejemplo, se espera que los sistemas ganaderos basados en pastoreo y los sistemas de producción mixtos sean más vulnerables en comparación con los sistemas de producción industrializados (FAO, 2007). Esto se explica en gran parte por el efecto negativo provocado por la disminución de precipitaciones y aparición de

sequías que podrían afectar notablemente a los cultivos y al crecimiento de los pastos afectando por tanto a los sistemas de producción más bajos en insumos y dependientes del ecosistema.

Se dispone de información limitada sobre el impacto del cambio climático sobre el bienestar de los animales a pesar de ser un factor clave para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible. El objetivo de este documento es revisar los posibles efectos del cambio climático en la salud y bienestar de los animales, evaluar las amenazas a corto y largo plazo y presentar algunas estrategias que hayan sido estudiadas para reducir el impacto en el bienestar animal, así como aquellas que presentan un potencial de investigación en el futuro.

### **Predicciones ante un contexto de cambio climático**

Los efectos directos del calentamiento global no afectarán por igual en todo el mundo y los efectos en los sistemas ganaderos serán espacial y temporalmente diversos. Entre los principales impactos del aumento de la temperatura se incluyen la sequía y las variaciones en la duración de las estaciones de crecimiento de pastos y cultivos forrajeros. Además, se estima que sucedan más eventos meteorológicos extremos como las inundaciones.

Numerosos estudios, por ejemplo, Thornton et al. (2007), prevén un aumento de la temperatura media local de 1 °C a 3 °C en zonas de altitud media a alta como Europa, que pueden provocar un ligero aumento de la productividad de los cultivos. Por otro lado, en estas mismas latitudes, las olas de frío y de calor o fuertes lluvias pueden anular las ventajas del aumento de la temperatura. En cambio, un aumento de la temperatura en latitudes más bajas en torno a 1-2 °C, podría tener un efecto contrario, empeorando la pro-

ducción de cultivos y cereales. Las áreas más afectadas estarán en el hemisferio boreal, en particular, América del Norte, Europa del Norte, Asia del Norte y, en latitudes más bajas, en la cuenca mediterránea y en Asia del Centro Oeste (Easterling et al., 2007).

Se espera que los patrones de precipitación sufran un cambio significativo pasando de precipitaciones frecuentes de baja o moderada cantidad a eventos menos frecuentes, pero más intensos (IPCC, 2019). Por ejemplo, se prevé un aumento de las tormentas tropicales consideradas fuertes (Categoría 4 y 5) en la zona del Atlántico, pero al mismo tiempo una disminución del número de eventos de precipitación (Bender et al., 2010) lo que aumentaría el riesgo de inundaciones en los trópicos. Mientras en el hemisferio norte se estima un incremento de la precipitación, en las zonas subtropicales, de clima árido o semiárido, las precipitaciones disminuirán. Por otro lado, el IPCC (2019) también estima que aumente progresivamente la frecuencia y severidad de los episodios de sequía y las olas de calor en el hemisferio norte (Trenberth, 2011). Las consecuencias de esta disminución de las precipitaciones serán, entre otras, una reducción del suelo fértil. De hecho, los registros históricos de los índices de precipitación, vapor atmosférico y sequía muestran un aumento de la proporción de suelo árido desde 1950 en muchas zonas de la tierra y varios modelos de simulación sugieren que el riesgo de sequía continuará en aumento (Trenberth et al., 2007).

### **Aumento de la temperatura atmosférica**

El incremento de la temperatura global tiene un efecto directo sobre los animales, pudiendo alterar su fisiología y comportamiento, lo que genera un impacto sobre su salud y bienestar.

Cuando el aumento de la temperatura rebasa los límites de la zona de confort térmico de un animal, éste desarrolla una respuesta de

estrés (ver Figura 1), lo que se llama estrés por calor. El estrés por calor va asociado a una serie de cambios fisiológicos y de comportamiento que tienen la finalidad de superar la amenaza que supone el aumento de la temperatura. Si bien el estrés por calor no es necesariamente nocivo para el animal, si la respuesta es muy aguda o permanece en el tiempo, puede ir asociada a problemas de salud y bienestar. Las respuestas más inmediatas como respuesta al calor incluyen un incremento en la frecuencia respiratoria, una disminución del consumo de alimento y un

aumento de la ingesta de agua (Horowitz, 2002). Además, el estrés por calor modifica los requerimientos (aumentándolos) y el consumo de energía (debido a un impacto en el metabolismo de lípidos y proteínas), altera la función hepática, desarrolla estrés oxidativo, reduce la respuesta inmunitaria y disminuye el rendimiento reproductivo (Bernabucci et al., 2010). Dependiendo de su intensidad y duración, las alteraciones provocadas por la respuesta de estrés por calor podrían tener consecuencias fatales para el bienestar, pudiendo desencadenar incluso en la muerte.

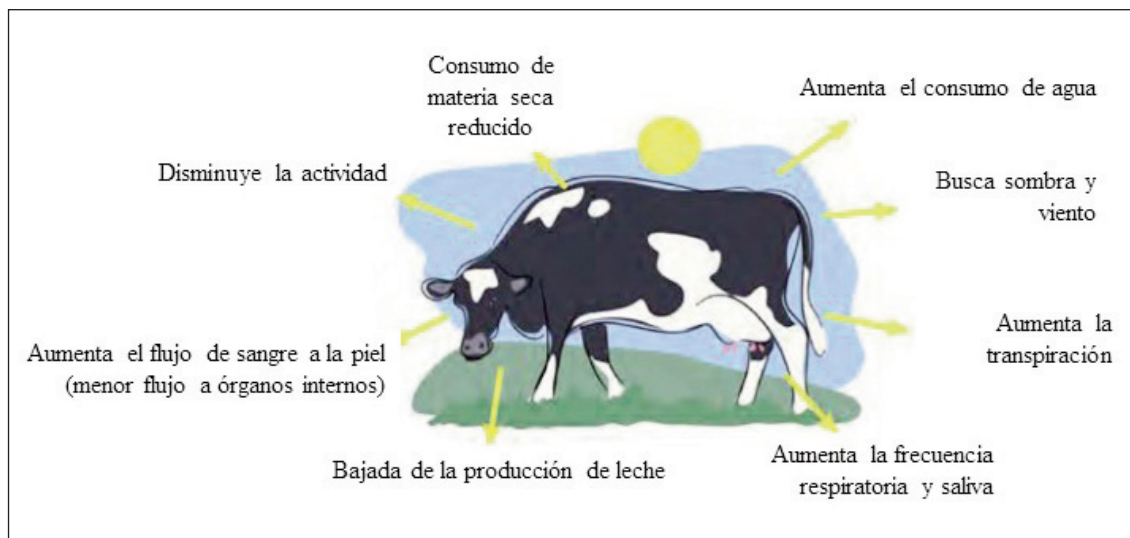


Figura 1. Mecanismos comportamentales, fisiológicos y productivos consecuencia del estrés térmico. (Fuente: autores).

Figure 1. Behavioral, physiological and productive mechanisms as a consequence of thermal stress. (Source: authors).

El grado de calor está determinado principalmente por la temperatura ambiental. Sin embargo, hay otros factores como la humedad, la velocidad del viento o la insolación que también tendrán un efecto significativo sobre la temperatura efectiva, y por lo tanto en el estrés que experimenta un animal (Cerqueira et al., 2016; Galán et al., 2018).

Además del aumento de temperatura, según las predicciones del IPCC (2019), se estima que los eventos térmicos extremos sucederán con mayor asiduidad, como la cantidad de días calurosos y la cantidad de olas de calor (combinación de duración e intensidad de la temperatura del aire). En el futuro es probable que estas olas de calor y frío tengan mayor im-

pacto por su frecuencia, duración e intensidad sobre los animales de producción.

La intensificación de estos fenómenos naturales extremos, puede afectar negativamente a los animales y su producción. De hecho, se ha demostrado que los cambios drásticos de temperatura conducen a mayores tasas de mortalidad en el ganado lechero (Vitali et al., 2009) y a una disminución en la calidad y cantidad de leche producida (Bertocchi et al., 2014).

El estrés por calor es una condición fisiológica cuando la temperatura corporal central de un animal excede su rango de actividad normal. Se ha demostrado (Cerqueira et al., 2016; Galán et al., 2018) que los parámetros fisiológicos como la frecuencia cardíaca y respiratoria, y la temperatura corporal y la frecuencia respiratoria son indicadores adecuados para monitorizar el estrés por calor en las vacas lecheras. Entre ellos, la frecuencia respiratoria se considera un parámetro idóneo para monitorizar el estrés por calor, ya que es aplicable en diferentes condiciones climáticas y es fácil de monitorizar sin grandes costes. Recientemente se han empezado a desarrollar nuevas herramientas para controlarla automáticamente (Strutzke et al., 2019). En este sentido, la ganadería de precisión, permitirá controlar de forma sistemática y continuada los animales, de modo que se podría conocer mejor su respuesta frente a los cambios en el ambiente. Esta información con respecto a la vulnerabilidad biofísica de los animales a su entorno (léase temperatura) podrá ser integrada en decisiones zootécnicas con la finalidad de mejorar el bienestar y la eficiencia productiva (Nardone et al., 2010).

La respuesta de estrés está regulada por el eje hipotalámico-pituitario adrenal, y su reacción inicia los cambios asociados a dicha respuesta. El cortisol es la hormona que se libera en la activación de este eje y que regula los cambios sufridos por el organismo, desde el comportamiento hasta el metabolismo. Es

por ello que la respuesta al estrés puede evaluarse analizando la cantidad de cortisol presente en el organismo, a través de distintas fracciones orgánicas tales como la sangre, la saliva o la leche. Actualmente, existen distintas tecnologías con potencial para medir dicha hormona de forma continua y automática (Fu et al., 2018). Es probable que el desarrollo de estas tecnologías permita, en un futuro próximo, calcular las concentraciones de cortisol en muestras de leche de forma sistematizada, lo que permitirá detectar niveles de estrés incrementados en vacas lecheras en tiempo real.

De cualquier forma, al elegir un indicador basado en el animal para evaluar el estrés por calor, deben tenerse en cuenta factores de variación de la temperatura en el animal tales como la raza, fase de lactancia, producción de leche, región climática, tipo de cama, dieta y estrategias de manejo de la climatización de las instalaciones (Galán et al., 2018).

Las diferencias entre sistemas con respecto al confort térmico pueden reconocerse mediante cambios repentinos del entorno (condiciones dinámicas). Los indicadores más fiables son precisamente los basados en el animal (comportamiento, metabólicos, etc.) a nivel individual y de grupo, en respuesta a la variación ambiental. Los patrones etológicos observados bajo tales condiciones deberían servir de indicadores para diseñar sistemas de alojamiento más adaptados a las necesidades de los animales (Kuczynski et al., 2011).

La modificación del medio ambiente para adaptarse a las necesidades de los animales (p.ej. aumentar la ventilación) es actualmente la principal estrategia que se utiliza para mitigar los efectos negativos del estrés por calor. La ganadería de precisión ofrece muchas posibilidades de ajuste para los animales, que de forma individual les permite elegir las condiciones ambientales de acuerdo con sus necesidades (Kuczynski et al., 2011) ya que aún

tanto el componente animal como el ambiental en la búsqueda de la temperatura efectiva. Entre los diferentes sistemas de producción, el manejo intensivo permite el uso de tecnología para el control ambiental, por lo que los empleados en la regulación de la temperatura (p.ej. refrigeración de aire) podrían mitigar los efectos del incremento de temperatura sobre los animales y de esa forma mantendrían condiciones de alojamiento y de vida adecuadas. Teniendo en cuenta que los períodos de olas de calor en verano pueden ir seguidos por un invierno severo, el alojamiento para el ganado debería además mantener sistemas de control del ambiente adaptables a condiciones muy variables. En cierta forma, que absorban parte de la variabilidad del ambiente de modo que las variaciones de temperatura que lleguen a los animales sean las menores posibles. Los sistemas de ventilación deben proporcionar una velocidad de aire uniforme sobre los animales. Cuando el clima es cálido, se necesitan altas velocidades de aire, que se pueden lograr utilizando ventiladores mecánicos, para reducir la temperatura efectiva percibida por el animal, y evitar así el estrés por calor.

Existen otros enfoques adicionales, basados en la modificación de la capacidad del animal para soportar los cambios ambientales. Entre estas modificaciones se incluyen cambios en la dieta y la mejora genética, que pueden ayudar en la adaptación a condiciones ambientales adversas y la mitigación de la respuesta de estrés (Grossi et al., 2019).

Entre las distintas especies, e incluso razas ganaderas, existen notables diferencias con respecto a la tolerancia al calor. La selección de individuos de razas o especies distintas en función del clima debería emplearse como medida de mitigación del estrés por calor. La selección genética y el mejoramiento animal conseguirían disminuir la respuesta de estrés por calor. Las razas locales se adaptan mejor a las condiciones del medio de donde son origi-

narias y, por lo tanto, su valor como recurso genético representa una oportunidad para mejorar la adaptación del sistema al ambiente.

Sin embargo, la mejora en la resiliencia al estrés por calor, está asociada a una disminución de la capacidad productiva en los animales de ganadería. Esta es la razón por la cual a menudo, las razas locales suelen tener menor productividad que razas o híbridos seleccionados para la productividad. Esto se debe a la asociación negativa entre los genes de algunos rasgos productivos con los rasgos de resiliencia (Colditz y Hine, 2016).

Un ejemplo de esta asociación negativa lo encontramos en la avicultura. Las aves de corral son particularmente vulnerables a las condiciones de estrés por calor. Las aves no tienen posibilidad de eliminar calor mediante el sudor, por lo que las pérdidas por convección y respiración siguen siendo los únicos mecanismos para disipar el calor. La continua selección genética en los pollos de engorde se lleva a cabo para obtener mejores resultados de crecimiento y calidad de la carne, pero desafortunadamente, se asocian con el estrechamiento de la zona termo neutral de las aves y el aumento de su vulnerabilidad al estrés por calor (Kuczynski et al., 2011). Los factores de riesgo más importantes parecen ser la edad del animal, su estado de salud, apetito, aporte energético o actividad diurna. El sexo, el genotipo y el objetivo de la selección parecen afectar la relación entre la temperatura, el aumento de peso, la eficacia de la alimentación de proteínas y la deposición de grasa (Kuczynski et al., 2011).

En vacuno lechero ocurre lo mismo que en avicultura intensiva. Las vacas de mayor producción son más susceptibles a los efectos del calor, a diferencia de las vacas con niveles productivos más bajos. Por ejemplo, las vacas Jersey, son más resistentes al estrés térmico que la raza Holstein, pues disipan mejor el calor, gracias a una mayor superficie



corporal proporcional y a una frecuencia respiratoria más elevada (Kadzere et al., 2002). Hay evidencia de diferencias genéticas dentro de los rumiantes con respecto a la tolerancia al calor, lo que puede brindar la oportunidad de incluir la termo-tolerancia en los programas de cría. Por ejemplo, el tronco americano (*Bos indicus*) está más adaptado a temperaturas elevadas que el tronco europeo (*Bos taurus*), debido a la expresión de distintos rasgos genéticos que le permiten responder de forma más efectiva al incremento de la temperatura ambiental. En consecuencia, numerosos autores abogan por la inclusión de caracteres genéticos operacionales en la selección de animales (Rauw et al., 1998). Los cruces de razas altamente productivas con razas menos productivas, pero más adaptadas a temperaturas elevadas (Boonkum et al., 2011; Molee et al., 2011) son más comunes y ya se ha conseguido identificar los genes asociados a una resiliencia frente al calor (Liu et al., 2010). Un claro ejemplo lo constituye la vaca Brangus, raza bovina de tipo sintética resultante o producto del cruzamiento entre dos razas diferentes, Brahman y Angus.

Otros factores que pueden influir en la susceptibilidad al calor son el estado productivo y sanitario, la cantidad y calidad del alimento, el estado de salud y la hidratación del animal. Algunos de estos parámetros son difíciles de manipular, sin embargo, los tres últimos son claves para mitigar los efectos de una temperatura elevada.

Una cantidad suficiente de agua potable es quizás el factor más importante para el mantenimiento de la salud y el bienestar de los animales, sobre todo si estos se encuentran en condiciones de estrés por calor, donde las necesidades hídricas aumentan drásticamente. Esto puede ser problemático si hay escasez de agua, tal y como se estima que ocurra en algunas latitudes debido al cambio climático. En cuanto a la hidratación necesaria ante eventos de aumento de temperatura,

los animales deben tener varios puntos de acceso a agua limpia y abundante para poder satisfacer el incremento de sus necesidades hídricas. Este punto es importante en el manejo de los animales y en este sentido el comportamiento de los individuos dirigido a acceder a los recursos disponibles (p.ej. la aparición de agresiones entre animales para poder acceder al agua) tiene un valor práctico, pues permite comprobar si los recursos son suficientes o hay que aumentar su disponibilidad (McDonald et al., 2020).

Además, el desequilibrio y las deficiencias nutricionales pueden exacerbar los efectos del estrés por calor, por lo que es necesario proporcionar a los animales una dieta nutricionalmente equilibrada (Kuczynski et al., 2011).

Otras estrategias relacionadas con la composición de la dieta y el manejo permiten mejorar la capacidad de hacer frente a los efectos negativos derivados del estrés por calor. Para mitigar una posible reducción en la ingestión de alimento, los ganaderos a menudo aumentan la densidad energética de la misma. Se reduce la proporción de fibra detergente neutra sobre la base de materia seca, disminuyendo la proporción de fibra digestiva y aumenta la parte concentrada de la dieta. Sin embargo, estas estrategias deben aplicarse con precaución, ya que una mayor digestibilidad de carbohidratos puede aumentar el riesgo de acidosis ruminal subclínica (SARA, por sus siglas en inglés). Algunas alternativas dietéticas también pueden ayudar a mitigar el estrés por calor. Por ejemplo, suplementar la dieta con *Asparagus officinalis*, ácidos linoleicos conjugados, cultivos de levadura, niacina y extracto de cítricos se han utilizado para minimizar, con más o menos éxito, los efectos del estrés por calor (Llonch et al., 2018).

Las técnicas para manipular la temperatura ambiental del alojamiento para conseguir la termoneutralidad de los animales suelen provocar un mayor consumo de energía y, por

tanto, aumentan los costos generales de producción además de contribuir al calentamiento global. Así pues, los cambios relacionados con la cría y el manejo de los animales en comparación con la manipulación de las condiciones ambientales en el establo deberían permitir un mayor retorno en el proceso productivo además de disminuir el impacto sobre el medio ambiente.

### ***Escasez de recursos en los ecosistemas agroganaderos***

Las alteraciones del clima no solo tienen impacto sobre los animales sino también sobre el ecosistema que en muchos casos les proporciona los recursos para sobrevivir (Marques et al., 2011). Por ejemplo, las alteraciones del patrón de precipitación (humedad) podrían afectar severamente al suelo y la vegetación, con un impacto sobre la cantidad y la calidad de cobertura vegetal de la biosfera. Sin embargo, existe otra consecuencia que parece ser menos conocida, y es que el cambio climático está influyendo negativamente sobre muchas especies cuya supervivencia se está viendo comprometida, es decir, es uno de los principales impulsores de la pérdida de biodiversidad.

Los condicionantes geográficos y climatológicos (lluvia y precipitaciones) modificarán también la distribución de las especies. Se estima que plantas y animales se desplacen buscando condiciones óptimas y ecotipos más favorables para subsistir ante la disminución de la productividad de los recursos naturales (Kaeslin et al., 2013). Este desplazamiento implica una competencia entre las especies invasoras y autóctonas y una alteración de la biodiversidad por la degradación de los hábitats originales.

Las pérdidas de biodiversidad pueden aumentar la vulnerabilidad de los ecosistemas. En zonas de producción intensiva las consecuencias podrían ser menores a través de las importaciones de insumos y a las adaptaciones

tecnológicas que permiten mitigar el efecto del CC. Por otro lado, los sistemas ligados a la tierra, como los pastoriles, especialmente aquellos ubicados en climas áridos o semiáridos, podrían ver su capacidad adaptativa amenazada o incluso sobrepasada, llegando a destruir su capacidad productiva.

### ***Escasez de recursos hídricos***

El agua es esencial para la producción agrícola y la seguridad alimentaria. En muchas regiones del mundo, su falta se plantea como un desafío importante para la nutrición y salud animal, la adaptación y la seguridad alimentaria. En las regiones tropicales y subtropicales se estima que aumente la necesidad de agua potable como consecuencia de una mayor exposición a elevadas temperaturas, a menudo coincidente con una reducción de su disponibilidad y del contenido y calidad de dicho elemento en el suelo y forraje. En las zonas áridas o semiáridas pueden aparecer problemas adicionales debido a una alta concentración de sólidos disueltos lo que disminuye su calidad haciéndola incluso no apta para su consumo.

La eficiencia en la utilización del agua es un reto importante para lograr la sostenibilidad de la ganadería (Nardone et al., 2010). El sexto Objetivo de Desarrollo Sustentable de la ONU enfatiza el incremento de la eficiencia de uso en todos los sectores para enfrentar la escasez. La agricultura es, al mismo tiempo, causa y víctima de la escasez de agua. Dada la sustancial huella hídrica de la producción ganadera, la mejora de la eficiencia de uso y las estrategias desde la administración son un elemento clave para asegurar el acceso a fuentes de agua salubre.

La huella hídrica total varía mucho dependiendo del sistema de producción, pero la producción animal intensiva parece ir de la mano de un incremento de la misma (De Miguel et al., 2015). Los principales riesgos en los sistemas de alta huella hídrica son principalmente debidos a su escasez lo que puede provocar



una disponibilidad variable de cereales, un aumento del coste de alimentación al convertirse en un insumo, y la baja capacidad de adaptación del genotipo animal a la escasez de agua de bebida en primer término y posteriormente a la escasez de alimento.

#### *Escasez de recursos alimentarios*

Las evidencias de los efectos del cambio climático sobre la seguridad alimentaria están determinadas por la disponibilidad de alimentos. El impacto de la disponibilidad de alimento sobre la agricultura a escala regional es todavía incierto.

Uno de los principales efectos de las sequías es la reducción de la producción de cobertura vegetal en áreas extensas. Este es un elemento importante a tener en cuenta ya que el pastoreo ocupa el 26 % de la superficie terrestre y la producción de forrajes requiere un tercio de la superficie total agrícola (FAO, 2009). En la UE, los bosques son sistemas vulnerables porque la larga vida útil de los árboles limita la posibilidad de adaptación rápida a cambios ambientales drásticos (Forzieri et al., 2020). Se han documentado cambios en la cantidad, calidad y salud de los cultivos vegetales, debido a modificaciones de la distribución de los cultivos con disminución del crecimiento arbóreo y la vegetación natural acompañada de un aumento de biomasa y expansión de los bosques hacia latitudes más elevadas (Forzieri et al., 2020). En los agroecosistemas pastoriles podría haber una pérdida de hasta el 50 % de la biomasa disponible, particularmente en África, Australia, Asia Central y Sudamérica. Por el contrario, en América del Norte, Europa del Norte y Noreste de Asia, el aumento de la temperatura y precipitaciones podría provocar un efecto contrario (Nardone et al., 2010). Por ejemplo, el IPCC (2019) plantea una alteración del periodo vegetativo y de los ciclos de crecimiento de las plantas huésped por el incremento de temperaturas en las estaciones de invierno y primavera y una mejora de las con-

diciones de cultivo para las nuevas especies y variedades cultivables, que facilitarán el cultivo de cereales en latitudes medianas y altas.

Los aumentos de temperatura y la falta de agua se podrían mitigar utilizando variedades y cultivos más resistentes y adaptados al calor y sequías (Easterling et al., 2007). Por otro lado, los aumentos en la temperatura y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) pueden ser beneficiosos en determinados cultivos y zonas concretas (Wheeler y Reynolds, 2013), cuando existan buenos niveles de nutrientes, humedad del suelo, disponibilidad de agua, etc. El aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> permite incrementar la tasa de fotosíntesis, mejora la productividad de algunos cultivos como el trigo, cebada, arroz y soja, mientras que esta mejora no se da en otros cultivos como el maíz, caña de azúcar y sorgo (Drake et al., 1997). En cualquier caso, para obtener beneficios productivos debidos al aumento de temperatura y CO<sub>2</sub>, tiene que haber también buenos niveles de nutrientes, humedad del suelo, disponibilidad de agua, etc.

Las seculares técnicas de gestión ganadera de pastos pueden ser potentes herramientas de adaptación al cambio climático y de conservación de los ecosistemas por basarse en la utilización eficiente de los recursos del medio natural. Los sistemas extensivos son dependientes de los recursos vegetales disponibles y se ven directamente afectados por la meteorología que determina la disponibilidad de alimento para el ganado. La dependencia de los recursos de pastoreo podría tener efectos positivos en la sostenibilidad económica y ambiental de las granjas. Por eso es necesario invertir en el desarrollo del conocimiento y la innovación tecnológica en gestión de pastoreo. En el caso de la ganadería ecológica, por ejemplo, el hecho de que el pastoreo se use con frecuencia se percibe como una práctica respetuosa con las necesidades de comportamiento de los animales, pero no necesariamente suficiente para cubrir sus necesidades alimentarias.

El CC también puede afectar negativamente la utilización de los pastos por el incremento del número y de las tasas de crecimiento de plantas no deseadas (Compant *et al.*, 2010). La calidad del forraje disminuye también al aumentar la intensidad de pastoreo sin aumentar la superficie de pasto (Roca-Fernández *et al.*, 2011). Este exceso de pastoreo provoca compactación y erosión de la tierra y es una de las causas principales de que el 70 % de las tierras de pasto en las zonas áridas estén degradadas o desertificadas (FAO, 2006). En consecuencia, los procesos de adaptación, implican cambios en el pastoreo y a las épocas de producción de forrajes. Además, es probable que el CC provoque un aumento de la movilidad de los animales y de esta forma cantidades sustanciales de nutrientes pueden ser transferidos de una región a otra (Whitehead, 1995), afectando estas transferencias a los procesos del suelo y de las plantas (Haynes y Williams, 1993) a través de las vías de retorno y la eficiencia del ciclo de nutrientes.

La duración del pastoreo debe ajustarse a la tipología de pastos, con la finalidad de optimizar, por ejemplo, la producción de carne (Lind y Nielsen, 2014). Frente a esta situación, según la FAO (2007), la producción animal en el futuro debe centrarse en la eficiencia de producción y la adaptabilidad al CC. Esto se debe entender como una estrategia donde cada sistema productivo se adapte a los recursos disponibles y las condiciones de su entorno cambiante. Por ejemplo, en los sistemas productivos mediterráneos, deberían incorporar alimentos que estén disponibles en este contexto, y anticiparse a los cambios que puedan aparecer tanto en la disponibilidad del alimento como en el ambiente donde criar los animales. En este sentido, algunos autores han sugerido la incorporación de razas autóctonas en los programas de mejora genética, a fin de incorporar rasgos que aumenten la resiliencia de los animales y permitan una mayor adaptación al medio. Un buen ejemplo

de esta aproximación son los programas de cría que han dado lugar a nuevas razas, como es el caso de Brangus, una raza de bovino de elevado rendimiento cárnico (como la Angus) que presenta buena adaptación a los climas áridos (como la Brahman).

### **Alteraciones en la aparición y distribución de enfermedades**

La enfermedad es en gran medida un problema ambiental. Desde la segunda mitad del siglo XX hay un incremento significativo de enfermedades infecciosas emergentes (EIE), muchas, alrededor del 70 %, son asimismo zoonosis (Taylor *et al.*, 2001). Por lo tanto, la salud animal y humana probablemente se verán afectadas por los cambios en la distribución y la virulencia de los patógenos zoonóticos causados por el cambio climático (ver Figura 2). Las enfermedades infecciosas emergentes y reemergentes son desafíos constantes para la salud pública en todo el mundo. Contamos con múltiples ejemplos con capacidad pandémica siendo el gran reto global más reciente la pandemia COVID-19.

Cada año, muchos animales emigran en búsqueda de hábitats más idóneos ya sea por la mayor disponibilidad de recursos alimenticios o por razones climáticas. En esta migración algunos animales pueden ir acompañados por patógenos y vectores que, con el fin de adaptarse a las nuevas condiciones geográficas, pueden modificar su reproducción, los ciclos de las enfermedades y hasta su virulencia (Altizer *et al.*, 2011).

Se espera que el CC altere la aparición y la propagación de enfermedades epidémicas (Perry *et al.*, 2013), y la prevalencia y gravedad de algunas enfermedades endémicas (Fox *et al.*, 2011). A nivel mundial, se estima que las enfermedades del ganado facilitadas por el cambio climático reduzcan la productividad en un 25 % (Grace *et al.*, 2015) con graves consecuencias sobre el bienestar del ganado



Figura 2. Principales factores que deben considerarse en la reaparición de zoonosis que afectan al ser humano y a los animales (Adaptación de UNEP Frontiers 2016 Report).

Figure 2. Main factors that must be considered in the reappearance of zoonoses that affect humans and animals (Adapted from UNEP Frontiers 2016 Report).

y con un aumento de los riesgos para la salud humana asociados con las zoonosis y las enfermedades emergentes (CDCP, 2015).

Es probable que el cambio climático afecte a la biología y la distribución de las infecciones transmitidas por vectores. Por ejemplo, los cambios de temperatura, los patrones globales de viento y precipitación, y los cambios en la humedad relativa en climas templados afectarán positivamente a la reproducción de insectos y, en consecuencia, a su densidad de población. Por lo tanto, algunas enfermedades tropicales, especialmente las transmitidas por insectos, probablemente se trasladen de su cuenca natural endémica a otras latitudes, expandiendo su radio de afectación.

Las variaciones en la temperatura y la lluvia también afectan a la resistencia del huésped

a agentes infecciosos produciendo cambios en la gravedad de las zoonosis. Se ha descrito una reducción de la inmunidad y un incremento de la susceptibilidad a las enfermedades infecciosas en condiciones de estrés por calor, así como mayores tasas de desarrollo de patógenos y prevalencia de enfermedades infecciosas durante eventos climáticos extremos (Omazic et al., 2019).

Al cambiar las condiciones que afectan el ciclo de vida, la distribución y ecología de los patógenos, vectores y hospedadores, aumenta el potencial para alterar la susceptibilidad de las poblaciones de animales ante agentes infecciosos oportunistas. La tasa de desarrollo, persistencia y multiplicación de la mayoría de los organismos culpables de enfermedades en los animales (insectos y microorganismos) está directamente afectada por las condicio-

nes microclimáticas, especialmente la temperatura. Las temperaturas más cálidas aumentan la actividad de los vectores pudiendo incrementar la transmisión de patógenos permitiendo así que se propaguen a nuevos entornos. El viento es otra vía de entrada de patógenos a nuevos hábitats (relevante en las regiones del Norte de Europa). Es por ello que muchas de las sospechas epidemiológicas se basan en el hecho de que ciertas enfermedades transmitidas por vectores se introducen en regiones distantes por la dispersión de vectores en el flujo del viento (Omazic et al., 2019).

Simulando un aumento de los valores de temperatura en 2 °C, en un modelo probado por Wittmann et al. (2001) se indica la posibilidad de una extensa diseminación de *Culicoides imicola*, que representa el vector principal del virus de la lengua azul. Desde 1990, este virus se ha propagado de manera considerable debido a las condiciones climáticas y ambientales cambiantes necesarias para los vectores de *Culicoides* favoreciendo de esta forma que la lengua azul se haya extendido por todo el mundo. Otras enfermedades en las que se ha identificado una expansión y/o crecimiento de su incidencia debido al CC son las infecciones provocadas por parásitos intestinales como los helmintos (por ejemplo, nematodos en bovinos), gripe aviar, mastitis en vacas lecheras, e infestaciones transmitidas por garrapatas (Mirski et al., 2012).

La dinámica de las enfermedades no transmitidas por vectores, como la gripe aviar, también puede verse influida por cambios en las rutas migratorias de los animales. Algunas especies de aves silvestres ya han modificado su radio de migración, pero su potencial de transmisión no se reduce en su totalidad ya que podrían también contribuir a propagar determinadas enfermedades infecciosas a través de otros medios (p.ej. Agua) afectando a peces que se trasladan a nuevas zonas. La persistencia de virus en el medio ambiente, incluida el agua, puede asimismo verse influida por cambios en las temperaturas.

Otro ejemplo de los efectos del cambio climático sobre la salud de los animales es el aumento de micotoxinas en el alimento que pueden causar episodios de enfermedades agudas cuando los animales consumen cantidades críticas de productos contaminados. Estas sustancias tóxicas pueden tener un efecto negativo en tejidos y órganos específicos, como hígado, riñón, mucosa oral y gástrica, cerebro o tracto reproductivo. Sin embargo, con mayor frecuencia, las concentraciones de estas toxinas naturales en los alimentos están por debajo de las que pueden causar enfermedad aguda. En cualquier caso, a bajas concentraciones, las micotoxinas pueden reducir la tasa de crecimiento de los individuos jóvenes. Algunas de ellas pueden interferir con los mecanismos nativos de resistencia a la enfermedad y pueden afectar la capacidad de respuesta inmunológica, provocando que los animales sean más vulnerables a la infección (Bernabucci et al., 2010).

Desde la perspectiva de One Health, las infecciones zoonóticas son de gran preocupación pues suelen surgir como resultado de interacciones complejas entre animales salvajes y / o domésticos y humanos pudiendo ser vehiculadas por vectores (Kaeslin et al., 2013). Entre las enfermedades zoonóticas, cinco de ellas: *Cryptosporidium*, *Giardia*, *Campylobacter*, *Salmonella* y *E. coli* O157, pueden aparecer con mayor frecuencia en el ganado y en consecuencia transmitirse con cierta facilidad a la población humana. La naturaleza dinámica y compleja de los ecosistemas, y las numerosas transacciones en la interfaz humano-animal-medio ambiente, generan tensión entre la vulnerabilidad y la resistencia de las poblaciones humana y animal. La aparición de enfermedades se correlaciona también con la densidad de población humana y la diversidad de la vida silvestre, y está impulsada por cambios antropogénicos como la deforestación y la expansión de las tierras agrícolas (es decir, el cambio del uso de la tierra), la in-

tensificación de la producción ganadera y el aumento de la caza y el comercio de la vida silvestre (Mirski et al., 2012).

Los efectos de estas enfermedades van más allá de influir sobre la salud de los animales. La mayoría de ellas son enfermedades tipificadas, reguladas por la legislación veterinaria nacional e internacional determinando la situación veterinaria de un país y por lo tanto afectando al comercio del ganado y sus productos (UE, 2009). Además, en una población de humanos o animales no expuestos (o naive) previamente a una enfermedad, un brote de esa enfermedad probablemente tendría efectos graves.

Es por ello que para comprender la "ecología de la enfermedad" son necesarios equipos multidisciplinares de veterinarios y biólogos junto a médicos y epidemiólogos. El control sostenible y la erradicación de las enfermedades zoonóticas podrían lograrse con la colaboración de diferentes profesionales y la unión de recursos.

Una mayor resiliencia permitiría aumentar la resistencia frente a las infecciones. La selección genética de algunos rasgos cuantitativos de los animales de granja, pueden proporcionar una importante estrategia a largo plazo para combatir infecciones en un contexto de clima y exposición cambiantes. Por ejemplo, según Gauly et al. (2013), la selección de individuos resistentes a infecciones parasitarias es posible en el caso del ganado ovino, pero es mucho menos efectivo en el bovino. Por otro lado, la diversidad de material genético procedente de distintas razas es posible que permita identificar los genes responsables de una mayor resiliencia para seleccionar los animales a su favor.

A pesar de que el cambio climático tiene un impacto en la epidemiología de muchas enfermedades infecciosas, la identificación de enfermedades en nuevos hábitats y la determinación de la importancia relativa del cam-

bio climático para una enfermedad específica a largo plazo son todavía inciertas. Hay una brecha sustancial de información sobre la influencia del cambio climático en las enfermedades infecciosas. Se ha llegado incluso a clasificar enfermedades infecciosas sensibles al clima (CSI de sus siglas en inglés, *Climate-Sensitive Infectious Diseases*) de relevancia para humanos y/o animales, sobre todo en las regiones del norte, ya que el clima en estas regiones está cambiando más rápido que el promedio mundial. Las dinámicas climáticas de los ecosistemas están en constante cambio, y por lo tanto las CSI, con el tiempo, pueden entrar o salir de dicha definición.

El cambio climático no es el único factor que altera la transmisión de enfermedades. Los cambios en la incidencia y/o el rango geográfico de los CSI también pueden surgir de las interacciones entre factores ambientales y otros, p. ej., la distribución de la vida silvestre y cambios en el uso del suelo, que podrían aumentar la exposición de las sociedades y ecosistemas locales. La vulnerabilidad social también puede aumentar, debido a que los programas de vigilancia y control pueden ser menos eficientes para detectar los CSI, el acceso deficiente a la atención médica veterinaria y humana, el bajo nivel educativo, o la destrucción de la biodiversidad que crea las condiciones para que surjan nuevos virus y enfermedades como COVID-19, enfermedad viral que surgió en China en diciembre de 2019, con un profundo impacto económico y para la salud planetaria. Para que las investigaciones sean útiles para la formulación de políticas, se requiere un fuerte liderazgo en salud pública, por lo que podrían beneficiarse de la colaboración con epidemiólogos veterinarios, para aprovechar su experiencia en epidemias en animales (Fodai et al., 2020). Al tiempo, no se debe olvidar que los orígenes de esta pandemia están relacionados con la degradación ambiental. Los conceptos One Health (una salud) y poste-



riormente One Welfare (un bienestar) reconocen las interconexiones entre el bienestar animal, el bienestar humano, la biodiversidad y el medio ambiente y se crearon para fomentar la colaboración interdisciplinar. Por tanto, se puede afirmar que el concepto One Welfare, que amplía el enfoque One Health, ofrece una propuesta moderna e integradora de la mejora del bienestar animal, medioambiental y humano respecto a las actuaciones contra el cambio climático.

#### *Enfermedades parasitarias*

Las infecciones por parásitos afectan de forma importante el bienestar, la salud y la productividad del ganado en extensivo, sobre todo en regiones templadas (Charlier et al., 2009). En este contexto, los nematodos gastrointestinales son parásitos importantes para el ganado, causando mortalidad y morbilidad. Debido a que una parte importante del ciclo de vida de estos parásitos se completa fuera del huésped, su supervivencia y desarrollo son susceptibles al CC.

El CC podría ser el promotor de la expansión de algunos parásitos en zonas alejadas de su hábitat natural. Los efectos del calentamiento global afectan a la relación del conjunto huésped-parásito-ambiente de forma que el incremento de la temperatura aumenta la tasa de supervivencia del parásito y sus niveles de distribución. Tal y como demuestran Fox et al. (2015), los cambios en los parámetros sensibles a la temperatura relacionados con la supervivencia y el desarrollo de las fases de vida libre de los parásitos, la supervivencia durante el invierno y los cambios de comportamiento del huésped también pueden afectar a la carga de parásitos a la que se exponen los animales de producción. De hecho, incluso alteraciones menores en la temperatura podrían causar cambios dramáticos en la intensidad de los brotes de enfermedades parasitarias. Los niveles de parásitos y la composición de las especies ya han cambiado con el cambio climá-

tico, con intensidad baja de nematodos en áreas recién colonizadas, pero donde los brotes repentinos a gran escala se están volviendo cada vez más comunes. A modo de ejemplo, los parásitos intestinales *Haemonchus Contortus* y el *Nematodirus Battus* han aumentado recientemente su distribución en los países nórdicos (Höglund et al., 2019). Los brotes de endoparásitos comprometen tanto el bienestar animal como la seguridad alimentaria, y, sin embargo, existen todavía pocas predicciones sobre cómo el cambio climático influirá en los parásitos del ganado (Fox et al., 2015).

#### ***Prácticas zootécnicas clave para el futuro***

La salud y el bienestar de los animales son parte integral de la sostenibilidad de los sistemas ganaderos. Los planes de mejora de la salud permiten no solo mejorar el bienestar de los animales sino también generar beneficios de productividad, mejorar la eficiencia de los sistemas ganaderos reduciendo así la cantidad de sustancias contaminantes producidas por los animales, como por ejemplo los GEI, al menos de forma relativa.

La capacidad de un individuo para recuperarse rápidamente del impacto de las enfermedades probablemente mejore su aptitud evolutiva, su bienestar y rendimiento. Para los animales de producción, sin embargo, su capacidad está más vinculada a valores económicos y éticos en lugar de indicadores evolutivos y de medio ambiente y son los primeros los más considerados para la selección genética. En este sentido, se han descrito dos conceptos denominados resiliencia y robustez (Tabla 1) siendo el bienestar animal el puente conector entre ambos conceptos (Colditz y Hine, 2016).

El ganado tiene el potencial de fortalecer su resistencia al CC. Sin embargo, se necesita una mejor comprensión de los datos sobre los daños potenciales y pérdidas causadas por el

cambio climático que, de momento, no se recopilan ni informan sistemáticamente (Mirski et al., 2012). Además, registrar y sintetizar datos de ganado es siempre un desafío porque los sistemas de producción son heterogéneos, las zonas agroecológicas variadas y, en la mayoría de los casos, con objetivos de producción distintos.

Dada la posibilidad de futuros cambios en las condiciones y los objetivos de la producción ganadera, es esencial que el valor que proporciona la diversidad genética de los animales esté asegurado. Esto requiere una mejor caracterización de las razas, sobre todo las

autóctonas, y de sus entornos de producción. Por ejemplo, mediante la compilación de inventarios más completos de cada raza que cuenten con mecanismos estandarizados para su monitorización. Cobran cada vez más importancia los programas de mejora genética orientados hacia rasgos de adaptación y rendimiento en las razas locales para responder a las amenazas futuras mediante diversidad genética mejorada. Debería promoverse, igualmente, un mayor apoyo a los países en desarrollo en su gestión de los recursos genéticos animales; y un mayor acceso a los conocimientos asociados (Hoffmann, 2010).

Tabla 1. Definiciones de adaptación, resiliencia y robustez. Fuente: IPCC (2019); Colditz y Hine (2016).  
Table 1. Definitions of adaptation, resilience and robustness. Source: IPCC (2019); Colditz and Hine (2016).

---

**Adaptación (adaptation)** Proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos. En los sistemas humanos, la adaptación trata de moderar o evitar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En algunos sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima real y proyectado y a sus efectos.

**Resiliencia (resilience)** capacidad de los animales para hacer frente a las perturbaciones ambientales a corto plazo y volver rápidamente a su estado inicial.

**Robustez (Robustness)** capacidad de mantener la productividad en una amplia gama de entornos sin comprometer la reproducción, la salud ni el bienestar.

---

### Papel del profesional del sector ganadero

La respuesta a estos desafíos requiere el desarrollo de la capacidad de adaptación, no solo para los agroecosistemas, sino también para profesionales del sector ganadero que deben mejorar su capacidad para afrontar riesgos añadidos, asociados al cambio climático.

Los veterinarios, por su conocimiento y experiencia, pueden desempeñar un papel clave tanto en la respuesta a los efectos del CC en la salud y el bienestar de los animales como en la vigilancia de enfermedades, con especial refuerzo a las CSI y la seguridad alimentaria. Además, deben colaborar con la co-

munidad para crear conciencia sobre el efecto del CC en la salud y el bienestar de los animales, así como en las zoonosis y la salud pública. Esto incluiría contribuir a las actividades de vigilancia de enfermedades, crear conciencia sobre los desafíos alimentarios de una población humana en crecimiento y promover prácticas ganaderas sostenibles que permitan mitigar el cambio global.

Mejorar la salud del ganado ofrece una posible "triple ganancia": mejor bienestar animal, mayor eficiencia de producción y mayor reducción de emisiones contaminantes (p. ej. los GEI) (Grossi et al., 2019). En este sentido, el deterioro de la salud animal reduce

la eficiencia de la utilización de alimentos para la producción y aumenta la intensidad de las emisiones de GEI (emisiones por kg de producto). La mejora de la salud de los animales permitiría una mejora del estado nutricional, la digestión y la utilización de alimentos, y la calidad y cantidad de producto obtenido, disminuyendo la tasa de eliminación, así como un aumento de la capacidad reproductiva (Özkan et al., 2016).

Para vincular de manera efectiva las condiciones de salud del ganado con las emisiones de GEI, se requiere información y modelos sobre la interacción bidireccional entre las condiciones de salud, las características de los animales, el manejo de enfermedades y su entorno y, viceversa, cómo las condiciones de salud afectan a estos elementos del sistema de producción. Así, Llonch et al. (2017) demostraron que la relación entre bienestar (incorporando la salud animal) tiene una relación bidireccional con las emisiones de GEI. Los autores demuestran cómo una mejora del bienestar animal permite reducir las emisiones, pero al mismo tiempo, la mitigación de los efectos del cambio climático tiene un efecto positivo sobre el bienestar de los animales. Mientras que los estudios de evaluación del ciclo de vida, han estimado el impacto de las emisiones de la enfermedad y su control, apenas existe información para permitir que los modelos actuales (a escala de granja) sean evaluados por su potencial para incorporar los impactos de las condiciones de salud y bienestar en las emisiones (Tallentire et al., 2018). La integración del bienestar animal en el análisis de ciclo de vida social (del inglés, S-LCA) permitiría mantener el foco en las Cinco Libertades del animal en la búsqueda de la sustentabilidad dentro de los sistemas ganaderos y será además un paso necesario para apoyar mejoras en la intercompatibilidad de los modelos de enfermedades y los modelos de emisiones de GEI.

## Implicaciones

El cambio climático puede modificar las condiciones en las que los ganaderos suelen operar mediante la introducción de nuevos niveles de incertidumbre, muchos de los cuales son desconocidos. Estas condiciones complejas y exigentes requieren nuevas motivaciones para adaptarse estratégicamente y hacer frente al cambio climático.

Los agentes implicados en la toma de decisiones, las instituciones de investigación y los servicios de extensión agraria y ganadera deben apoyar actividades ganaderas capaces de hacer frente a los efectos esperados del cambio climático en las próximas décadas.

A la luz de las evidencias presentadas, las decisiones y acciones relacionadas con los recursos del agroecosistema son clave para adaptar la agricultura y la ganadería a los efectos de un clima cambiante. Ello incluye estrategias sostenibles y por tanto que integren la promoción de la salud y la protección del bienestar animal.

El cambio climático está afectando a los ecosistemas naturales y a los sistemas de producción y la cadena alimentaria. Las mejoras en la sostenibilidad, la productividad y la competitividad del sector ganadero requieren una comprensión integral de los desafíos en la gestión de la granja, por parte de todos los agentes implicados en la ganadería, y en especial por los veterinarios, que integre el manejo y la biología de los animales como un sistema, tomando como pilar central la promoción del bienestar animal.

## Referencias bibliográficas

Altizer S, Bartel R, Han BA (2011). Animal migration and infectious disease risk. *Science* 311 (6015): 296-302. <https://doi.org/10.1126/science.1194694>

- Bender MA, Knutson TR, Tuleya RE, Sirutis JJ, Vecchi GA, Garner ST, Held IM (2010). Modeled impact of anthropogenic warming on the frequency of intense Atlantic hurricanes. *Science* 327: 454-458. <https://doi.org/10.1126/science.1180568>
- Bernabucci U, Lacetera N, Baumgard LH, Rhoads RP, Ronchi B, Nardone A (2010). Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal* 4(7): 1167-1183. <https://doi.org/10.1017/S175173111000090X>
- Bertocchi L, Vitali A, Lacetera N, Nardone A, Varisco G, Bernabucci U (2014). Seasonal variations in the composition of Holstein cow's milk and temperature-humidity index relationship. *Animal* 8: 667-674. <https://doi.org/10.1017/S1751731114000032>
- Boonkum W, Misztal I, Duangjinda M, Pattarajinda V, Tumwasorn S, Sanpote J (2011). Genetic effects of heat stress on milk yield of Thai Holstein crossbreds. *Journal of Dairy Science* 94: 487-492. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3421>
- CDCP (2015). About One Health. Centers for Disease Control and Prevention. Disponible en: <http://www.cdc.gov/onehealth/about.html> (Consultado: 30 marzo 2020).
- Carqueira J, Araújo J, Blanco-Penedo I, Cantalapiedra J, Silvestre M, Silva S (2016). Predicción de estrés térmico en vacas lecheras mediante indicadores ambientales y fisiológicos. *Archivos de Zootecnia* 65(251): 357-364. <https://doi.org/10.21071/az.v65i251.697>
- Charlier J, Sanders M, Vercruyse J (2009). The direct costs of infections with gastrointestinal nematodes and liver fluke in the Flemish dairy population. *Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift* 78: 196-200.
- Colditz IG, Hine BC (2016). Resilience in farm animals: biology, management, breeding and implications for animal welfare. *Animal Production Science* 56(12): 1961-1983. <https://doi.org/10.1071/AN15297>
- Compant S, Van Der Heijden M, Sessitsch A (2010). Climate change effects on beneficial plant-microorganism interactions. *Microbial Ecology* 73(2): 197-214. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2010.00900.x>
- De Miguel A, Hoekstra AY, García-Calvo E (2015). Sustainability of the water footprint of the Spanish pork industry. *Ecological Indicators* 57: 465-474. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.05.023>
- Drake BG, González-Meler MA, Long SP (1997). More efficient plants: A consequence of rising atmospheric CO<sub>2</sub>? *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 48: 609-639. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.48.1.609>
- Easterling WE, Aggarwal PK, Batima P, Brander KM, Erda L, Howden SM, Kirilenko A, Morton J, Soussana JF, Schmidhuber J, Tubiello FN (2007). Food, fibre and forest products. En: *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Ed. Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, Van der Linden PJ, Hanson CE), pp. 273-313. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- FAO (2007). Cambio climático y seguridad alimentaria: un documento marco. Resumen. Grupo de trabajo interdepartamental de la FAO sobre el cambio climático, Roma, Italia. 21 pp.
- FAO (2009). La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y opciones. (Ed. Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T, Castel V, Rosales M, de Haan C). Roma. Italia. 464 pp.
- FAWC (1992). Farm Animal Welfare Council. FAWC updates the five freedoms *Veterinary Record* 17: 357.
- FAWC (1993). Farm Animal Welfare Council. Second Report on Priorities for Research and Development in Farm Animal Welfare. London: DEFRA.
- Foddai A, Lindberg A, Lubroth J, Ellis-Iversen J (2020). Surveillance to improve evidence for community control decisions during the COVID-19 pandemic – Opening the animal epidemic toolbox for Public Health. *One Health* 9: 100130. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2020.100130>
- Forzieri G, Girardello M, Ceccherini G, Mauri A, Spinoni J, Beck P, Feyen L and Cescatti A (2020). Vulnerability of European forests to natural

- disturbances, EUR 29992 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. <https://doi.org/10.2760/736558>
- Fox NJ, White PCL, McLean CJ, Marion G, Evans A, Hutchings MR (2011). Predicting impacts of climate change on *Fasciola hepatica* risk. *PLoS One* 6: e16126. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0016126>
- Fox NJ, Marion G, Davidson RS, White PCL, Hutchings MR (2015). Climate-driven tipping-points could lead to sudden, high-intensity parasite outbreaks. *Royal Society Open Science* 2(5): 140296. <https://doi.org/10.1098/rsos.140296>
- Fu HJ, Yuan LP, Shen YD, Liu YX, Liu B, Zhang SW, Xie ZX, Lei HT, Sun YM, Xu ZL (2018). A full-automated magnetic particle-based chemiluminescence immunoassay for rapid detection of cortisol in milk. *Analytica Chimica Acta* 1035: 129-135. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2018.06.015>
- Galán E, Llonch P, Villagrà A, Levit H, Pinto S, del Prado A (2018). A systematic review of non-productivity-related animal-based indicators of heat stress resilience in dairy cattle. *PLoS One* 13 (11): e0206520. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206520>
- Gauly M, Bollwein H, Breves G, Brügemann K, Dänicke S, Da G, Demeler J, Hansen H, Isselstein J, König S, Lohölter M, Martinsohn M, Meyer U, Potthoff M, Sanker C, Schröder B, Wrage N, Meibaum B, von Samson-Himmelstjerna G, Stinshoff H, Wrenzycki C (2013). Future consequences and challenges for dairy cow production systems arising from climate change in Central Europe – a review. *Animal* 7(5): 843-859. <https://doi.org/10.1017/S1751731112002352>
- Grace D, Bett B, Lindahl J, Robinson T (2015). Climate and Livestock Disease: assessing the vulnerability of agricultural systems to livestock pests under climate change scenarios. CCAFS Working Paper no. 116. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS), Copenhagen.
- Grossi G, Goglio P, Vitali A, Williams AG (2019). Livestock and climate change: impact of livestock on climate and mitigation strategies. *Animal Frontiers* 9(1): 69-76. <https://doi.org/10.1093/af/vfy034>
- Haynes RJ, Willians PH (1993). Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances in Agronomy* 49: 119-199. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60794-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60794-4)
- Herrero M, Henderson B, Havlík P, Thornton PK, Conant RT, Smith P, Wirsenius S, Hristov AN, Gerber P, Gill M, Butterbach-Bahl K, Valin H, Garnett T, Stehfest E (2016). Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. *Nature Climate Change* 6(5): 452-461. <https://doi.org/10.1038/nclimate2925>
- Hoffmann I (2010). Climate change and the characterization, breeding and conservation of animal genetic resources. *Animal Genetics* 41(S1): 32-46. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2010.02043.x>
- Höglund J, Elmahalawy ST, Halvarsson P, Gustafsson K (2019). Detection of *Haemonchus contortus* on sheep farms increases using an enhanced sampling protocol combined with PCR based diagnostics. *Veterinary Parasitology: X* 2: 100018. <https://doi.org/10.1016/j.vpoa.2019.100018>
- Horowitz M (2002). From molecular and cellular to integrative heat defence during exposure to chronic heat. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 131: 475-483. [https://doi.org/10.1016/S1095-6433\(01\)00500-1](https://doi.org/10.1016/S1095-6433(01)00500-1)
- IPCC (2019). IPCC: Climate Change and Land. IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems, Geneva, Switzerland.
- Kadzere CT, Murphy MR, Silanikove N, Maltz E (2002). Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock Production Science* 77: 59-91. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00330-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00330-X)
- Kaeslin E, Redmond I, Dudley N (2013). La fauna silvestre en un clima cambiante. Estudios FAO: Montes. Roma, Italia. 122 pp.
- Kuczynski T, Blanes-Vidal V, Li B, Gates RS, de Alencar Nääs I, Moura DJ, Berckmans D, Banhazi TM (2011). Impact of global climate change on the health, welfare and productivity of intensively housed livestock. *International Journal of Agri-*



- cultural and Biological Engineering 4(2): 2-22. <https://doi.org/10.3965/j.issn.1934-6344.2011.02.001-022>
- Lind V, Nielsen A (2014). Climate impacts on autumn lamb weight. En: Forage resources and ecosystem services provided by Mountain and Mediterranean grasslands and rangelands (Eds. Baumont R, Carrère P, Jouven M, Lombardi G, López Francos A, Martín B, Peeters A, Porqueddu C), pp: 327-332. Zaragoza CIHEAM /INRA/FAO/VetAgro Sup Clermont Ferrand/Montpellier Sup Agro
- Liu YX, Zhou X, Li DQ, Cui QW, Wang GL (2010). Association of ATP1A1 gene polymorphism with heat tolerance traits in dairy cattle. *Genetics and Molecular Research* 9: 891-896. <https://doi.org/10.4238/vol9-2gmr769>
- Llonch P, Haskell MJ, Dewhurst RJ, Turner SP (2017). Current available strategies to mitigate greenhouse gas emissions in livestock systems: an animal welfare perspective. *Animal* 11(2): 274-284. <https://doi.org/10.1017/S1751731116001440>
- Llonch P, Mainau E, Ipharraguerre IR, Bargo F, Tedó G, Blanch M, Manteca X (2018). Chicken or the egg: The reciprocal association between feeding behavior and animal welfare and their impact on productivity in dairy cows. *Frontiers in Veterinary Science* 5: 305. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00305>
- Marques J, Cunha L, Moya D (2011). Bienestar animal en sistemas silvopastoriles. *Revista Colombiana de Ciencia Animal* 4(1): 79-87.
- McDonald, PV, von Keyserlingk MAG, Weary DM (2020). Technical note: Using an electronic drinker to monitor competition in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 102: 3495-3500. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15585>
- Mirski T, Bartoszcze M, Bielawska-Drózd A (2012). Impact of climate change on infectious diseases. *Polish Journal of Environmental Studies* 21(3): 525-532.
- Molee A, Bundasak B, Kuadsantiat P, Mernkrathoke P (2011). Suitable percentage of Holstein in crossbred dairy cattle in climate change situation. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 10(7): 828-831. <https://doi.org/10.3923/javaa.2011.828.831>
- Nardone A, Ronchi B, Lacetera N, Ranieri MS, Bernabucci U (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science* 130: 57-69. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.011>
- Omazic A, Bylund H, Boqvist S, Högberg A, Björkman C, Tryland M, Evengård B, Koch A, Berggren C, Malogolovkin A, Kolbasov D, Pavelko N, Thierfelder T, Albiñ A (2019). Identifying climate-sensitive infectious diseases in animals and humans in Northern regions. *Acta Veterinaria Scandinavica* 61: 53. <https://doi.org/10.1186/s13028-019-0490-0>
- Özkan , Vitali A, Lacetera N, Amon B, Bannink A, Bartley DJ, Blanco-Penedo I, de Haas Y, Dufresne I, Elliott J, Eory V, Fox NJ, Garnsworthy PC, Gengler N, Hammami H, Kyriazakis I, Leclère D, Lessire F, Macleod M, Robinson TP, Ruete A, Sandars DL, Shrestha S, Stott AW, Twardy S, Vanrobays ML, Ahmadi BV, Weindl I, Wheelhouse N, Williams AG, Williams HW, Wilson AJ, Østergaard S, Kipling RP (2016). Challenges and priorities for modelling livestock health and pathogens in the context of climate change. *Environmental Research* 151: 130-144. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.07.033>
- Perry BD, Grace A, Sones K (2013). Current drivers and future directions of global livestock disease dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110: 20871-20877. <https://doi.org/10.1073/pnas.1012953108>
- Rauw WM, Kanis E, Noordhuizen-Stassen EN, Grommers FJ (1998). Undesirable side effects of selection for high production efficiency in farm animals: a review. *Livestock Science* 56(1): 15-33. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(98\)00147-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(98)00147-X)
- Roca-Fernández AI, O'Donovan MA, Curran J, González-Rodríguez A (2011). Effect of pre-grazing herbage mass and daily herbage allowance on perennial ryegrass swards structure, pasture dry matter intake and milk performance of Holstein-Friesian dairy cows. *The Spanish Journal of Agricultural Research* 9: 86-99. <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/20110901-126-10>

- Strutzke S, Fiske D, Hoffmann G, Ammon C, Heuwieser W, Amon T (2019). Technical note: Development of a non-invasive respiration rate sensor for cattle. *Journal of Dairy Science* 102(1): 690-695. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14999>
- Tallentire CW, Edwards SA, Van Limbergen T, Kyriazakis I (2018). The challenge of incorporating animal welfare in a social life cycle assessment model of European chicken production. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 24: 1093-1104. <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1565-2>
- Taylor LH, Latham SM, Woolhouse ME (2001). Risk factors for human disease emergence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B. Biological Sciences* 356(1411): 983-989. <https://doi.org/10.1098/rstb.2001.0888>.
- Thornton P, Herrero M, Freeman A, Mwai O, Rege E, Jones P, McDermott J (2007). Vulnerability, climate change and livestock: Research opportunities and challenges for poverty alleviation. *Journal of SAT Agricultural Research* 4(1): 1-23.
- Trenberth KE, Davis CA, Fasullo J (2007). Water and energy budgets of hurricanes: case studies of Ivan and Katrina. *Journal of Geophysical Research* 112: D23106. <https://doi.org/10.1029/2006JD008303>
- Trenberth KE (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research* 47: 123-138. <https://doi.org/10.3354/cr00953>
- UNEP (2016). *UNEP Frontiers 2016 Report: Emerging issues of environmental concern*. United Nations Environment Programme, Nairobi.
- Vitali A, Segnalini M, Bertocchi L, Bernabucci U, Nardone A, Lacetera N (2009). Seasonal pattern of mortality and relationships between mortality and temperature-humidity index in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 92(8): 3781-90. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2127>
- Wheeler T, Reynolds C (2013). Predicting the risks from climate change to forage and crop production for animal feed. *Animal Frontiers* 3(1): 36-41. <https://doi.org/10.2527/af.2013-0006>
- Whitehead DC (1995). *Grassland nitrogen*. Wallingford, UK: CAB International.
- Wittmann EJ, Mellor PS, Baylis M (2001). Using climate data to map the potential distribution of *Culicoides imicola* (Diptera: Ceratopogonidae) in Europe. *Revue scientifique et technique* 20(3): 731-40. <https://doi.org/10.20506/rst.20.3.1306>
- (Aceptado para publicación el 12 de agosto de 2020)