itea

información técnica económica agraria

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO



Volumen 116
Número 5
Diciembre 2020

50 Aniversario

aida-itea.org

Volumen Especial

Emergencia Climática y Medioambiental

itea

Información Técnica Económica Agraria
Revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario
www.aida-itea.org

2020- AÑO LI Vol. 116 N.º 5 http://dx.doi.org/10.12706/itea	**DIRECCIÓN Y REDACCIÓN** Avda. Montañana, 930 50059 ZARAGOZA (ESPAÑA) Tel.: 34-976 716305 Fax.: 34-976 716335 E-mail: direccion@aida-itea.org	Depósito legal: Z-577-82 ISSN: 2386-3765 INO Reproducciones, S.A. Pol. Malpica, calle E, 32-39 (INBISA II, nave 35) 50016 Zaragoza

DIRECTOR: Albina Sanz, CITA de Aragón. España

EDITORES CIENTÍFICOS: José Manuel Alonso, CITA de Aragón. España
Javier Álvarez, Universidad de Lleida. España
Alicia Cirujeda, CITA de Aragón. España
Paula Gaspar, Universidad de Extremadura. España
Gabriel Pardo, CITA de Aragón. España
Helena Resano, IA2-Universidad de Zaragoza. España.
Guillermo Ripoll, CITA de Aragón. España
Ana Isabel Sanjuán, CITA de Aragón. España

EDITOR TÉCNICO: María Salillas, Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario. España

COMITÉ DE REDACCIÓN: Alfonso Abecia, Universidad de Zaragoza. España.
Jorge Álvaro, EEAD Zaragoza. España
Arancha Arbeloa, EEAD Zaragoza. España
Carlos Calvete, CITA de Aragón. España
Fernando Escriu, CITA de Aragon. España
Vicente González, CITA de Aragón. España
Cristina Mallor, CITA de Aragón. España
Javier Rodrigo, CITA de Aragón. España

COMITÉ ASESOR: Ricardo Aké, Universidad Autónoma de Yucatán, México • Joaquim Balcells, Universidad de Lleida, España • Carlos Cantero, Universidad de Lleida, España Mª Elena Daorden, INTA, Argentina • Mª José Díez, Universidad Politécnica de Valencia, España • Miguel Gómez, Cornell University EEUU • Margarita López, Centro de Investigación Agraria "Finca La Orden-Valdesequera", España • Ana Meikle, Universidad de la República, Uruguay • Camilla Moonen, Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, Italia • Mª Teresa Muiño, Universidad de Zaragoza, España • César Revoredo-Giha, SAC, Reino Unido • Ricardo Revilla, España • José Antonio Rubio, ITACYL, España Pierre Sans, École Nationale Vétérinaire de Toulouse, Francia • Guillermo Studdert, Universidad del Mar del Plata, Argentina • Alfredo Teixeira, Escola Superior Agrária de Bragança, Portugal • Luis Varona, Universidad de Zaragoza, España

ITEA-Información Técnica Económica Agraria aparece indexada en SCI Expanded, Journal Citation Reports/Science Editions, ICYT,CABI, SCOPUS y EBSCO.

Prohibida toda reproducción total o parcial sin autorización expresa de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario, Editor titular del copyright. ITEA no se responsabiliza necesariamente de las opiniones vertidas en los artículos firmados que publica, cuya responsabilidad corresponde a sus autores.

https://www.aida-itea.org/index.php/revista-itea/presentacion-itea



Foto y texto: Enrique Muñoz

Los sistemas ganaderos de montaña, como el de Picos de Europa de la portada, se caracterizan por el uso de prácticas tradicionales como el pastoreo en valles, montes y puertos de montaña, adaptándose a los recursos y sus ciclos naturales. La situación de emergencia climática y ecológica hace necesario reflexionar sobre el papel del sector agroalimentario, valorando tanto la necesidad de mitigación como las posibilidades de adaptación.

Las emisiones de los sectores agrícola y ganadero están en el punto de mira de la sociedad, que presiona por un aumento de la sostenibilidad, reflejado institucionalmente en Europa a través de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y el Pacto Verde Europeo. En este contexto, las prácticas y manejos tradicionales, vinculados al territorio y adaptados a su entorno natural, son una oportunidad tanto para revitalizar las áreas rurales desfavorecidas y cada vez más reivindicadas, como para apoyar modelos agrícolas y ganaderos que provean de bienes y servicios fundamentales como la biodiversidad, el secuestro de carbono o la prevención de incendios, más necesarios que nunca frente a la emergencia climática.

Editorial

Revista ITEA 1970-2020: Cincuenta años al servicio del mundo agrario

Ha pasado medio siglo desde que la asociación AIDA publicara en 1970 el primer volumen de la Revista ITEA-Información Técnica Económica Agraria. A día de hoy, ITEA sigue siendo un referente fundamental de la Asociación AIDA, fundada en 1967 con el propósito de difundir conocimientos en investigación agraria entre sus socios y a la comunidad científica, así como de contribuir al avance científico del país. La Revista ITEA mantiene su actividad de difusión en abierto de la investigación científico-técnica al conjunto de la sociedad, y se encuentra indexada en las bases de datos de revistas científicas más importantes a nivel internacional. Uno de los últimos logros de la revista ha sido la concesión en 2014 del sello de calidad que otorga la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), como reconocimiento a la calidad editorial y científica, y que viene renovándose de forma anual desde entonces.

En noviembre de 2019, a raíz de la declaración del **estado de emergencia climática y medioambiental** a nivel global por parte del Parlamento Europeo, nos pareció de máximo interés dedicar un volumen especial al tema para apoyar tal medida. Han sido muchos los países, ciudades, administraciones locales, universidades y científicos que han adoptado esta agenda como respuesta al cambio climático, para lograr reducir las emisiones de carbono a cero en un plazo determinado y ejercer presión política a los gobiernos para que tomen conciencia sobre la situación de la crisis ambiental existente. En el caso europeo, el Parlamento solicitó a la Comisión el compromiso de: i) limitar el calentamiento global a un máximo de 1,5°C; ii) reducir las emisiones de gases de efecto invernadero un 55% para 2030 en el "Pacto Verde europeo"; y iii) neutralizar la totalidad de sus emisiones de gases de efecto invernadero para 2050. Hace ahora un año la Cumbre del Clima (COP25) reunió en Madrid a más de 25.000 representantes de 200 países, para alcanzar acuerdos y compromisos entre naciones para combatir los efectos del cambio climático. Se trataron temas como la energía y el consumo de combustibles fósiles, y también otros aspectos influyentes en la sostenibilidad medioambiental del modelo económico, como la Economía Circular. Durante esos días, el cambio climático fue uno de los temas más importantes a nivel mundial. Nunca antes se había visto una concienciación similar ante los retos medioambientales. La llegada de la pandemia de COVID-19 desvió inicialmente la atención de la agenda de emergencia climática. Sin embargo, un año después, el estado de emergencia climática vuelve a copar las portadas de los periódicos.

Lo deseable ante esta situación de emergencia climática sería que las decisiones políticas estén basadas en los conocimientos disponibles y la evidencia científica. Desde la Revista ITEA queremos contribuir a la difusión de conocimiento relevante con este volumen especial, que recoge siete revisiones de aspectos relativos al cambio climático y la producción de cultivos herbáceos, la gestión de malas hierbas, el bienestar animal o el consumo de carne, así como sus impactos sobre la producción ganadera de rumiantes y monogástricos, tanto en sistemas extensivos como intensivos. Os invitamos a reflexionar sobre el papel del sector agroalimentario, sin perder de vista que las emisiones de los sectores agrícola y ganadero están en el punto de mira de la sociedad. Sin embargo, según el último informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, la agricultura y la ganadería bien gestionadas no serían el problema, sino que pueden ser una parte importante de la solución a esta emergencia climática.

Desde la Revista ITEA nos unimos así al consenso generalizado de la comunidad científica, que reclama una acción urgente para salvaguardar el medio ambiente, la salud y la seguridad de la ciudadanía, en línea con la estrategia "One Health" de colaboración entre la sanidad humana, la sanidad animal y la sanidad medioambiental. Además, la pandemia de COVID-19 ha puesto de manifiesto que nuestro sector agroalimentario es esencial para garantizar una dieta adecuada para todas las personas, y está demostrando cada día la necesidad imperiosa de trabajar en el desafío de la agricultura actual de "Un mundo, una salud".

Queremos hacer un reconocimiento a todas las personas que han colaborado con la revista ITEA durante estos 50 años, y en especial debemos agradecer la labor titánica que han desempeñado directores, editores, autores, evaluadores y lectores de la revista ITEA. Gracias a su perseverancia y al apoyo incondicional de la Junta directiva de AIDA, la revista ITEA celebra su cincuentenario con un aumento del índice de impacto JCR y del número de manuscritos que recibe la revista, y que tan bien gestionan el actual equipo editorial. Este equipo que desde sus inicios fue mayoritariamente masculino en 2020 ha invertido los términos. La Revista ITEA seguirá adaptándose a los tiempos y a las necesidades que demanda el sector.

La ciencia es más necesaria que nunca para afrontar retos como la emergencia climática y la crisis sanitaria que sufre nuestro planeta, y por ello os animamos a seguir participando en todas las actividades impulsadas desde AIDA-ITEA.

Albina Sanz
Directora de la Revista ITEA

Equipo Editorial ITEA 1970-2020

DIRECTORES

Miguel Mut Catalá (1968-1970)
Luis Rallo Romero (1970-1971)
Pedro Cabezuelo Pérez (1971-1974)
Fernando de Arieta y González-Tablas (74-79)
Manuel Catalán Calvo (1979-1989)
José Valderrábano Núñez (1989-1991)
Carlos Zaragoza Larios (1991-1995)
Pere Albertí Lasalle (1995-1999)
Eduardo Notivol Paíno (1999-2003)
Juan A. Marín Velázquez (2003-2013)
Clara Mª Marín Alcalá (2013-2019)
Albina Sanz Pascua (2019-)

SUBDIRECTORES

Bernardo Roselló Beltrán (1968-1971)
Emilia Puig Amorós (1971-1989)
Carlos Zaragoza Larios (1989-1991)
Joaquín Uriarte Abad (1991-2013)
Pilar Andreu Puyal (2013-2017)

EDITORES TÉCNICOS

Mireia Blanco Alibés (2014-2017)
María Salillas Fernández (2017-)

SECRETARIOS (1968-1988) EDITORES CIENTÍFICOS (1988-)

Emilia Puig Amorós (1968-1971)
Fernando de Arieta y González-Tablas (71-74)
Mª Rosa Vericat Núñez (1974-1975)
Ramiro Gil Ortega (1975-1984)
Carlos Zaragoza Larios (1984-1989)
José Valderrábano Núñez (1988-1989)
José Mª Álvarez Álvarez (1989-1995)
Pere Albertí Lasalle (1989-1995)
Eduardo Notivol Paíno (1995-1999)
José Luis Alabart Álvarez (1995-1999)
Pilar Andreu Puyal (1999-2012)
Clara Mª Marín Alcalá (1999-2012)
Albina Sanz Pascua (2011-2019)
Ramón Isla Climente (2012-2018)
Azucena Gracia Royo (2012-2016)
Alicia Cirujeda Ranzenberger (2014-)
Alfonso Abecia Martínez (2016-2019)
Ana Isabel Sanjuán López (2016-)
José Manuel Alonso (2018-)
Javier Álvarez Rodríguez (2018-)
Gabriel Pardo Sanclemente (2019-)
Guillermo Ripoll García (2019-)
Paula Gaspar García (2020-)
Helena Resano Ezcaray (2020-)

aida-itea.org

Agradecimiento

Desde el Comité editorial de la Revista ITEA-Información Técnica Económica Agraria, queremos agradecer a todos los evaluadores de artículos su colaboración con la Revista ITEA. Cada artículo precisa para su publicación en una revista indexada de una evaluación "por pares", interviniendo a menudo en el proceso de evaluación un tercer evaluador. A lo largo del 2020, han colaborado en el proceso de evaluación de los artículos publicados en la Revista ITEA 61 revisores. Conocedores de que la evaluación de un artículo para su publicación es una tarea que resta al investigador tiempo de dedicación a sus trabajos de investigación y que a menudo el evaluador realiza esta revisión en su tiempo libre, hacemos pública la relación de evaluadores de artículos publicados en la Revista ITEA en el año 2020 en señal de agradecimiento, haciendo notar que algunos evaluadores desean permanecer en el anonimato, por lo que la relación no es completa.

Joaquín Aibar Lete
Marta Elena Alonso de la Varga
Juan Aparicio
María Arias Álvarez
Fernando Bastida Milián
Inmaculada Batalla
Rubén Bermejo-Poza
Jorge Birgi
Raúl Bodas Rodríguez
Margarita Brugarolas
José Juan Cáceres Hernández
Salvador Calvet Sanz
Carlos Cantero Martínez
Ángel Luis Ceular Villacé
Alfonso J. Chay-Canul
Juan Pablo Damián
Emiliano De Pedro
Aurora Díaz Bermúdez
Miguel Escribano
Samuel Esteban Rodríguez
César Fernández-Quintanilla
Maria Antonia Flores Cordova
José L. González Andújar
M. Dolores Guerrero-Baena
Juan Antonio Lezáun San Martín
Pol Llonch
Carlos López Mazz
Iñigo Loureiro Beldarrain
Lluís Luján
Miguel Ángel Magaña Magaña
Thiago Luís Magnani Grassi
Juan Manuel Mancilla-Leyton
Vicente S. Marco Mancebón
Daniel Martín Collado
Francisco J. Medina-Albaladejo
Sergio Moreno Limón
Nuria Nicodemus Martín
Rosa Nieto
José María Osca Lluch
Maribel Plascencia
Jordi Recasens Guinjuan
Helena Resano
Guillermo Ripoll
Tamara Rodríguez Ortega
Sonia Roig Gómez
Ana Isabel Sanjuán López
Jesús Selfa
Marta Terré
Pablo G. Toral
Vicente E. Vega-Murillo
Carlos Zaragoza Larios

Sumario

Revista ITEA 1970-2020: Cincuenta años al servicio del mundo agrario

Volumen Especial: Estado de Emergencia Climática y Medioambiental

Producción Vegetal

Efecto del cambio climático en cultivos herbáceos de secano.
Effect of climate change on rainfed herbaceous crops.
C. Lacasta, M.M. Moreno, C. Moreno y R. Meco 380

Impacto del cambio climático sobre los sistemas de gestión de malas hierbas.
Impact of climate change of weed management systems.
C. Fernández-Quintanilla y J. Barroso 396

Producción Animal

Crisis climática y Objetivos de Desarrollo Sostenible: un enfoque desde la perspectiva de la producción animal, el consumo de carne y los efectos sociales.
Climatic shock and Sustainable Development Goals: an approach from the perspective of animal production, meat consumption and its social effects.
A. Guerrero, J.D. Gómez-Quintero y J.L. Olleta 405

Impacto del cambio climático sobre el bienestar animal en los sistemas ganaderos.
Climate change impacts on animal welfare in livestock systems.
I. Blanco-Penedo, J. Cantalapiedra y P. Llonch 424

Ganadería extensiva frente al cambio climático en España.
Extensive livestock farming against climate change in Spain.
M. Pateiro, P.E.S. Munekata, R. Domínguez y J.M. Lorenzo 444

Impactos y adaptación al cambio climático en rumiantes.
Impacts and adaptations to climate change in ruminants.
A. del Prado, E. Galán, I. Batalla y G. Pardo 461

La alimentación en producción intensiva de animales monogástricos: Un elemento clave para reducir su impacto ambiental.
Feeding in monogastric animals: A key element to reduce its environmental impact.
A. Cerisuelo y S. Calvet 483

Efecto del cambio climático en cultivos herbáceos de secano

C. Lacasta[1], M.M. Moreno[2,*], C. Moreno[2] y R. Meco[3]

[1] Finca Experimental La Higueruela, del Museo Nacional de Ciencias Naturales, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Toledo, España
[2] Universidad de Castilla-La Mancha. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Ciudad Real, España
[3] Servicio de Investigación de la Consejería de Agricultura de Castilla-La Mancha. Toledo, España

Resumen

Los cultivos herbáceos en ambientes mediterráneos de secano se enfrentan a un gran desafío por la pervivencia ante el cambio climático. La intensificación de los déficits hídricos y los eventos más frecuentes de alta temperatura durante finales de la primavera (abril-junio), coincidiendo con la etapa de llenado del grano de muchas especies, producen pérdidas medias continuas de rendimiento. En la Finca Experimental La Higueruela (Toledo, España) ubicada en un entorno agrícola mediterráneo típico del secano español, se analiza cómo diferentes variables meteorológicas están afectando a los cultivos de cereal, garbanzo, girasol y veza en manejos convencional y ecológico. Para ello se han utilizado dos experimentos de larga duración (27 años), uno con manejo convencional y otro con ecológico, en los que se han ensayado cuatro rotaciones: Cebada-Cebada (C-C), Cebada-Garbanzo (C-GAR), Cebada-Girasol (C-GIR), Cebada-Veza forraje (C-VF).

Los resultados indicaron que las variables meteorológicas que han registrado un mayor aumento con el tiempo durante el periodo del ensayo son la temperatura media anual del año agrícola y las correspondientes a los meses estivales, siendo la precipitación registrada durante el mes de mayo, así como el periodo de heladas, las variables que más han disminuido. Los cultivos más afectados negativamente fueron el garbanzo y el girasol en ambos manejos y la cebada en ecológico, mientras que la veza forraje se vería favorecida en estas condiciones, especialmente en manejo ecológico, debido a su ciclo de cultivo.

Palabras clave: Cereal, garbanzo, girasol, veza forraje, fertilización, manejo ecológico.

Effect of climate change on rainfed herbaceous crops

Abstract

Herbaceous crops in Mediterranean dryland environments face a great challenge for survival in the scene of climate change. The intensification of water deficits and the most frequent high temperature events during the late spring (April-June), coinciding with the grain filling stage of many species, leads to continuous yield losses. In the Experimental Farm La Higueruela (Toledo, Spain), located in a typical Mediterranean agricultural environment of the Spanish dry land, it is analyzed how different meteorological variables are affecting cereal, chickpea, sunflower and vetch crops under conventional and ecological management. For this purpose, two long-term experiments (27 years) have been carried out, con-

* Autor para correspondencia: martamaria.moreno@uclm.es

Cita del artículo: Lacasta C, Moreno MM, Moreno C, Meco R (2020). Efecto del cambio climático en cultivos herbáceos de secano. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 116(5): 380-395. https://doi.org/10.12706/itea.2020.037

ventional end ecological managements, in which four crop rotations have been tested: Barley-Barley (CC), Barley-Chickpea (C-GAR), Barley -Sunflower (C-GIR), Barley-Vetch forage (C-VF).

The results indicated that the meteorological variables that have registered a greater increase over time during the trial period are the average annual temperature of the agricultural year and those corresponding to the summer months, with the precipitation recorded during the month of May, as well as the frost period, the variables that have suffered the highest decrease. The most negatively affected crops were chickpea and sunflower in both agricultural managements and barley in organic farming, while the forage vetch would be favored in these conditions, especially in ecological management, due to its cultivation period.

Keywords: Cereals, checkpea, sunflower, forage vetch, fertilization, ecological management.

Introducción

La principal variable a la que debe adaptarse la vida, y por tanto la agricultura que se desarrolla en una región, es el clima. La excepcionalidad del clima mediterráneo se basa en la coincidencia en el tiempo de las máximas temperaturas, y por tanto de la máxima evapotranspiración, con el de mínimas o nulas precipitaciones, lo que provoca un gran estrés hídrico estival al que deben adaptarse, en primera instancia, todos los ecosistemas. En el resto de ambientes, sin embargo, es común que las lluvias coincidan con los momentos térmicos más favorables para el desarrollo de las plantas. El privilegio del clima mediterráneo de contar con mejor dotación térmica, mayor intensidad de radiación y número de horas anuales de sol para producir biomasa vegetal, se encuentra en inferioridad de condiciones frente a los países del norte de Europa por no disponer del agua necesaria en el momento de mayor demanda.

Estos ambientes mediterráneos se enfrentan a un gran desafío por la pervivencia ante el cambio climático (Eigenbrode *et al*., 2018). La intensificación prevista de los déficits hídricos y los eventos más frecuentes de alta temperatura durante finales de la primavera (abril-junio), coincidiendo con la etapa de llenado del grano de muchas especies, provocará pérdidas medias continuas de rendimiento (Asseng *et al*., 2011). En este escenario de aumento de déficits hídricos, los cultivos de primavera asociados a las rotaciones de cereales, como puede ser el garbanzo, guisante y girasol, es de prever que serán los que más sufrirán las consecuencias negativas (Koocheki *et al*., 2006).

Sin duda la mayor vulnerabilidad ante el cambio climático lo presenta la agricultura de secano. Es esperable que el cambio climático aumente la variabilidad intra e interanual, alargando los períodos entre lluvias y los cambios espaciales y temporales en los patrones de precipitación, dificultando los esfuerzos para abordar los problemas de rendimientos crónicamente bajos y la alta volatilidad en los niveles de producción interanual, lo que conlleva un aumento de la pobreza, así como unas bajas tasas de desarrollo en las zonas de secano (Valverde *et al.,* 2015).

Hay coincidencia entre los autores en que, en las zonas cálidas y secas, los rendimientos se limitarán cada vez más por la disminución de la disponibilidad de agua y por el aumento de la temperatura, incrementando además la variabilidad del rendimiento durante las próximas décadas (Eitzinger *et al*., 2013; Ray *et al*., 2018). De igual forma, hay una gran incertidumbre de la respuesta al rendimiento por el clima cuando los estudios se regionalizan (Zhu *et al*., 2019). Tanto estos autores como otros citados en sus estudios, coinciden en que el cambio climático es una amenaza

creíble y devastadora. Por ello proponen, con objeto de mantener la productividad de los cultivos en todo el mundo, realizar una gestión adaptativa que incluya, entre otras actuaciones, cambio de fechas de siembra de los cultivos, sustitución de cultivares y diversificación de los sistemas productivos con objeto de generar mayor biodiversidad y conseguir una mayor resiliencia de los sistemas agrarios de secano. Otra de las soluciones propuestas para minimizar la influencia del cambio climático en la productividad de los cultivos herbáceos de secano sería sembrar otros cereales o cultivos con mayor tolerancia a las nuevas condiciones (Wang *et al*., 2018).

El objetivo de este trabajo es determinar qué manejo se adapta mejor al nuevo escenario de cambio climático. Para ello se realizaron dos experimentos de larga duración (1992-2019) de diferentes rotaciones de dos hojas basadas en cultivo de cereal, uno con manejo ecológico y el otro con manejo convencional, utilizando los cultivos de cebada, garbanzo, girasol y veza forraje.

Material y métodos

Descripción de la zona de estudio

Los datos de este trabajo provienen de dos experimentos de larga duración, uno con manejo convencional y el otro con manejo ecológico. Ambos experimentos comprenden desde la campaña 1992/93 hasta la de 2018/19, teniendo por tanto una duración de 27 años (a lo largo del texto, cuando se alude al año 1993 se hace referencia a la campaña agrícola 1992/93, adoptándose este criterio en todos los años del ensayo). Dichos ensayos se realizaron en la Finca Experimental La Higueruela, perteneciente al Museo Nacional de Ciencias Naturales del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), ubicada en Santa Olalla (Toledo, España) (40°3' N, 4°26' W, 450 m s.n.m.). Ambos manejos difieren básicamente en que en el convencional se emplean agroquímicos, fertilizantes y herbicidas, mientras que en el ecológico no se realiza este tipo de aportes.

El suelo se clasifica como vertisol, de textura arcillosa uniforme, profundo, con una gran capacidad de retención de agua, difícil de trabajar dada su dispar consistencia en los grados extremos de humedad, con velocidad de infiltración pequeña y en el que los mecanismos de expansión y contracción superan las posibles consecuencias de la suela de labor.

Variables meteorológicas

Para definir el cambio climático en el periodo de estudio considerado, se analizó la evolución temporal de 37 variables meteorológicas: precipitaciones: anuales del año agrícola (septiembre a agosto), mensuales de enero a diciembre, de septiembre a marzo, de abril-mayo, de antes de la siembra otoñal, del verano anterior a la siembra otoñal (julio a septiembre); temperaturas: media anual del año agrícola (septiembre a agosto), medias mensuales de enero a diciembre, media de abril-mayo, media del verano (junio a septiembre), nº de días de mayo con Tª > 30 ºC, nº de días de junio con Tª > 30 ºC; heladas: nº de días de heladas en marzo, nº de días de heladas en abril y nº anual de días de helada.

Los datos fueron obtenidos de la estación meteorológica ubicada en la finca, perteneciente a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), con el número 3358b.

Diseño experimental y técnicas de cultivo

Ambos experimentos, ecológico y convencional, se realizaron en la misma parcela agrícola con una separación de 50 metros y empleando el mismo diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticio-

nes. Se ensayaron cuatro rotaciones de cultivos basadas en el cultivo de cebada: cebada-veza forraje (C-VF), cebada-garbanzo (C-GAR), cebada-girasol (C-GIR) y monocultivo de cebada (C-C). Aunque el monocultivo no es una práctica considerada en agricultura ecológica, se ha incluido en este estudio a fin de comparar el comportamiento de este cultivo y manejo en las condiciones del ensayo. Las rotaciones fueron simultáneamente duplicadas para tener todas las fases de cada rotación presente cada año, alternando los dos cultivos de cada rotación en las mismas parcelas durante todo el ensayo.

Las parcelas elementales fueron de 400 m^2, si bien para los controles de producción no se tuvo en cuenta la franja perimetral de cada una de ellas a fin de evitar el efecto borde.

La labranza se realizó con cultivador, y la cosecha con mini cosechadora Hege (destinada a experimentos). La siembra y la recolección de los diferentes cultivares se llevaron a cabo en la misma fecha. Las épocas aproximadas de siembra y recolección de cada cultivo fueron noviembre y junio, respectivamente, para el cultivo de cebada, marzo y segunda quincena de julio para el garbanzo, abril y septiembre para el girasol, y noviembre y mayo para la veza forraje.

La densidad de siembra, en semillas m^{-2}, fue la misma para los dos manejos: 350 en cebada, 120 en veza y 50 en avena para el forraje, 40 en garbanzo y 4 en girasol.

Los cultivares de herbáceos ensayados han variado a lo largo del tiempo en función de la disponibilidad del mercado. Así, para cebada se han utilizado los cultivares «Hatif de Grignon», «Nuevede», «Reinette», «Volley» e «Icaria», para la veza forrajera, «Senda», «Filón» y «Del lugar», para el girasol, «Peredovick», y para el garbanzo, «Castellano», «Eulalia» y «Amelia».

La fertilización en sementera consistió en todos los cultivos en 24-45-45 (N-P_2O_5-K_2O en kg/ha), realizándose en el caso de la cebada una aplicación adicional en cobertera, en el mes de febrero, de 66-0-0.

Los herbicidas empleados en las parcelas convencionales a lo largo de los 27 años han sido muy variados y han tenido por objeto mantener el cultivo lo más libre posible de malezas.

En todos los tratamientos y años del estudio, los residuos dejados por los cultivos fueron uniformemente distribuidos al final de cada ciclo en las mismas parcelas donde estaban implantados los cultivos. Si bien esta práctica no es muy común en agricultura convencional, se siguió, al igual que en las parcelas con manejo ecológico, a fin de evitar introducir una fuente externa de variación.

Tratamiento de los datos

El tratamiento de los datos consistió en un análisis descriptivo de los mismos, en un estudio bivariante para la analizar estadísticamente tanto la variación temporal de las correspondientes variables meteorológicas consideradas como la asociación entre el rendimiento de cada uno de los tratamientos estudiados con las variables meteorológicas seleccionadas (ambos basados en análisis de correlación), así como, en su caso, en la comparativa de rendimientos medios en el periodo de estudio (modelo mixto ANOVA considerando el año como factor de efectos aleatorios, y test de la Diferencia mínima significativa –*Least Significant Difference*, LSD–, para la separación de medias). Se fijó para estos análisis un nivel de significación $\alpha = 0,05$, utilizándose el software estadístico Infostat versión profesional 2017 para la implementación de los mismos. Las series gráficas se obtuvieron con Excel 2016 de Microsoft®.

Resultados y discusión

Variables meteorológicas

En la Tabla 1 se muestran las variables meteorológicas seleccionadas del conjunto de partida por presentar mayor variación con el tiempo en el período de estudio, elegidas en base al coeficiente de correlación Pearson (r) significativo (α = 0,05) y superior, en valor absoluto, a 0,30, valor a partir del cual la asociación entre variables se puede considerar moderada (Martínez González *et al.*, 2009). Las variables meteorológicas que han registrado un mayor aumento con el tiempo durante el período del ensayo son la temperatura media anual del año agrícola (septiembre a agosto) y las temperaturas de los meses estivales, siendo la precipitación registrada durante el mes de mayo, así como número anual de días de helada, las variables que más han disminuido (Tabla 1). No obstante, en las Figuras 1 a 3 se ha representado la precipitación anual del año agrícola y la precipitación y la temperatura del mes de mayo.

Tabla 1. Variables meteorológicas con mayor variación temporal (años 1993-2019).
Table 1. Meteorological variables with greater temporal variation (years 1993-2019).

Variable meteorológica	Evolución temporal (1)	Variable meteorológica	Evolución temporal (1)	Variable meteorológica	Evolución temporal (1)
Prec. anual año agrícola (2)	–	Tm año agrícola (2)	+ + + +	Tm ag	+ + +
Prec. sept-mar	–	Tm abr	+	Tm sept	+ + + +
Prec. abr-may	–	Tm may	+ +	Tm jun, jul, ag, sept	+ + + +
Prec. may	– – –	Tm abr-may	+	Tm oct	+ + +
Días heladas abr	– –	Tm jun	+	Tm nov	+
Días heladas año	– – –	Tm jul	+ +	Días may TM > 30 °C	+

Prec.: Precipitación. Tm: Temperatura media. TM: Temperatura máxima.

(1) Basada en el coeficiente de correlación r ($|r| > 0,3$): +, – (signo de la correlación); $|r|$ = 0,31-0,40: +, –; $|r|$ = 0,41-0,50: + +, – –; $|r|$ = 0,51-0,60: + + +, – – –; $|r| > 0,60$: + + + +, – – – –.

(2) Año agrícola: sept-ag.

La Figura 1, relativa a la evolución de las precipitaciones a lo largo de los últimos 27 años agrícolas (1993-2019), muestra la variabilidad interanual de la pluviometría y una ligera tendencia descendente.

En relación a la precipitación registrada en el mes de mayo, en la Figura 2 se observa, además de una acusada variabilidad interanual, un descenso a lo largo del tiempo más acusado que en el caso de la precipitación anual. Cabe destacar que, en 13 de los 27 años del estudio (48 %), se han registrado en este mes pluviometrías inferiores a 25 mm, de los cuales nueve se localizan en el período de los últimos 11 años (82 %). Esto indica la importante concentración de meses de mayo

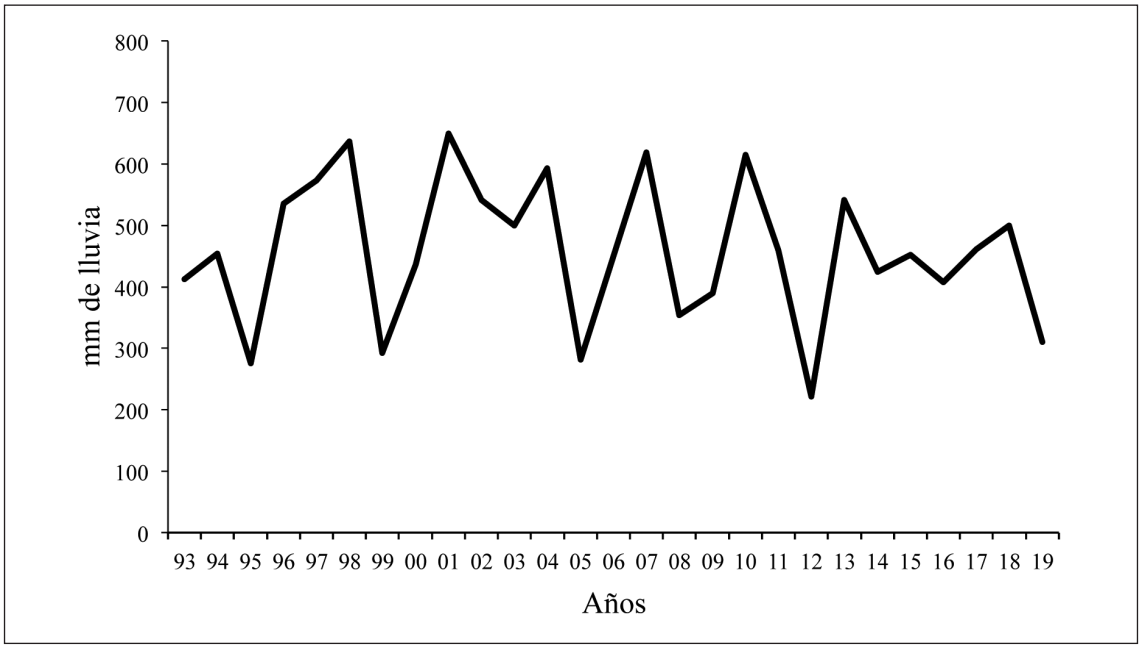


Figura 1. Evolución de las precipitaciones anuales (mm) a lo largo de los últimos 27 años (1993-2019).
Figure 1. Evolution of annual rainfall (mm) over the last 27 years (1993-2019).

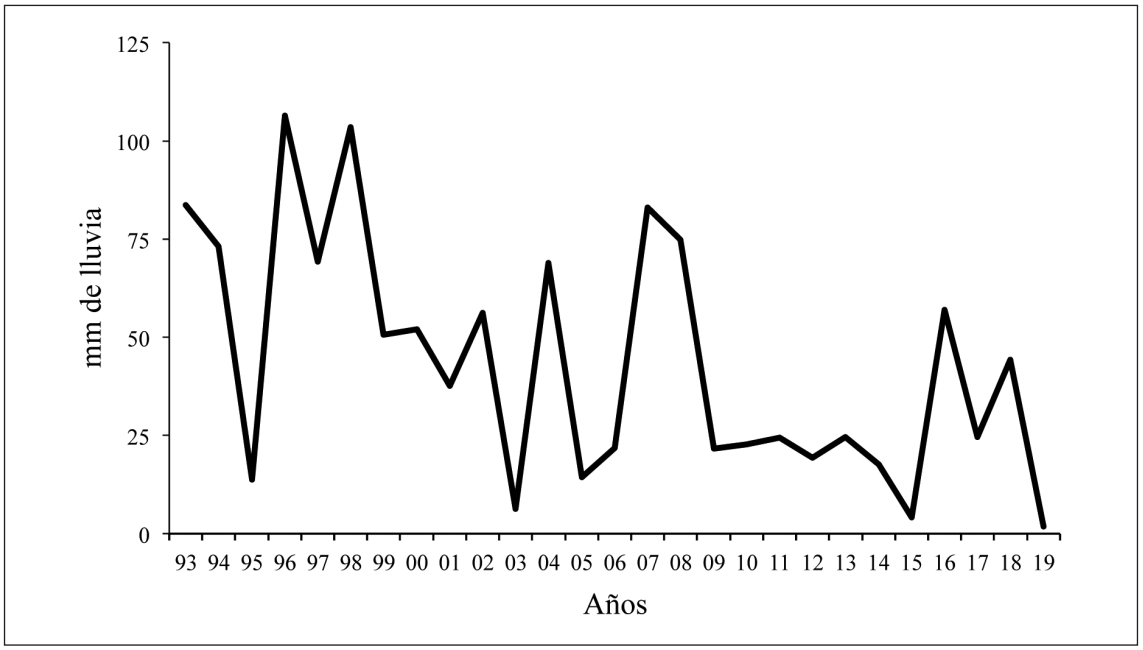


Figura 2. Evolución de las precipitaciones (mm) del mes de mayo a lo largo de los últimos 27 años (1993-2019).
Figure 2. Evolution of May rainfall (mm) over the last 27 years (1993-2019).

con bajas precipitaciones desde el año 2009, lo que, de continuar esta tendencia, podría condicionar la viabilidad de los cultivos de primavera-verano en condiciones de secano, como el garbanzo y el girasol.

La temperatura media del mes de mayo (Fig. 3) presentó una tendencia ascendente a lo largo del período de estudio. Concretamente, en la primera mitad de este período, el número de años con una temperatura media de este mes superior a 19 °C fue del 8 %, mientras que, en la segunda mitad, ascendió al 43 %, siendo la temperatura media en este segundo período de 1 °C más que en el primero.

Productividad de los cultivos y climatología

En la Figura 4 se aprecia la evolución del rendimiento de garbanzo en manejo convencional y ecológico en rotación con cebada, mostrando una clara tónica descendente en ambos casos. Concretamente, en la primera mitad del período de estudio, el rendimiento medio correspondiente al manejo convencional fue de 740 kg/ha, mientras que en la segunda mitad fue de 323 kg/ha, un 56 % inferior al obtenido en el primer período. En el manejo ecológico, los rendimientos medios para cada periodo fueron de 435 kg/ha y 209 kg/ha, respectivamente, un 52 % inferior para el segundo respecto del primero. Ello indicaría que la disminución del rendimiento no se ve prácticamente afectada por el tipo de manejo. Este hecho es independiente de que la producción en el manejo convencional, promediada a lo largo de los años, presentara diferencias estadísticamente significativas con la del manejo ecológico, superándola en un 64 %.



Figura 3. Evolución de las temperaturas medias del mes de mayo (°C) a lo largo de los últimos 27 años (1993-2019).
Figure 3. Evolution of mean temperature in May (ºC) over the last 27 years (1993-2019).

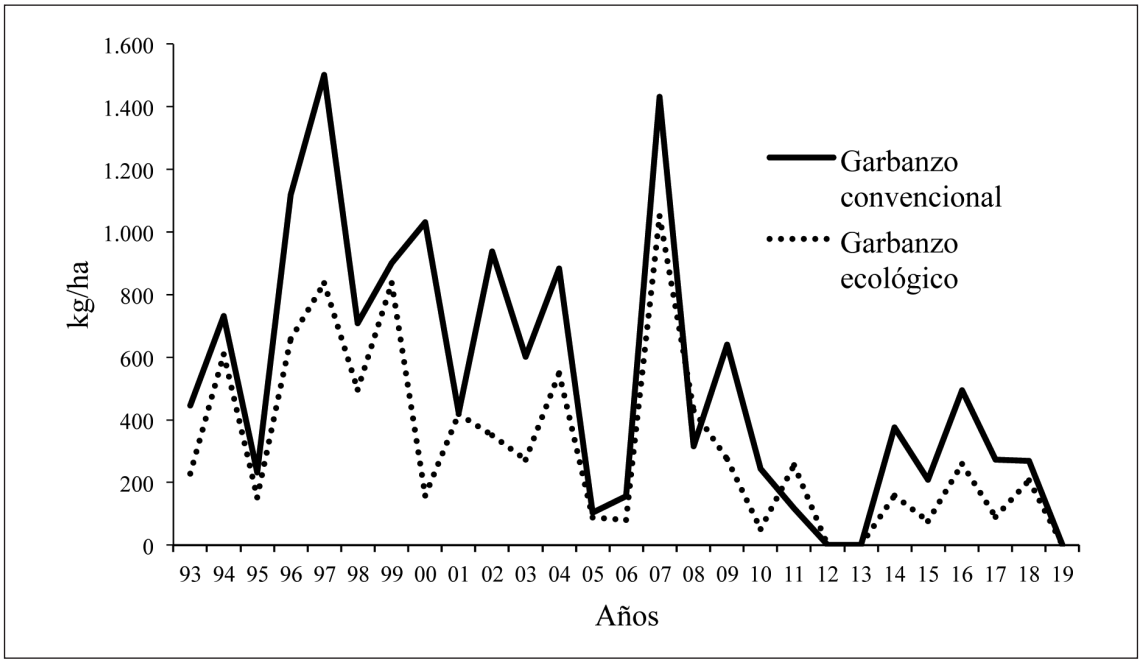


Figura 4. Evolución de los rendimientos de garbanzo en convencional y en ecológico en rotación con cebada.
Figure 4. Evolution of chickpea yields in rotation with barley in conventional and ecological agriculture.

En relación al cultivo de girasol en rotación con cebada (Fig. 5), la evolución de los rendimientos en ambos manejos es prácticamente coincidente, siendo las producciones medias en cultivo ecológico y convencional de 564 kg/ha y 584 kg/ha, respectivamente. En este caso, en la segunda mitad del período de estudio, se produjo en ambos manejos un descenso del 58 % respecto de la primera mitad.

En cuanto al rendimiento de veza forraje en rotación con cebada en manejo convencional y en ecológico (Fig. 6), se observa en ambos una evolución ascendente a lo largo del tiempo, siendo más acusada en el manejo ecológico, que en particular en la segunda mitad de este período experimentó un aumento de un 31 % respecto de la primera mitad, con un incremento del 18 % para el convencional. Los rendimientos medios de veza forraje obtenidos en el período de estudio en manejo convencional y ecológico fueron de 2804 kg/ha y 2395 kg/ha, respectivamente, diferencia probablemente debida al aporte de fertilización química en el manejo convencional (Moreno *et al*., 2011).

En las Figuras 7 y 8 se muestra, respectivamente, la evolución del rendimiento del cultivo de cebada en las distintas rotaciones ensayadas con manejo de cultivo convencional y ecológico.

En el manejo convencional, las producciones medias de cebada obtenidas en cada rotación fueron de 1155 kg/ha en monocultivo de cebada (C-C), 2084 kg/ha en C-GAR, 2403 kg/ha en C-GIR y 2198 kg/ha en C-VF (Tabla 2). En to-

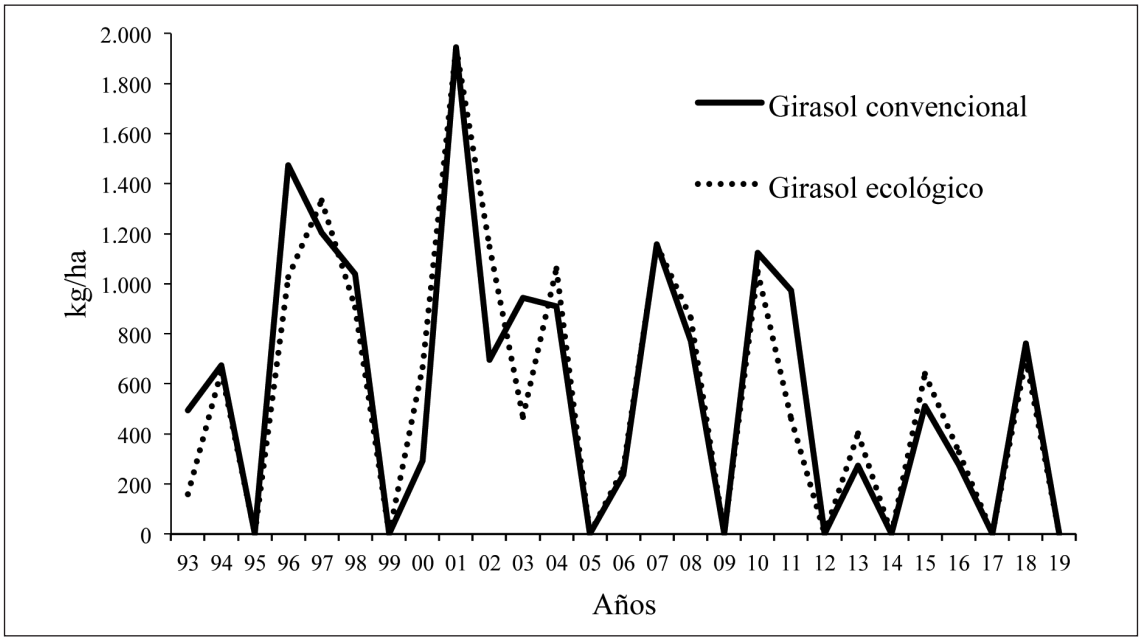


Figura 5. Evolución de los rendimientos de girasol en convencional y en ecológico en rotación con cebada.
Figure 5. Evolution of sunflower yields in rotation with barley in conventional and ecological agriculture.

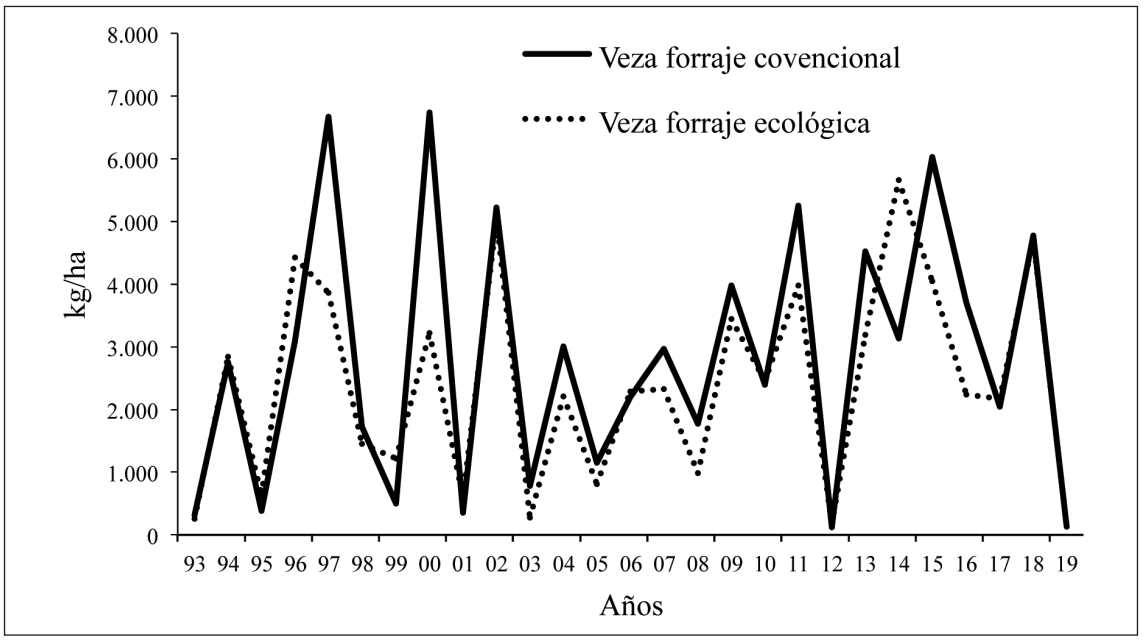


Figure 6. Evolución de los rendimientos de veza forraje en convencional y en ecológico en rotación con cebada.
Figure 6. Evolution of vetch forage yields in rotation with barley in conventional and ecological agriculture.

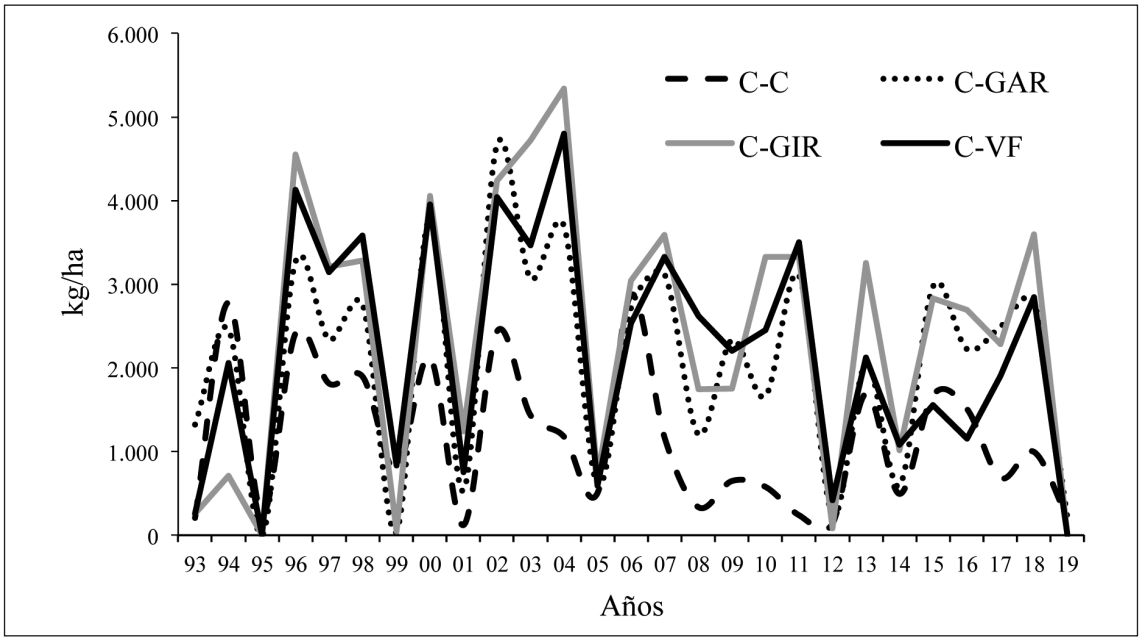


Figura 7. Evolución de los rendimientos de cebada en convencional en rotación con cebada (C-C), garbanzo (C-GAR), girasol (C-GIR) y veza forraje (C-VF).
Figure 7. Evolution of barley yields in rotation with barley (C-C), chickpea (C-GAR), sunflower (C-GIR) and vetch forage (C-VF) in conventional agriculture.

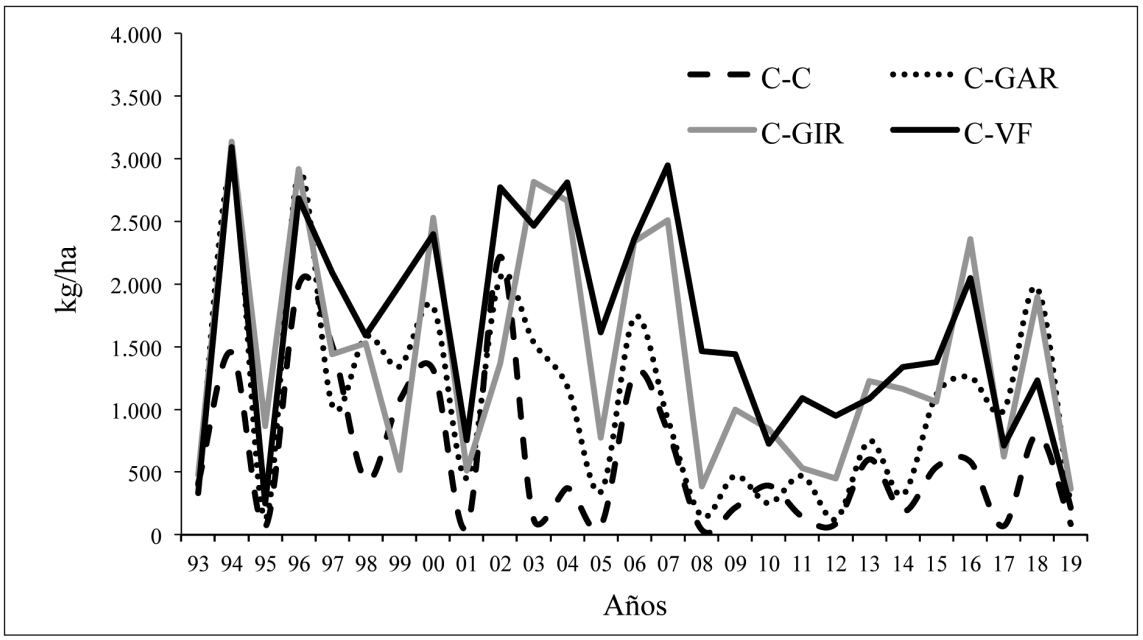


Figura 8. Evolución de los rendimientos de cebada en ecológico en rotación con cebada (C-C), garbanzo (C-GAR), girasol (C-GIR) y veza forraje (C-VF).
Figure 8. Evolution of barley yields in rotation with barley (C-C), chickpea (C-GAR), sunflower (C-GIR) and vetch forage (C-VF) in ecological agriculture.

Tabla 2. Rendimiento de cebada (kg ha^{-1}) en diferentes rotaciones y manejos en el período de estudio (1993-2019).
Table 2. Barley yield (kg ha^{-1}) in different crop rotations and managements in the study period (1993-2019).

Rotación [1]	Manejo	
	Convencional	Ecológico
C-C	1155 b	628 C
C-GAR	2084 a	1051 B
C-GIR	2403 a	1418 A
C-VF	2198 a	1624 A

[1] Rotación: C-C: monocultivo de cebada; C-GAR: cebada-garbanzo; C-GIR: cebada-girasol; C-VF: cebada-veza forraje.

Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en el manejo convencional. Letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en el manejo ecológico (ANOVA y test LSD, $\alpha = 0,05$).

das las rotaciones se produjo una disminución de cosecha en la segunda mitad del período de estudio con respecto a la primera, siendo esta diferencia más acusada en el caso del monocultivo de cebada (C-C) (31 %).

En relación al manejo ecológico, las producciones medias de cebada obtenidas en cada rotación fueron inferiores a las alcanzadas en convencional, siendo de 628 kg/ha en C-C, 1051 kg/ha en C-GAR, 1418 kg/ha en C-GIR y 1624 kg/ha en C-VF (Tabla 2). Al igual que en el manejo convencional, en todas las rotaciones se produjo una disminución de cosecha en la segunda mitad del período ensayado con respecto a la primera, especialmente en C-C (51 %). Como puede observarse, estos rendimientos de los últimos años adoptan la forma de la gráfica correspondiente a las precipitaciones del mes de mayo (Fig. 2).

En la Tabla 2 se muestran los rendimientos medios de cebada (monocultivo y en rotación) relativos al periodo estudiado (1993-2019). Destaca el tratamiento C-C por sus rendimientos significativamente inferiores al resto en ambos manejos. En convencional se aprecia que el aumento de los rendimientos de cereal se asocia a la rotación de cultivo y es indiferente del cultivo con el que rote. No ocurre lo mismo en el manejo ecológico, donde la falta de fertilización debe suplirse o bien con la mineralización de materia orgánica (C-GIR) o bien con cultivos que fijen nitrógeno y no sea empleado por el mismo (C-VF). Se pone de manifiesto que tanto en el manejo convencional como en ecológico es necesario hacer rotaciones de cultivo (independientemente de la especie), siendo además imprescindible la incorporación de leguminosas en el manejo ecológico.

En la Tabla 3 se relaciona el rendimiento de cada cultivo, en cada rotación y manejo, con las variables meteorológicas indicadas en la Tabla 1 que han mostrado una moderada-fuerte asociación con el rendimiento (correlación significativa, $\alpha = 0,05$, y coeficiente de correlación Pearson $|r| > 0,3$) y que podrían estar asociadas al cambio climático que se viene acusando en los últimos años en la zona de estudio.

En general, un aumento de la temperatura en los meses de mayo, junio y julio, ocasiona una disminución del rendimiento de los cul-

Tabla 3. Adaptación productiva al cambio climático de los cultivos ensayados en diferentes rotaciones y manejos [(1)].
Table 3. Productive adaptation to climate change of the crops tested in different crop rotations and managements [(1)].

Manejo	Rotación [(2)]	Cultivo [(3)]	Prec. anual año agrícola [(4)]	Prec. sept-mar	Prec. abr-may	Prec. may	Tm may	Tm jun	Tm jul
Convencional	C-C	C	+		+	+	–		
	C-GAR	C	+++	+	++	+	–		
		GAR	++		+++	++++	–	–	– – –
	C-GIR	C	++++	+++	+		–		
		GIR	++++	++++	+	++	– –	–	– –
	C-VF	C	++++	++	+++	++	–		
		VF	+		+				
Ecológico	C-C	C			++	++	–		– –
	C-GAR	C	+		+	++	–		
		GAR	+		++	++++	–	–	– –
	C-GIR	C	+	+	+	+	–		
		GIR	++++	++++	++	++	– – –	–	– –
	C-VF	C	+		++	++	–		
		VF	+	+			+		

Prec.: Precipitación. Tm: Temperatura media. TM: Temperatura máxima.

[(1)] Basada en el coeficiente de correlación r (| r | > 0,3): +, – (signo de la correlación); | r | = 0,31-0,40: +, –; | r | = 0,41-0,50: + +, – –; | r | = 0,51-0,60: + + +, – – –; | r | > 0,60: + + + +, – – – –.

[(2)] Rotación: C-C: monocultivo de cebada; C-GAR: cebada-garbanzo; C-GIR: cebada-girasol; C-VF: cebada-veza forraje.

[(3)] Cultivo: C: cebada; GAR: garbanzo; GIR: girasol; VF: veza forraje.

tivos de primavera-verano como garbanzo y girasol, tanto en el manejo ecológico como en el convencional. Este efecto es más acusado con las temperaturas estivales (julio), y especialmente en el cultivo de garbanzo con manejo convencional (– – –). Sin embargo, para ambos cultivos y manejos, las variables meteorológicas de mayor incidencia son las relativas a la precipitación, destacando en particular la correspondiente al mes de mayo (+ + + + y + +) en garbanzo y girasol, respectivamente).

Por otra parte, en el cultivo de girasol, al tener un sistema radicular pivotante y ser muy eficiente en situación de estrés hídrico, unido al hecho de desarrollarse los experimentos en un vertisol con una gran capacidad de retención de agua (160 mm), sus rendimientos

están muy relacionados con las precipitaciones registradas en otoño-invierno, independientemente del manejo utilizado (+ + + +).

El descenso productivo de garbanzo y girasol en el período de estudio, comentado anteriormente y reflejado en las Figuras 4 y 5, obedecería a la fuerte dependencia de estos cultivos con las variables meteorológicas relativas a la precipitación y a las temperaturas registradas en mayo y julio, especialmente, y al hecho de que estas variables hayan disminuido y aumentando, respectivamente, en el período de estudio (Fig. 1 a 3).

En relación a la veza para forraje (VF), al ser cosechada a primeros de mayo, las variables meteorológicas de disminución de precipitación prácticamente no tienen efecto sobre la producción del cultivo (Tabla 3), mientras que el aumento de temperatura del mes de mayo afectaría de modo positivo al manejo ecológico, ya que la fenología de los cultivos con este manejo se retrasa unos días con respecto al convencional, posiblemente debido al no aporte de fertilización mineral.

La cebada en rotación convencional tiene una correlación muy superior (+ + + y + + + +) con la pluviometría anual que las rotaciones ecológicas (+). La disponibilidad de agua permite que la fertilización química pueda expresarse, mientras que, en el manejo ecológico, la producción de biomasa depende de la disponibilidad de nutrientes y de la fenología, siendo mayor desde el encañado al espigado. La diferencia del comportamiento de los dos manejos con respecto a la productividad de la cebada en rotación (no monocultivo) se debe a que en el manejo convencional se correlaciona con las precipitaciones de otoño e invierno y especialmente con las anuales (+ + + y + + + +), mientras el manejo ecológico está más relacionado con las precipitaciones del mes de mayo (+ y + +).

Con respecto a estas precipitaciones primaverales, en ambos manejos se produce un aumento del rendimiento de la cebada en rotación, especialmente en el caso C-VF, debido a la mayor disponibilidad de nitrógeno en el suelo suministrado por el cultivo de la veza (+ + + en convencional, + + en ecológico). Esto explicaría la buena respuesta productiva de la cebada en la rotación C-VF (1624 kg/ha) en ecológico (Tabla 2).

Se ha observado que el manejo ecológico tiene un desarrollo más lento que el convencional, por lo que la disminución de las precipitaciones en el mes de mayo aumenta las diferencias en los rendimientos de cebada entre manejo convencional y ecológico en sentido inverso a la precipitación registrada ese mes (Tabla 3). Esto determinaría que el cambio climático pudiera estar afectando más a la cebada con manejo ecológico que con convencional.

El monocultivo de cebada tiene bajas correlaciones con las variables meteorológicas estudiadas. Así, los rendimientos de este manejo estarían relacionados con el secuestro de nitrógeno por una mayor actividad biológica en el suelo al tener todos los años una incorporación de la paja del cereal, mientras que, en las otras rotaciones, la alternancia de cultivos permite que ésta sea mineralizada durante el ciclo del siguiente cultivo.

En general, las variaciones en la temperatura media de la estación de crecimiento en ±2 °C podría suponer una reducción sustancial en el grano producido de hasta en un 50 %, suponiendo cada grado de calentamiento una reducción de entre el 10 % y el 15 % de la producción de cereal. Las temperaturas elevadas rebajan más el rendimiento que las temperaturas bajas, de forma que los rendimientos de los cereales decaen aún más rápido a medida que aumenta la temperatura (Asseng *et al*., 2011). Estos mismos autores, utilizando modelos de previsión, obtuvieron pérdidas medias continuas de rendimiento de un 14 % en los escenarios RCP 4,5 y RCP 8,5 (*Representative Concentration Pathway*)

para 2021-2050 y de un 17 % (RCP 4,5) o un 27 % (RCP 8,5) para 2051-2080, también acompañados de un aumento de las variabilidades del rendimiento. En otras palabras, los modelos prevén una disminución de los rendimientos debido a una mayor intensificación de los déficits hídricos y a los eventos más frecuentes de altas temperaturas en los finales de las primaveras (abril-junio).

Una posible alternativa para salvar el déficit de mayo sería un adelantamiento de las siembras o bien cultivares de ciclo corto sembrados en otoño (Eigenbrode *et al*., 2018), pero, en ambos casos, existen riesgos, como puede ser un aumento de malas hierbas o el hecho de que la floración se adelante a febrero, cuando aún hay posibilidad de heladas. El uso de cultivares de ciclo corto revela mayores ganancias de rendimiento (26-38 %) que las siembras tempranas (6-10 %), ya que se adelanta con éxito la aparición de la antesis y el período de llenado del grano, lo que reduce o evita los riesgos de exposición a mayor sequía y estrés térmico a finales de la primavera (Eigenbrode *et al*., 2018). Por el contrario, el calentamiento invernal durante la siembra temprana podría afectar el cumplimiento de la vernalización al ralentizar la acumulación de horas frío, aumentando así la duración del crecimiento de la pre-antesis (Yang *et al*., 2019). En este sentido, el estudio realizado por Bouras *et al*. (2019) pone de manifiesto que, cuando se analiza la duración de las principales etapas fenológicas del trigo en función del enfoque de grado-día, el aumento de la temperatura del aire provoca un acortamiento del ciclo de desarrollo de hasta 50 días, provocando una disminución en los rendimientos entre un 7 % y un 30 %. Asimismo, estos autores consideran que las necesidades de agua disminuirán entre un 13 % y un 42 %, principalmente en respuesta al acortamiento del ciclo.

Otra línea de investigación es que el aumento de CO_2 en la atmosfera podría contrarrestar las pérdidas de rendimiento. Una característica de los ambientes mediterráneos es que la evolución de la producción de grano toma una forma de diente de sierra por su dependencia de la pluviometría; por ello, consideramos que el efecto fertilizante del aumento de CO_2, si existe, sería inapreciable.

Por todo ello, la actuación de una región ante el cambio climático debería sustentarse en el análisis de las diferentes prácticas agrícolas que puedan mitigar los efectos de la sequía, así como en la utilización de variedades más tempranas en las que el período de mayor demanda hídrica sea anterior a los previsibles períodos de sequía, al igual que argumentan Radzka *et al*. (2019).

Conclusiones

Las variables meteorológicas que han registrado un mayor aumento con el tiempo durante el periodo del ensayo son la temperatura media anual del año agrícola y las temperaturas estivales, siendo la precipitación registrada durante el mes de mayo, así como el número anual de días de helada, las variables que más han disminuido.

Los rendimientos de garbanzo y girasol se ven perjudicados tanto en manejo convencional como en ecológico por el cambio climático, especialmente por el descenso en las precipitaciones, en particular las correspondientes al mes de mayo, lo que podría hacer inviable económicamente a estos cultivos.

La veza forraje no se ve afectada por el descenso de la precipitación de mayo debido a su fecha de cosecha (recolección anterior a que tenga efecto el déficit hídrico). Adicionalmente, el aumento de rendimiento es mayor en manejo ecológico que en convencional debido a que podría verse más favorecido por el incremento de las temperaturas en el mes de mayo.

La disminución de cosecha del manejo ecológico frente al convencional está principalmente causada por la falta de fertilización química, estando esta disminución de cosecha más afectada por el adelanto del déficit hídrico y el retraso fenológico asociado a este manejo.

La posible adaptación de los cultivos al cambio climático debería sustentarse en el análisis de diferentes prácticas agrícolas que puedan mitigar sus efectos y la utilización de variedades más tempranas cuyo período de mayores necesidades hídricas sea anterior a los previsibles períodos de sequía.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Servicio de Investigación de la Consejería de Agricultura de Castilla-La Mancha por la financiación de los experimentos de larga duración que se realizan en la finca experimental "La Higueruela" desde 1983, así como a José María Gómez Camacho y a Gregorio Gómez, por su dedicación a los trabajos experimentales de campo.

Referencias bibliográficas

Asseng S, Foster I, Turner NC (2011). The impact of temperature variability on wheat yields. Global Change Biology 17: 997-1012. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02262.x

Bouras H, Jarlan L, Khabba S, Er-Raki S, Dezetter A, Sghir F, Tramblay Y (2019). Assessing the impact of global climate changes on irrigated wheat yields and water requirements in a semi-arid environment of Morocco. Scientific Reports 9: 19142. https://doi.org/10.1038/s41598-019-55251-2

Eigenbrode SD, Binss WP, Huggins DR (2018). Confronting climate change. Challenges to dryland cereal production: A call for collaborative transdisciplinary research, and producer engagement. Frontiers in Ecology and Evolution 5: 164. https://doi.org/10.3389/fevo.2017.00164

Eitzinger J, Trnka M, Semerádová D, Thaler S, Semerádová E, Hlavinka P, Šiška B, Takáč J, Malatinská L, Nováková M, Dubrovský M, Žalud Z (2013). Regional climate change impacts on agricultural crop production in Central and Eastern Europe – hotspots, regional differences and common trends. The Journal of Agricultural Science 151: 787-812. https://doi.org/10.1017/S0021859612000767

Koocheki A, Nassiri M, Soltani A, Sharifi H, Ghorbani R (2006). Effects of climate change on growth criteria and yield of sunflower and chickpea crops in Iran. Climate Research 30: 247-253. https://doi.org/10.3354/cr030247

Martínez González MA, Sánchez-Villegas A, Faulin Fajardo J (2009). Bioestadística amigable 2ª Ed. Díaz de Santos. Madrid.

Moreno M, Lacasta C, Meco R, Moreno C (2011). Rainfed crop energy balance of different farming systems and crop rotations in a semi-arid environment: Results of a long-term trial. Soil and Tillage Research 114: 18-27. https://doi.org/10.1016/j.still.2011.03.006.

Radzka E, Jankowski K, Jankoska J (2019). Effects of rainfall shortage and climate water balance change on agriculture. Applied ecology and environmental research 17(4): 7667-7678. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1704_76677678

Ray RL, Fares A, Risch E (2018). Effects of Drought on Crop Production and Cropping Areas in Texas. Agricultural & Environmental Letters 3: 1-5. https://doi.org/10.2134/ael2017.11.0037

Valverde P, Carvalho M, Serralheiro R, Maia R, Ramos V, Oliveira B (2015). Climate change impacts on rainfed agriculture in the Guadiana river basin (Portugal) Agricultural Water Management 150: 35-45. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.11.008

Wang J, Kranthi S, Saxena R, Orsat V, Raghavan V (2018). Effect of climate change on the yield of cereal crops: A Review. Climate 6: 41 https://doi.org/10.3390/cli6020041

Yang Ch, Fraga H, Van Leperen W, Trindade H, Santos JA (2019). Effects of climate change and adaptation options on winter wheat yield under rainfed Mediterranean conditions in southern Portugal. Climatic Change 154: 159-178. https://doi.org/10.1007/s10584-019-02419-4

Zhu X, Troy T, Devineni N (2019). Stochastically modeling the projected impacts of climate change on rainfed and irrigated US crop yields. Environmental Research Letters 14: 074021. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab25a1

(Aceptado para publicación el 19 de octubre de 2020)

Impacto del cambio climático sobre los sistemas de gestión de malas hierbas

C. Fernández-Quintanilla[1,*] y J. Barroso[2]

[1] Instituto de Ciencias Agrarias, CSIC, Serrano 115 dpdo. 28006 Madrid
[2] Columbia Basin Ag. Research Center, Oregon State University,48037 Tubbs Ranch Road, Adams, OR, 97810, EEUU

Resumen

Dentro de un escenario de cambio climático, la gestión de las malas hierbas debería involucrarse tanto en la mitigación como en la adaptación a estos cambios. En este sentido, la comprensión y el pronóstico de la invasión de nuevas especies así como el desarrollo y puesta a punto de medidas dirigidas a minimizar estos cambios y la adaptación a los mismos deberían constituir una clara prioridad en la investigación. En el presente artículo se presenta el estado actual de nuestros conocimientos en relación a tres preguntas: 1) ¿Qué medidas pueden ser tomadas para mitigar el cambio climático? 2) ¿Cómo serán los problemas de malas hierbas bajo las nuevas condiciones climáticas? 3) ¿Qué cambios pueden ser introducidos en los sistemas actuales de producción y de gestión de malas hierbas para adaptarse a esos cambios?

Palabras clave: Calentamiento global, mitigación, adaptación, incremento de CO_2, control de malas hierbas.

Impact of climate change of weed management systems

Abstract

Within the climate change scenario, weed managements systems should involve in the mitigation and adaptation to those changes. In this context, a high priority should be given to the understanding and predicting on new weed invasions as well as to the development of new practices designed to minimize these changes and adapt agricultural systems to them. This paper presents the state of the art on this area in relation with three main questions: 1) Which measures can be taken to mitigate climate change? 2) Which are going to be the new weed problems 3) What changes should be introduced in our current crop production and weed management systems to adapt to these new conditions?

Keywords: Global warming, mitigation, adaptation, CO_2 increase, weed control

* Autor para correspondencia: cesar@ica.csic.es

Cita del artículo: Fernández-Quintanilla C, Barroso J (2020). Impacto del cambio climático sobre los sistemas de gestión de malas hierbas. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 116(5): 396-404.
https://doi.org/10.12706/itea.2020.034

Introducción

Como ya ha sido descrito en numerosos artículos, el cambio climático supone el principal reto al que se enfrenta la humanidad para conseguir alimentar al mundo en las próximas décadas (Cline, 2008; Foley, 2015; Steffen *et al*., 2015; Springmann *et al*., 2018). A partir del año 1950 las emisiones de CO_2, N_2O y metano, los tres principales gases de efecto invernadero (GEI), se han disparado, observándose un crecimiento exponencial de los mismos (Dlugokencky *et al*., 2019). Una proporción importante de estas emisiones está generada por la agricultura y ganadería (Vermeulen *et al*., 2012). El incremento de las temperaturas ocasionado por una mayor concentración en la atmósfera de GEI afectará la agricultura de muchas formas. Diversos estudios indican que el aumento de la evapotranspiración y un desarrollo de los cultivos más acelerado puede causar menores rendimientos en aquellas zonas donde las temperaturas ya estan próximas a la tolerancia del cultivo (Cline, 2008). Asimismo, la disminución de las precipitaciones en muchas zonas y la mayor frecuencias de periodos de sequía puede tener un enorme impacto en dichas zonas (Cline, 2008). Las estimaciones actuales indican que, como consecuencia de todos estos procesos la producción agraria puede disminuir hasta un 25 % en grandes zonas de África, en el suroeste de Asia y en el sur de Estados Unidos y México. Por el contrario, el aumento de temperaturas puede beneficiar la agricultura en el norte de Estados Unidos y Canadá, gran parte de Europa (especialmente en los países escandinavos), Rusia y norte de China (Cline, 2008). Los rendimientos de los cultivos que se alcancen bajo las condiciones previsibles de clima dependerán no solo de los mencionados efectos directos del cambio climático sino también de las interacciones de dichos efectos con las poblaciones de malas hierbas, insectos y patógenos (Fuhrer, 2003; Navas-Cortés *et al*., 2019).

Las malas hierbas tienen la capacidad de ocasionar mayores pérdidas de rendimiento en los cultivos que las causadas por plagas de insectos o patógenos, habiéndose estimado unas pérdidas potenciales a nivel global de un 34 % (Oerke, 2006). Dentro de un escenario de cambio climático, la malherbología debería involucrarse tanto en estrategias de mitigación como en estrategias de adaptación. Desde el punto de vista de mitigar el cambio climático la malherbología debería perseguir la mejora de la eficiencia del uso del carbono en agricultura, es decir, la maximización de la producción de biomasa y la minimización de la producción de CO_2 (Ramesh *et al*., 2017). Desde el punto de vista de la adaptación al cambio climático, la malherbología debería perseguir el desarrollo de prácticas efectivas para los nuevos sistemas de producción, nuevos cultivos y malas hierbas emergentes (Fernández-Quintanilla *et al*., 2008; Ramesh *et al*., 2017). En este sentido, la comprensión del potencial y la rapidez de las malas hierbas para adaptarse a los cambios climáticos previstos, la predición de invasión de nuevas especies y el desarrollo y puesta a punto de medidas dirigidas a minimizar estos cambios, y a adaptarse a los mismos, deben constituir una clara prioridad en la investigación. Hay tres preguntas concretas que demandan una respuesta inmediata: 1) ¿Qué medidas pueden ser tomadas para mitigar el cambio climático? 2) ¿Cuales serán los problemas de malas hierbas bajo las nuevas condiciones climáticas? 3) ¿Qué modificaciones pueden ser introducidas en los sistemas actuales de producción y de gestión de malas hierbas para adaptarse a los cambios previstos? En el presente artículo se presenta el estado actual de nuestros conocimientos en relación a estas tres preguntas y las perspectivas existentes para avanzar en la resolución de los problemas planteados.

Medidas para la mitigación

La agricultura contribuye de forma importante en las emisiones de GEI (Foley, 2015). El uso de maquinaria agrícola y, principalmente, el laboreo del terreno es uno de los principales causantes de las emisiones de CO_2 dentro de la agricultura (Lal, 2004; Gan *et al.*, 2014) (Tabla 1). Por su parte, la fertilización nitrogenada es la causante de la liberación de gran parte del N_2O agrario (Gan *et al.*, 2014; Springmann *et al*., 2018). En este sentido, la agricultura del futuro tendrá que tomar medidas drásticas para reducir la producción de estos dos GEI y así contribuir a mitigar el cambio climático. En los últimos años se han propuesto diversos sistemas de producción con objeto de reducir el elevado uso de insumos externos, habitual en los actuales sistemas de producción intensivos. En ese sentido, la agricultura ecológica aparece como un posible candidato para mitigar el cambio climático. Sin embargo, investigaciones recientes cuestionan seriamente dicha idea (Zhang *et al.,* 2016; Balmford *et al*., 2018; Recasens *et al.,* 2020b). De acuerdo con una amplia base de datos que incluye varios sectores agrarios en diversas zonas agrícolas del mundo, los sistemas de altos rendimientos y un uso eficiente de la tierra producen menos externalidades (emisiones de gases de GEI, uso del agua, nitrógeno y fósforo, pérdidas de suelo) que los sistemas de bajos rendimientos. Por consiguiente, para poder generar la misma cantidad de productos agrarios, los sistemas de bajos rendimientos necesitarían utilizar más tierra cultivable, reduciendo el espacio disponible para los hábitats naturales. Esto, a su vez, resultaría probablemente en un aumento en las emisiones de GEI y mayor erosión de suelo (Balmford *et al*., 2018).

En la actualidad el control de malas hierbas en sistemas de producción intensivos está basado fuertemente en la aplicación de productos herbicidas. Dado que los equivalentes de emisión de carbono (EC) de dichos tratamientos no son muy elevados (Tabla 1) se podría considerar como una práctica aceptable

Tabla 1. Media y desviación estándar (DE) de los equivalentes estimados de emisión de carbono (EC) para distintas prácticas agrícolas y para la producción, almacenamiento y transporte de productos químicos (fuente: Lal, 2004).
Table 1. Mean and standard deviation (SD) of equivalents carbon emission estimates (EC) for different agricultural practices and for production, storage and transport of chemical products (source: Lal, 2004).

Operación agrícola	Equivalente de EC (kg EC ha^{-1})	Producto químico	Equivalente de EC (kg EC ha^{-1})
Arado de vertedera	15,2 ± 4,1	Nitrógeno	1,3 ± 0,3
Subsolador	11,3 ± 2,8	Fósforo	0,2 ± 0,06
Cultivador tipo chisel	7,9 ± 2,3	Potasio	0,15 ± 0,06
Arado de discos	5,8 ± 1,7	Herbicidas	6,3 ± 2,7
Cultivador	4,0 ± 1,9	Insecticidas	5,1 ± 3,0
Pulverización de herbicida	1,4 ± 1,3	Fungicidas	3,9 ± 2,2
Siembra convencional	3,2 ± 0,8		
Siembra directa	3,8 ± 0,1		
Distribución de fertilizante	7,6 ± 2,5		

desde este punto de vista. Sin embargo, hay que considerar que la gestión de malas hierbas tiene también una elevada dependencia en el laboreo del terreno, una práctica con elevados ECs (Tabla 1). En ese sentido, surgen dos opciones opuestas: utilizar sistemas de no laboreo, con una alta dependencia en el uso de herbicidas, o reducir substancialmente el uso de herbicidas, incrementando la dependencia en las labores del terreno.

Estudios de simulación (Gollany y Polumsky, 2018) indican que el no laboreo es el mejor sistema de cultivo para incrementar la captura de CO_2 en el suelo en un clima mediterraneo. De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, este sistema mejoraría la capacidad del suelo para minimizar los impactos de los fenómenos climáticos extremos. En la actualidad menos de 12 % de las tierras de cultivo en España, se manejan con técnicas de no laboreo (Anónimo, 2017). El incremento del número de hectáreas dedicadas a la agricultura de conservación ayudaría a mitigar los efectos de la agricultura en el calentamiento global.

En los últimos años se han llevado a cabo varios estudios en condiciones españolas para evaluar experimentalmente los efectos de diversos sistemas de producción sobre los principales parámetros que determinan el cambio global. Un estudio realizado en viña muestra unos efectos muy parecidos, tanto por unidad de superficie cultivada (ha) como por kg de producto, entre un sistema de producción de bajos insumos sin labores del terreno ni fertilizantes pero con aplicación de herbicidas y fungicidas de síntesis y un sistema ecológico, con el terreno labrado y aplicación de abono orgánico pero sin herbicidas ni fungicidas (Devasirvatham *et al.*, 2017). Un estudio similar llevado a cabo con varios sistemas cerealistas muestra que las emisiones de CO_2 por hectárea del sistema ecológico, con una rotación de tres hojas, laboreo del terreno y sin herbicidas, fueron menores que las producidas por un sistema de agricultura de conservación, con un monocultivo de cebada, sin laboreo y con herbicidas. Sin embargo, si consideramos las emisiones por tonelada de producto cosechado estas son bastante similares en los dos sistemas (Fernández-Quintanilla *et al.,* 2019). Obviamente, los menores rendimientos obtenidos en el año de cereal, los bajos rendimientos en el año de leguminosa y la ausencia de producción en el año de barbecho penalizan al sistema ecológico.

Aunque los sistemas de producción ecológica no parecen ser la solución para avanzar en este camino si que pueden ser aprovechables algunas de las prácticas incluidas en estos sistemas. Liu *et al*. (2016) señalan la importancia de utilizar el barbecho en zonas semiáridas para disminuir la huella de carbono, manteniendo el residuo del cultivo y reduciendo en los posible la frecuencia de esta práctica. La integración de diversas estrategias de control, tales como el control biológico y el control cultural, también pueden contribuir a dicho objetivo (Fernández-Quintanilla *et al.*, 2008). Por otra parte, el empleo de tratamientos herbicidas localizados, utilizando las herramientas de agricultura de precisión, puede reducir substancialmente el uso de estos insumos (Lamastus-Stanford y Shaw, 2004). Por último, es necesario hacer notar que una forma de reducir la huella de carbono es maximizar la relación entre la producción de biomasa y la emisión de GEI (Bhowmik *et al.,* 2017). En ese sentido, un control más eficiente de las malas hierbas (utilizando prácticas con EC aceptables) siempre repercutirá en una mayor producción de biomasa de cultivo y, por consiguiente, en una mejora de esa relación.

Nuevos problemas de malas hierbas

Hay cuatro factores relacionados con el cambio climático que pueden tener un efecto sobre la vegetación arvense: 1) el aumento de

las temperaturas, 2) la variación de las precipitaciones, 3) el incremento en el CO_2 atmosférico, y 4) la mayor frecuencia de eventos extremos (sequías, golpes de calor, lluvias torrenciales) (Malarkodi *et al.*, 2017). Dado que las malas hierbas tienen mayor diversidad genética que los cultivos es previsible que su velocidad de adaptación a estas nuevas condiciones sea más rápida que la de los cultivos a los que acompañan. En ese sentido, el cambio climático puede alterar la relación competitiva entre cultivos y malas hierbas, haciendo que las amenazas actuales se agudicen. Asimismo, el cambio climático puede favorecer la llegada de nuevas especies invasoras provenientes de otras zonas geográficas.

En relación al primer aspecto, el de la competencia malas hierbas-cultivo, un estudio realizado en Norteamérica señala la importancia del tipo de metabolismo (C_3 o C_4) de cada especie (Ziska, 2000). En este estudio se observó que el incremento en la concentración de CO_2 hizo aumentar el rendimiento de la soja (planta C_3) en ausencia de competencia. Cuando la soja competía con *Amaranthus retroflexus* (planta C_4) las pérdidas eran menores que cuando competía con *Chenopodium álbum* (otra planta C_3). Esta respuesta puede ser debida a que el incremento en la concentración de CO_2 estimula la fotosíntesis (y el consiguiente crecimiento) en plantas C_3 al incrementar el gradiente entre en la concentración de CO_2 en el aire y en el interior de la hoja y al disminuir la pérdida de CO_2 por fotorespiración. En cambio, las plantas C_4 ya disponen de una bomba bioquímica interna para concentrar el CO_2 y, por consiguiente, tienen una menor respuesta a los incrementos de CO_2 del aire. Otros estudios indican asimismo claras alteraciones en las interacciones competitivas entre malas hierbas y cultivos (Ziska y Dukes, 2010).

En relación al segundo aspecto, la expansión del rango de distribución, Ziska (2011) han pronosticado una migración de varias especies de malas hierbas hacia latitudes más septentrionales de Norteamérica debido al aumento de las temperaturas. Estimaciones del cambio de distribución geográfica de *Lolium rigidum* a nivel global indican un aumento de las áreas potencialmente invadidas en Norteamérica, Sudamérica, Europa y Asia mientras que en África y Australia estas áreas se reducirían (Castellanos-Frías *et al.*, 2016). Asimismo, se espera un desplazamiento hacia el norte de Europa de *Avena sterilis*, una especie característica de ambientes mediterráneos (Castellanos-Frías *et al.*, 2014). Diversos estudios han mostrado los efectos previsibles del cambio climático sobre la distribución geográfica de otras especies de malas hierbas (Kriticos *et al.*, 2011; Storkey *et al.*, 2014) y sobre la dinámica de sus poblaciones (Lima *et al.*, 2012). La creación de modelos de distribución de poblaciones basados en el clima puede contribuir a la adaptación de programas de gestión enfocados a la prevención y a la reducción de los futuros impactos asociados a la expansión geográfica de malas hierbas.

En estas últimas décadas se ha constatado la aparición en la Península Ibérica de varias especies de origen subtropical, habiéndose extendido de forma preocupante en algunas situaciones concretas (Recasens *et al.*, 2020a). Tal es el caso de diversas especies de los géneros *Leptochloa, Leersia* y *Heteranthera* en cultivos de arroz, de *Abutilon theophrasti, Sicyos angulatus* y *Amaranthus palmeri* en campos de maíz y de *Panicum dichotomiflorum y Eleusine indica* en alfalfares. En todas estas situaciones se trata de cultivos estivales de regadío en los que las altas temperaturas y la abundante disponibilidad de agua favorece la aparición de estas invasoras de origen tropical o subtropical.

Los mecanismos por los que se generan esas respuestas pueden ser diversos. Varios estudios han mostrado que la expansión hacia el norte de malas hierbas típicas de cultivos de maíz y soja está asociada a la diferenciación

de ecotipos y a la habilidad de estas especies de colonizar rápidamente nuevos ambientes (Warwick *et al.*, 1984; Weaver *et al.*, 1985; Warwick, 1990). Investigaciones llevadas a cabo con especies vegetales presentes en ecosistemas naturales han mostrado cómo el cambio climático puede alterar la fenología reproductiva y otros procesos del ciclo de vida de dichas especies (Cleland *et al.*, 2006; Sherry *et al.*, 2007). Franks *et al.* (2007) han mostrado respuestas similares al cambio climático en el caso de *Brassica rapa*.

La gestión de estas amenazas emergentes dependerá, en primer lugar, de su fuente de origen y de su nivel de expansión. Si se trata de especies exóticas, su gestión se halla regulada a tres niveles legislativos: el comunitario, el estatal y el autonómico. Desde este punto de vista, las invasiones producidas por especies vegetales en los sistemas agrícolas han tenido una consideración desigual respecto a las protagonizadas por plagas de insectos o patógenos, con muy pocas especies incluidas en listas de cuarentena o en el catálogo español de especies exóticas invasoras (Recasens *et al.*, 2020a). Una vez que la especie está recién introducida en una zona geográfica es necesario promover su contención y evitar su expansión. Para ello hacen falta resoluciones administrativas y actuaciones concretas a diferentes niveles.

Adaptaciones de los sistemas de gestión

A pesar de todos nuestros esfuerzos por mitigar el cambio climático y por prevenir la invasión de nuevas especies, es muy probable que dichos esfuerzos no consigan alcanzar totalmente sus objetivos. En consecuencia, tenemos que contar con modificaciones importantes en los sistemas agrícolas actuales. En este sentido, será necesario adaptar nuestros sistemas de gestión de malas hierbas a las nuevas situaciones creadas.

De acuerdo con Scott *et al.* (2014) la gestión de las malas hierbas en un escenario de cambio climático se puede realizar siguiendo tres tipos de estrategias diferentes:

1) Continuar con las opciones de control actuales. Dado que estas opciones son las más adecuadas bajo las condiciones presentes y que tampoco ha habido últimamente grandes avances en las herramientas disponibles, los cambios a realizar deberían ser graduales y en respuesta a los cambios observados. Un ejemplo de esta estrategia de actuación sería la gestión de malas hierbas anuales que desarrollen resistencia a herbicidas. Asumiendo que dicho problema va a persisitir bajo el escenario de cambio climático, la estrategia a seguir sería similar a la utilizada hasta la fecha, quizás con un mayor foco si cabe hacia el manejo integrado.

2) Utilizar opciones de control que se aplican en la actualidad en condiciones climáticas extremas. Basándose en la experiencia actual de control de malas hierbas en años "atípicos" (por exceso o por defecto de lluvias o por golpes de calor) habrá que desarrollar prácticas de gestión que puedan ser útiles bajo las condiciones futuras. Un ejemplo de esta estrategia de actuación podría ser el control de *Phragmites australis* creciendo cerca de cursos de agua. Diversos estudios han mostrado que altos niveles de agua, bajas temperaturas y baja intensidad de luz, tienden a reducir el desarrollo de esta especie (Haslam, 1972; Wilcox *et al.*, 2003; Hudon *et al*., 2005). Por otro lado, se ha observado la expansión de esta especie en muchas zonas como consecuencia de la destabilización de humedales y de otras alteraciones hidrológicas costeras. En la actualidad, el control de esta especie se lleva a cabo a través de la estabilización de humedales y de diversos tipos de obras hidraulicas en el cauce del rio. Dado que los veranos tienden a ser más secos y cálidos y los niveles del nivel de agua más bajos, es previsible que en el futuro nos encontremos con un crecimiento de las poblaciones

de *Phragmites* y el incremento de estos problemas. Por ello, las actuaciones hidrológicas del tipo ya mencionado tendrán que potenciarse en el futuro.

3) Desarrollar nuevas técnicas de gestión adaptadas al cambio climático. Esto requerirá nuevos enfoques que se basen en los pronósticos de climas futuros y de tecnologías emergentes. Un ejemplo sería el caso de la gestión de malas hierbas en sistemas cerealistas en climas semiáridos. En un escenario de menores precipitaciones y mayor frecuencia de sequías, la estrategia de actuación a seguir implicaría un abandono del monocultivo y la incorporación de nuevos cultivos más resistentes a la sequía (p. ej. camelina, yeros), de barbechos o de pastizales xerófilos. El empleo de este tipo de estrategia sería claramente beneficiosa de cara al control de las malas hierbas.

Referencias bibliográficas

Balmford A, Amano T, Bartlett H, Chadwick D, Collins A, Edwards D, Field R, Garnsworthy P, Green R, Smith P, Waters H, Whitmore A, Broom DM, Chara J, Finch T, Garnett E, Gathorne-Hardy A, Hernandez-Medrano J, Herrero M, Hua F, Latawiec A, Misselbrook T, Phalan B, Simmons BI, Takahashi T, Vause J, zu Ermgassen E, Eisner R (2018). The environmental costs and benefits of high-yield farming. Nature sustainability 1: 477-485. https://doi.org/10.1038/s41893-018-0138-5

Bhowmik A, Fortuna AM, Cihacek LJ, Bary AI, Carr PM, Cogger CG. Potential carbon sequestration and nitrogen cycling in long-term organic management systems. Renewable Agriculture and Food Systems 32: 498-510. https://doi.org/10.1017/S1742170516000429

Castellanos-Frías E, García de León D, Pujadas-Salva A, Dorado J, Gonzalez-Andujar JL (2014). Potential distribution of *Avena sterilis* L. in Europe under climate change. Annals of Applied Biology 165: 53-61. https://doi.org/10.1111/aab.12117

Castellanos-Frías E, García de León D, Bastida F, Gonzalez-Andujar JL (2016). Predicting global geographical distribution of *Lolium rigidum* (rigid ryegrass) under climate change. Journal of Agricultural Science 154: 755-764. https://doi.org/10.1017/S0021859615000799

Cleland EE, Chiarello NR, Loarie SR, Mooney HA, Field CB (2006). Diverse responses of phenology to global changes in a grassland ecosystem. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 103: 13740-13744. https://doi.org/10.1073/pnas.0600815103

Cline WR (2008). Global warming and agriculture. Finance & Development 45: 23-27.

Devasirvatham P, Gasol CM, Dorado J, Fernández-Quintanilla C (2017). Environmental impact and energy demand comparison of vineyards by the life cycle assessment methodology. XVI Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, 25-27 de octubre, Pamplona, España, pp. 455-460.

Dlugokencky EJ, Hall BD, Montzka SA, Dutton G, Muhle J, Elkins JW (2019). Atmosperic composition: Long-lived greenhouse gases. State of the Climate in 2018, Special Supplement, Bulletin of the American Meteorological Society 100(9): S48-S50. https://doi.org/10.1175/2019BAMSStateoftheClimate.1

Fernández-Quintanilla C, Quadranti M, Kudsk P, Barberi P (2008). Which future for weed science? Weed Research 48: 297-301. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2008.00642.x

Fernández-Quintanilla C, Gasol CM, Dorado J (2019). Tirar por la calle de en medio:

una propuesta para romper la polarización en agricultura. XXIV Congreso Latinoaméricano de Malezas, 5-9 de junio, San José, Costa Rica.

Foley J (2015). A Five step plan to feed the world. National Geographic. Disponible en: http://www.nationalgeographic.com/foodfeatures/feeding-9-billion/ (Consultado: septiembre 2020).

Franks SJ, Sim S, Weis AE (2007). Rapid evolution of flowering time by an annual plant in response to a climate fluctuation. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 104: 1278-1282. https://doi.org/10.1073/pnas.0608379104

Fuhrer J (2003). Agroecosystem responses to combinations of elevated CO_2, ozone and global climate change. Agriculture, Ecosystems & Environment 97: 1-20. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00125-7

Gan Y, Liang C, Chai Q, Lemke RL, Campbell CA, Zentner RP (2014). Improving farming practices reduces the carbon footprint of spring wheat production. Nature Communication 5: 5012. https://doi.org/10.1038/ncomms6012

Gollany HT, Polumsky RW (2018). Simulating soil organic carbon responses to cropping intensity, tillage, and climate change in pacific northwest dryland. Journal of Environmental Quality 47: 625-634. https://doi.org/10.2134/jeq2017.09.0374

Gonzalez-Sanchez EJ, Gil-Ribes JA, Ordóñez-Fernández R, Veroz-González O, Gomez-Ariza O, Sanchez-Ruiz FM (2017). Beneficios de la agricultura de conservación en un entorno de cambio climático. Asociación Española de Agricultura de Conservación. Cordoba, España. 136 pp.

Haslam SM (1972). Biological Flora of the British Isles: *Phragmites communis*Trin. Journal of Ecology 60: 585-610.

Kriticos DJ, Watt MS, Potter KJB, Manning Lk, Alexander NS, Tallent-Halsell N (2011). Managing invasive weeds under climate change: considering the current and potential future distribution of *Buddleja davidii*. Weed Research 51: 85-96. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2010.00827.x

Lal R (2004). Carbon emission from farm operations. Environment International 30: 981-990. https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.03.005

Lamastus-Stanford FE, Shaw DR (2004). Evaluation of Site-Specific Weed Management implementing the Herbicide Application Decision Support System (HADSS). Precision Agriculture 5: 411-426. https://doi.org/10.1023/B:PRAG.0000040808.78546.d5

Lima M, Navarrete L, González-Andujar JL (2012). Climate effects and feedback structure determining weed population dynamics in a long-term experiment. PLoS ONE 7: e30569. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030569

Liu C, Cutforth H, Chai Q, Gan Y (2016). Farming tactics to reduce the carbon footprint of crop cultivation in semiarid areas. A review. Agronomy for Sustainable Development 36: 69. https://doi.org/10.1007/s13593-016-0404-8

Malarkodi N, Manikandan N, Ramaraj AP (2017). Impact of climate change on weeds and weed management – A review. Journal of Innovative Agriculture 4: 1-6.

Navas-Cortés JA, Landa BB, Montesinos E, Fereres A, Gonzalez-Andujar JL, Quesada-Moraga E (2019). Repercusiones potenciales del cambio climático en la sanidad vegetal. En: Libro Blanco de la Sanidad vegetal (Eds. R. Jiménez Díaz, MM López González) pp: 441-484. UCOPress.

Oerke EC (2006). Crop losses to pests. Journal of Agricultural Science 144: 31-43. https://doi.org/10.1017/S0021859605005708

Ramesh K, Matloob A, Farhena Aslam F, Singarayer K. Florentine SK y Bhagirath S. Chauhan BS (2017). Weeds in changing climate: vulnerability, consequences, and implications for future weed management. Frontiers in Plant Science 8: 95-110.

Recasens J, Conesa JA, Juárez-Escario A (2020a). Las invasiones vegetales en sistemas agrícolas. Retrospectiva de los últimos 40 años en Cataluña. ITEA-Información Técnica Económica Agraria. 116(3): 190-211. https://doi.org/10.12706/itea.2019.020

Recasens J, Royo-Esnal, Valencia-Gredilla, Torra J (2020b). Efficiency, profitability and carbon footprint of different management programs under no-till to control herbicide resistant *Papaver rhoeas*. Plants 9: 433. b.

Scott JK, Webber BL, Murphy H, Ota N, Kriticos DJ, Loechel B (2014). Adapt NRM. Weeds and climate change: supporting weed management adaptation. CSIRO, Australia. 74 pp.

Sherry RA, Zhou X, Gu S, Arnone JA III, Schimel DS, Verburg PS, Wallace LL, Luo Y (2007). Divergence of reproductive phenology under climate warming. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 104: 198-202. https://doi.org/10.1073/pnas.0605642104

Springmann M, Clark M, Mason D, Wiebe K, Bodirsky BL, Lassaletta L, de Vries W, Vermeulen SJ, Herrero M, Carlson KM, Jonell M, Troell M, DeClerck F, Gordon LJ, Zurayk R, Scarborough P, Rayner M, Loken B, Fanzo J, Godfray HCJ, Tilman D, Rockström J, Willett W (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. Nature 562: 519-525. https://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0

Steffen W, Richardson K, Rockström J, Cornell SE, Fetzer I, Bennett EM, Biggs R, Carpenter ER, de Vries W, de Wit CA, Folke C, Gerten D, Heinke J, Mace GM, Persson LM, Ramanathan V, Reyers B, Sörlin S (2015). Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. Science 347: 1259855. https://doi.org/10.1126/science.1259855

Storkey J, Stratonovitch P, Chapman DS, Vidotto F, Semenov MA (2014). A process-based approach to predicting the effect of climate change on the distribution of an invasive allergenic plant in Europe. PLoS ONE 9: e88156. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088156

Hudon C, Gagnon P, Jean M (2005). Hydrological factors controlling the spread of common reed (*Phragmites australis*) in the St. Lawrence River (Québec, Canada). Ecoscience 12: 347-357. https://doi.org/10.2980/i1195-6860-12-3-347.1

Vermeulen SJ, Campbell BM, Ingram JSI (2012). Climate change and food systems. Annual Review of Environmental Resources 37: 195-222. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-020411-130608

Warwick SI, Thompson BK, Black LD (1984). Population variation in *Sorghum halepense*, Johnson grass, at the northern limit of its range. Canadian Journal of Botany 62: 1781-1789. https://doi.org/10.1139/b84-242

Warwick SI (1990). Allozyme and life history variation in five northwardly colonizing North American weed species. Plant Systematics and Evolution 169: 41-54. https://doi.org/10.1007/BF00935983

Weaver SE, Dirks VA, Warwick SI (1985). Variation and climatic adaptation in northern populations of *Datura stramonium*. Canadian Journal of Botany 63: 1303-1308. https://doi.org/10.1139/b85-181

Wilcox KL, Petrie SA, Maynard LA, Meyer SW (2003). Historical distribution and abundance of *Phragmites australis* at Long Point, Lake Erie, Ontario. Journal of Great Lakes Research 29: 664-680. https://doi.org/10.1016/S0380-1330(03)70469-9

Zhang XQ, Pu C, Zhao X, Xue JF, Zhang R, Nie ZJ, Chen F, Lal R, Zhang HL (2016). Tillage effects on carbon footprint and ecosystem services of climate regulation in a winter wheat-summer maize cropping system of the North China Plain. Ecological Indicators 67: 821-829. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.046

Ziska LH (2000). The impact of elevated CO_2 on yield loss from a C_3 and C_4 weed in field-grown soybean. Global Change Biology 6: 899-905. https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.00364.x

Ziska LH (2011). Global climate change and carbon dioxide: assessing weed biology and management. En: Handbook of Climate Change and Agroecosystems: Impacts, Adaptation, and Mitigation (Ed. Hillel D y Rosenzweig C), pp. 191-208. London: Imperial College Press.

Ziska LH, Dukes J (2010). Weed biology and climate change. Wiley-Blackwell, New Delhi, India. 235 pp.

(Aceptado para publicación el 21 de septiembre de 2020)

Crisis climática y Objetivos de Desarrollo Sostenible: un enfoque desde la perspectiva de la producción animal, el consumo de carne y los efectos sociales

A. Guerrero[1,2], J.D. Gómez-Quintero[3] y J.L. Olleta[2,*]

[1] Colaboradora Cátedra Cooperación para el Desarrollo. Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España
[2] Departamento Producción Animal y Ciencia de los Alimentos. Grupo acción Campus Iberus-Producción de carne: biodiversidad y sostenibilidad. Universidad de Zaragoza, C/ Miguel Servet 177, 50013. Zaragoza, España
[3] Departamento Psicología y Sociología, Universidad de Zaragoza. C/ Violante de Hungría 23, 50009. Zaragoza, España

Resumen

El objetivo del presente trabajo es la realización de una síntesis sobre las múltiples y complejas relaciones existentes entre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y el ámbito de la producción animal, prestando una especial atención a sus implicaciones y consecuencias derivadas de la actual crisis climática.

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas presenta 17 ODS, que integran, de forma indivisible, las tres dimensiones del desarrollo sostenible, siendo estos pilares: el social, ambiental y económico. El sector ganadero tiene un notable rol y un significativo potencial para la implementación y consecución de dichos Objetivos, enfocadas sus posibles intervenciones desde diferentes perspectivas que se desarrollan a lo largo del presente trabajo. Entre los enfoques se abarcan las relaciones generales entre los ODS y la ganadería (especialmente centrado en rumiantes), diversas estrategias para la puesta en práctica de los ODS, el impacto de la crisis climática a nivel productivo, sus estrategias adaptativas y de mitigación. Entre los impactos sociales se identifica la movilidad humana forzada y el riesgo de hambrunas e insuficiencia alimentaria. Por último, se analiza el impacto de la producción de carne y su consumo en dietas sostenibles.

Palabras clave: ODS, ganadería, cambio climático, dietas sostenibles, impacto social.

Climatic shock and Sustainable Development Goals: an approach from the perspective of animal production, meat consumption and its social effects

Abstract

The objective of this paper is to carry out a synthesis about the multiple and complex relationships between the Sustainable Development Goals (SDGs) with the field of animal production, paying special attention to its implications and consequences derived from the current climate change.

* Autor para correspondencia: olleta@unizar.es

Cita del artículo: Guerrero A, Gómez-Quintero JD, Olleta JL (2020). Crisis climática y Objetivos de Desarrollo Sostenible: un enfoque desde la perspectiva de la producción animal, el consumo de carne y los efectos sociales. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 116(5): 405-423. https://doi.org/10.12706/itea.2020.025

The United Nations 2030 Agenda for Sustainable Development presents 17 SDGs, which integrate, in an indivisible way, the three dimensions of sustainable development, being these pillars: social, environmental and economic. The livestock sector has a remarkable role and significant potential for the implementation and achievement of these objectives, focusing its possible interventions from different perspectives that will be developed throughout this article. Approaches include the general relationships between the SDGs and livestock, various strategies for the implementation of the SDGs, the impact of the climate crisis on animal production and its implications at social level. As well as, aspects related to climatic migrants and food production, analyzing also the impact of meat production and its consumption on sustainable diets.

Keywords: SDGs, livestock, climate change, sustainable diet, social impact.

Introducción

Principales interacciones entre ODS

La Nueva Agenda global 2030 propuesta por la ONU entró en vigor de manera oficial el 1 de enero de 2016 y está enfocada hacia la consecución de un desarrollo sostenible. Para ello se han formulado una serie de objetivos globales cuya finalidad es erradicar la pobreza, disminuir las desigualdades y proteger el medio-ambiente, promoviendo así un desarrollo global sostenible (ONU, 2020). El reto actual internacional consiste en alcanzar las 169 metas propuestas derivadas de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) vigentes. Para ello se están implementando diferentes estrategias que guían los programas de desarrollo y las políticas mundiales y que continuarán durante la próxima década (ONU, 2019). Su consecución genera grandes desafíos por lo que necesitan una actuación conjunta implicando todos los sectores de la sociedad: gobiernos, sector público, sector privado, sociedad general, etc. fomentado, desde distintos niveles y ámbitos competenciales, políticas, actuaciones de concienciación e implementación de diferentes acciones.

Los 17 ODS integran, de forma indivisible, las tres dimensiones del desarrollo sostenible: la social, ambiental y económica. Existiendo múltiples e inseparables relaciones entre muchos de ellos. De manera práctica los ODS se podrían agrupar en aquellos que describen las necesidades y aspiraciones de los pueblos (fin de la pobreza, hambre cero, buena salud y educación, igualdad de género, reducción de las desigualdades y paz y justicia). Aquellos que describen los requisitos ambientales o "planetarios" (agua, energía, sistemas marinos, tierra y biodiversidad, y clima) y los que describen los procesos para alcanzar un mejor equilibrio entre ellos. Siendo este un enfoque pueblos-planeta-procesos (PPP) muy adecuado para sintetizar las múltiples interacciones que la ganadería presenta con los ODS (FAO, 2016). Estos fuertes vínculos y relaciones pueden ser tanto directas como indirectas asociadas a todo el sistema de agroalimentación (Campbell *et al.,* 2018). El sector agro-ganadero tiene mucho que decir, hacer y aportar en la consecución de estos objetivos, siendo no sólo un sector productor de alimentos sino con repercusión directa en el ámbito social y medio-ambiental (Guerrero *et al.*, 2019a). Aunque la ganadería se relaciona con los 17 ODS, existen seis más relevantes para el sector: los ODS 1 (fin pobreza), 2 (hambre cero), 12 (producción y consumo responsable), 13 (acción por el clima), 15 (vida y ecosistemas terrestres) y 17 (alianzas). La ganadería es un instrumento eficaz para la mejora de las condiciones de vida, especialmente en áreas rurales, y en regiones más desfavorecidas, ya que permite disminuir los índices de pobreza y garantizar la seguridad

alimentaria (ONU, 2019). En los países del norte, es un sector fundamental para garantizar el abastecimiento de alimentos a la sociedad. Es una fuente de ingresos y empleo, variable según países, que representa en países de renta alta el 3 % del empleo total. En países de ingreso medio estas cifras ascienden hasta el 29 %, y alcanzan el 60 % en los de ingreso bajo (Banco Mundial, 2020). El apoyo a pequeños y medianos productores contribuye de manera significativa a reducir las desigualdades en y entre los países (FAO y AGROSAVIA, 2018). Los trabajadores de este sector fomentan la vida rural, mantienen infraestructuras en pueblos y comarcas, permiten la supervivencia poblacional en zonas de grave declive demográfico, mantienen prácticas y tradiciones que en muchos lugares del mundo constituyen parte importante del patrimonio cultural e inmaterial de la humanidad. No obstante, la caída del número de trabajadores agrícolas es vertiginosa año tras año. Según las estadísticas del Banco Mundial (2020) en 1991 el porcentaje de empleo agrícola mundial era del 44 % del total del empleo mientras que en el 2018 decayó hasta el 28 %. En el año 1965 los países de la Unión Europea contaban con 141 millones de personas que vivían en zonas rurales. En 2016 esa cifra disminuyó hasta los 124 millones y la tendencia vigente continúa en descenso (Faostat, 2020).

La mujer desempeña un papel muy relevante, frecuentemente infravalorado en las estadísticas laborales, cuya representación oscila entre el 52 % de los empleos agrarios en África del Sur, al 7 % en América Latina y El Caribe o el 3 % en zona Euro (Banco Mundial, 2020). Por tanto, especialmente en regiones más desfavorecidas con peor acceso a recursos, tierra y capital, priorizar la mejora de las condiciones de vida sería necesario para alcanzar la igualdad de género en el sector (FAO, 2016). El abordaje del binomio ganadería-educación incluye diversas perspectivas. En las regiones más desfavorecidas una mayor cantidad de ingresos derivados de la ganadería se traducen en mejores posibilidades de acceso de las familias a la educación, teniendo un considerable impacto social positivo, una mejora económica y social que favorece la reducción de desigualdades o de la brecha muchas veces existente entre poblaciones del medio rural y urbano. En regiones con más posibilidades, la educación sobre la importancia del medio rural y el origen de los distintos alimentos favorece la valorización del sector.

Es también directa la relación de la ganadería con otros ODS relacionados con el agua, con la vida en los diferentes medios (terrestres y submarinos), con los sistemas de producción y consumo responsables, así como su acción por el clima. Esta relación e impacto tiene un doble sentido de influencia. La ganadería afecta a las variaciones climáticas y medio ambientales, así como estos cambios (a los que su modificación no se debe únicamente al impacto agro-ganadero) también afectan directamente al sector. Siendo este también un instrumento indudable para generar alianzas o mediación de conflictos e integración de determinadas poblaciones, tal y como se está aplicando ya en territorios como Colombia (Zygierewicz, 2018), donde distintos proyectos de cooperación internacional en el ámbito agrario están demostrando ser una herramienta de integración efectiva.

De la teoría a la práctica. Aplicación ODS en el sector bovino de carne

El abordaje sobre los ODS es muy amplio, multidisciplinar y variado. Sin embargo, es universal que las prioridades de implementación de determinados ODS, a pesar de tener una dimensión global, variarán notablemente según las necesidades y las interacciones con los principales problemas y retos de sos-

tenibilidad de cada región, territorio o país (Salvia *et al.,* 2019). Las investigaciones realizadas en los últimos años (Kanter *et al.*, 2016; Nhemachena *et al.,* 2018; Caiado *et al.*, 2018; Guerrero *et al*., 2019b) destacan algunos aspectos clave para el éxito de metas específicas de los ODS. Estas claves van desde los incentivos económicos creados por decisiones gubernamentales, la adaptabilidad a los parámetros locales, el papel de los actores implicados hasta el grado de información y conocimiento de los universitarios y profesionales especializados.

Varios informes internacionales como "*2019 – Europe Sustainable Develpoment Report*" del Instituto Europeo de Política Ambiental (SDSN e IEEP, 2019) recogen el diagnóstico de cada país, los índices e indicadores de los principales avances y retos en la consecución de los ODS, reflejándolos también de una manera gráfica mediante mapas virtuales (EU SDG Index). Otros trabajos de investigación como el de Nhemachena *et al.* (2018), muestran que, incluso en países pertenecientes a una misma subregión, existen peculiaridades, fortalezas y diferentes prioridades basadas en sus propias condiciones básicas.

Es fundamental poder llevar las bases teóricas a un terreno práctico y aplicativo. En esa línea, diversos proyectos dan un enfoque aplicable a las estrategias agroalimentarias disponibles para cumplir con la Nueva Agenda, esto es, "traducir los Objetivos de Desarrollo Sostenible en acción". Para ello es necesario estudiar distintos subsectores agrícolas bajo el prisma de la utilización de diversas herramientas locales y experiencias que puedan ayudar a transformar el sector agroalimentario de una manera coherente con los ODS. Como trabajo de campo concreto Kanter *et al.* (2016) estudiaron el sector de vacuno de carne uruguayo. En él se desarrollaron y estudiaron estrategias que permitieron un desarrollo sostenible, que maximizó la productividad, a la vez que consideró el impacto ambiental, tratando de disminuir la huella de carbono y mantener la biodiversidad, así como analizando las pérdidas de nitrógeno y fijación de carbono. Tal y como se recoge en dicho trabajo, la aplicación de este modelo desarrollado en otros países es un gran reto y cada estrategia debe adaptarse a las condiciones particulares. Ya que, en Uruguay, por ejemplo, existe una combinación de factores como incentivos económicos y ambientales que han hecho que los ODS sean una de las prioridades del gobierno. Hecho que no ocurre en otros muchos países por su situación política o ambiental. En América Latina y El Caribe, donde el sector ganadero representa el 46 % del PIB agrícola y se produce casi el 30 % de la carne de vacuno mundial, las experiencias y desafíos en la producción cárnica difieren. La implementación de diferentes innovaciones que permiten una producción mediante la disminución de emisiones de Carbono varía según países y especies considerada. En la Figura 1 se observa que tanto la densidad ganadera, como el impacto de la intensidad de emisiones derivada la producción cárnica difieren considerablemente según el área geográfica. Entre las estrategias recogidas por FAO y AGROSAVIA (2018) se encuentran aquellas relacionadas con modelos de clasificación y priorización de municipios para la asignación de recursos y ejecución de proyectos sostenibles en ganadería (Brasil); impulsar sistemas de control para la producción en sistemas ecológicos (Argentina) o aplicación de nuevas metodologías para cuantificar la producción de metano entérico caracterizando la composición de la dieta, productividad y manejo de los sistemas ganaderos (Ecuador-Colombia).

En España se han desarrollado diversas iniciativas con éxito que evidencian el posible desarrollo de modelos más sostenibles aplicados a la producción de carne bovina. El proyecto "Sobrarbe Autóctono y Sostenible" desarrollado en la comarca del Sobrarbe (Huesca, Es-

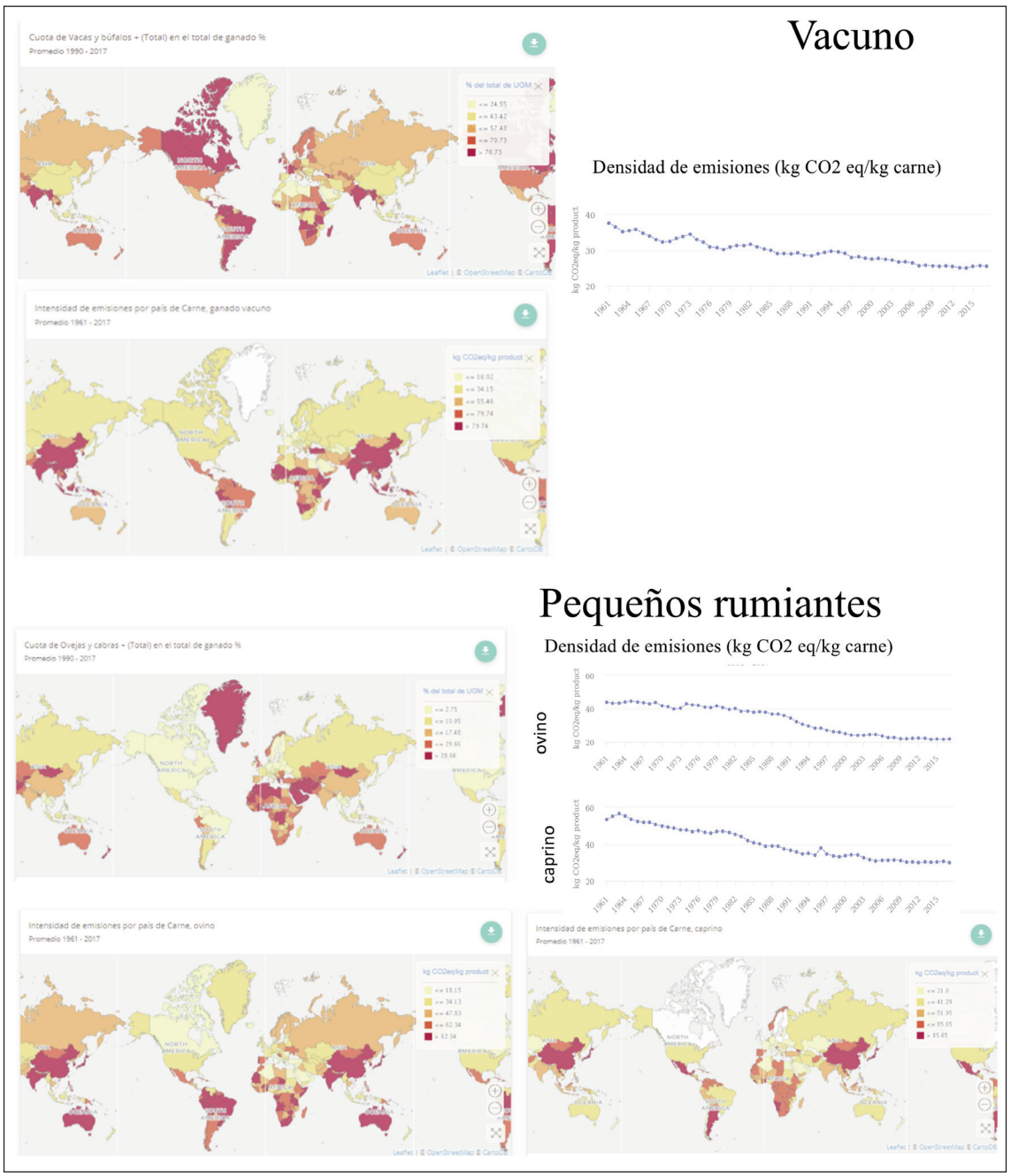


Figura 1. Distribución geográfica y su impacto en la intensidad de emisiones durante la producción de carne de rumiantes.

Fuente: Faostat (2020).

Figure 1. Geographical distribution and impact of emissions on ruminant meat production.

paña; 2016/2018) implicó a toda la cadena de producción con una misma finalidad, la búsqueda por una producción más sostenible integral en la región. Para ello participaron conjuntamente los sectores de la Producción Animal (ganaderos de raza bovina Pirenaica), del Medio Ambiente (Fundación para la conservación del Quebrantahuesos), Administración local (ayuntamiento), proveedores de alimentos y restauración de la comarca. Algunas de las acciones más significativas desarrolladas y relacionadas con los ODS fueron:

ODS 4 (Educación) y 12 (Producción y consumo responsable):

- Promoción y difusión del concepto de la carne "de km cero" en los colegios, institutos, carnicerías y locales dedicados a restauración.
- Sensibilización a la población escolar de la importancia que tiene realizar los actos de consumo de forma consciente, crítica, sostenible, responsable y solidaria.
- Ayudar a vincular el medio rural con un mercado de productos de calidad asociado a sus materias primas de proximidad.
- Fomento de la comercialización que permita un aprovechamiento directo del productor y comprador sin la intervención de la intermediación, disminuyendo con ello los gastos de un proceso más complejo y difícil.

ODS 8 (trabajo y crecimiento) y ODS 15 (vida ecosistemas terrestres):

- Creación de las condiciones para generar empleo y el asentamiento de la población en el medio rural.
- Garantizar la continuidad de las explotaciones del sector primario como instrumento de desarrollo económico en el medio rural, vinculado a los recursos locales.
- Potenciar un comedero de aves necrófagas de la zona.

Con todas estas acciones además de colaborar con la implantación de los ODS se fomenta una economía circular donde el alimento para el mantenimiento de la especie protegida (Quebrantahuesos) procede del propio matadero comarcal. El cual presta servicio sin coste a los ganaderos de la región, con el consiguiente beneficio para la ganadería extensiva circundante y la biodiversidad. También hay un beneficio económico y medio ambiental, debido al ahorro en costes y contaminación por una menor distancia de transporte al matadero comarcal, a carnicerías de la zona, y al evitar el transporte y la incineración de cadáveres y despojos. Así como un beneficio e impacto directo sobre el eco turismo de la zona. Este comedero constituye igualmente un recurso educativo realizando visitas formativas y educativas en todos los sectores de enseñanza.

Las políticas agrarias actuales reconocen el papel fundamental de la ganadería en el mantenimiento de la diversidad ecológica, paisajística y cultural. Su multifuncionalidad productiva, medioambiental y social, así como los diversos beneficios y contribución a una economía verde que presenta la diversidad genética ganadera (Leroy *et al*., 2018a,b). Uno de los cambios más importantes que se ha producido en los mercados alimentarios es el paso de la venta de productos básicos, no diferenciados, a la venta de productos de calidad diferenciada (Sañudo *et al.,* 2017). La coordinación entre los actores es más sencilla en el caso de circuitos cortos de comercialización o sistemas alimentarios locales.

El etiquetado es una herramienta importante que recoge distintos tipos de informaciones que proporcionan al consumidor la posibilidad de ser consciente y de elegir el tipo de producto que quiere comprar y consumir. Las marcas de calidad diferenciadas (Sañudo *et al.,* 2017) o aquellas que permitan identificar un producto de cercanía, local o elaborado bajo diversos sistemas de producción específicos

(Guerrero *et al.,* 2019b) serían estrategias aplicables. Así por ejemplo el consumo de carne local o de razas autóctonas podría favorecer esta sostenibilidad asociado a los distintos beneficios ambientales, sociales y económicos locales que proporciona (Dietapyr2, 2020).

La Figura 2 sintetiza de una manera gráfica la relación de los conceptos abordados en el contexto de los ODS y la producción bovina. En el sector, es un desafío lograr la consecución de múltiples ODS, a la vez que incrementar la productividad agropecuaria y mejorar las condiciones de vida en áreas rurales, mientras se minimizan los efectos ambientales negativos. No existen modelos universales exportables, aunque si es genérico que para lograr el equilibrio de los ODS es necesario conocer y estudiar cada contexto de implementación. La adaptación de los modelos requiere del estudio de factores tales como parámetros locales, circunstancias específicas y actores implicados, que son determinantes en el éxito y aplicación de cada decisión o estrategia (Kanter *et al.,* 2018).

Resulta imposible la implantación de los ODS si la información sobre los mismos no llega a los actores involucrados y estos no adquieren un compromiso para su implementación. Es evidente que no es posible implementar estrategias y actuaciones que favorezcan su consecución cuando las distintas acciones para ponerlos en marcha se desconocen (Guerrero *et al*., 2019b). En esta línea se encuestaron a más de 600 universitarios vinculados al sector agro-alimentario en diversos países de Iberoamérica (España, Brasil y Colombia), y se observó diferencias significativas en el grado de conocimiento de los ODS según el país, rol académico y el nivel de formación (Guerrero, 2018). Así mismo, en dicho estudio se hallaron actitudes que reflejaban una alta disposición a contribuir en la con-

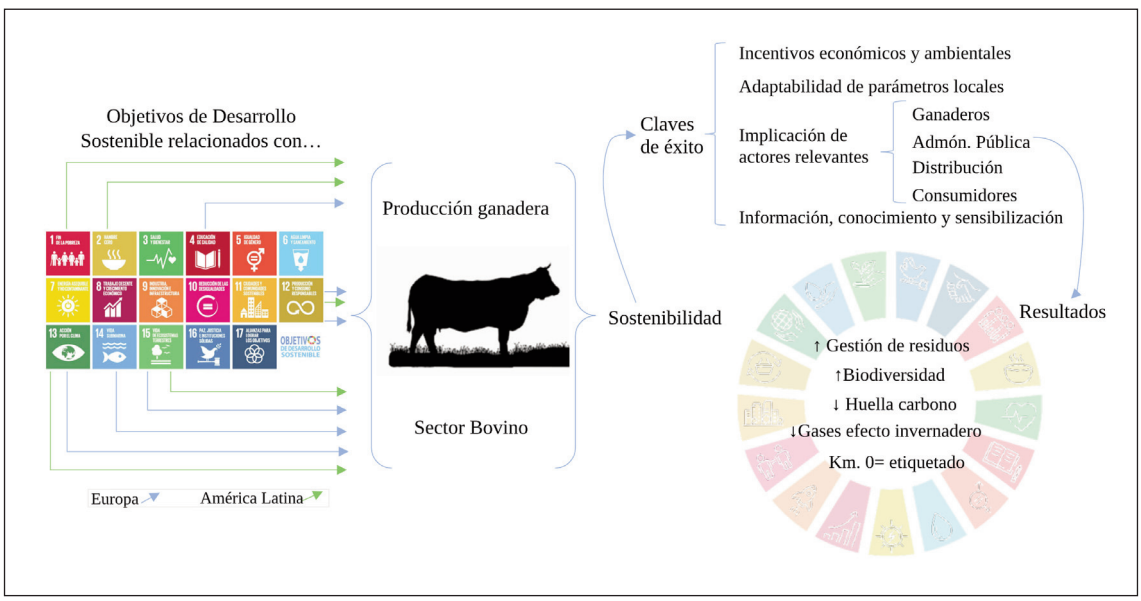


Figura 2. Relación de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) con la producción bovina: claves exitosas de sostenibilidad y resultados basados en evidencias.
Figure 2. Relationship between Sustainable Development Goals (SDGs) and beef production: Successful keys to sustainability and results based on evidence.

quista de varias de las metas propuestas para alcanzar los ODS, especialmente el ODS 2 (Hambre cero) y 12 (Producción y consumo responsables). Sin embargo, a pesar de la disposición y la voluntad, muchos encuestados expresaron su desconocimiento sobre qué acciones concretas podrían realizar como agentes promotores del cambio desde su propio ámbito profesional (Guerrero *et al*., 2019b,c). Sería recomendable, como sugería Caiado *et al.* (2018) en su revisión sobre implementación de los ODS, la realización de otros estudios similares aplicados a los diversos eslabones del sector. Los que permitirían conocer las perspectivas, nivel de conocimiento e implicación con los ODS en los distintos eslabones de la cadena de producción (ganaderos, centros de procesado, intermediarios, incluso el consumidor final). Todavía son escasos los trabajos en este ámbito y serían necesarios para ayudar a comprender cómo se pueden conseguir exitosamente la implementación de los ODS en las diferentes culturas, ámbitos geográficos y sectores profesionales. Uno de los déficits más importantes en la implementación de los ODS en las regiones de renta baja es la escasa información relacionada con el diagnóstico, el seguimiento y la implementación de las metas correspondientes (Nhemachena *et al.*, 2018). Por lo que se aboga a centrar esfuerzos futuros en la recopilación de datos para acceder a una aplicación más amplia y efectiva de los mismos que permita contribuir de una manera concreta y eficaz a la mejora de sistemas agroalimentarios sostenibles según las condiciones básicas de cada país.

Crisis climática: su impacto sobre la producción animal

Son múltiples los informes y evidencias sobre el aumento de la temperatura del último siglo, asociado a los gases de efecto invernadero, tendencia al calentamiento global que afectará de manera diferente a determinadas regiones, especialmente las más vulnerables (AECID, 2018; Faostat, 2020).

La producción ganadera se ve afectada directamente por las modificaciones climáticas (como se detallará posteriormente), siendo necesario el desarrollo de estrategias de adaptación. Mientras que a su vez el propio sector contribuye al cambio climático, por lo que es preciso la implementación de estrategias de mitigación para minimizar su impacto (Figura 3). El consumo de alimentos es responsable de una proporción considerable de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), al sector ganadero se le atribuye la responsabilidad del 14,5 % de las mismas. Por tanto, se puede considerar un sector clave en la mitigación de las emisiones, así como imprescindible para garantizar la mejora y seguridad alimentaria mundial (Rojas-Downing *et al.*, 2017), impactando directamente en los ODS.

Son múltiples los factores derivados de la crisis climática que afectan a la producción, detalladamente descritos en algunos trabajos como el de Rojas-Downing *et al.* (2017). Centrándonos en los rumiantes, podríamos agrupar estos factores de una manera resumida en cinco aspectos principales (Fang *et al*., 2015).

1. Pastos, sistemas silvopastorales. Impacto negativo sobre la biomasa de pastizales y desarrollo de modificaciones en los ecosistemas, por lo que los sistemas basados en pastoreo se ven más afectados directamente por el calentamiento global que los sistemas intensivos.
2. Los productos ganaderos. Las variaciones ambientales unidas especialmente a altas temperaturas ambientales producen efectos negativos en la producción de leche o calidad de la carne.
3. Salud del ganado. Al deterioro de la salud de los animales y disminución de su respuesta inmunológica se unen efectos di-

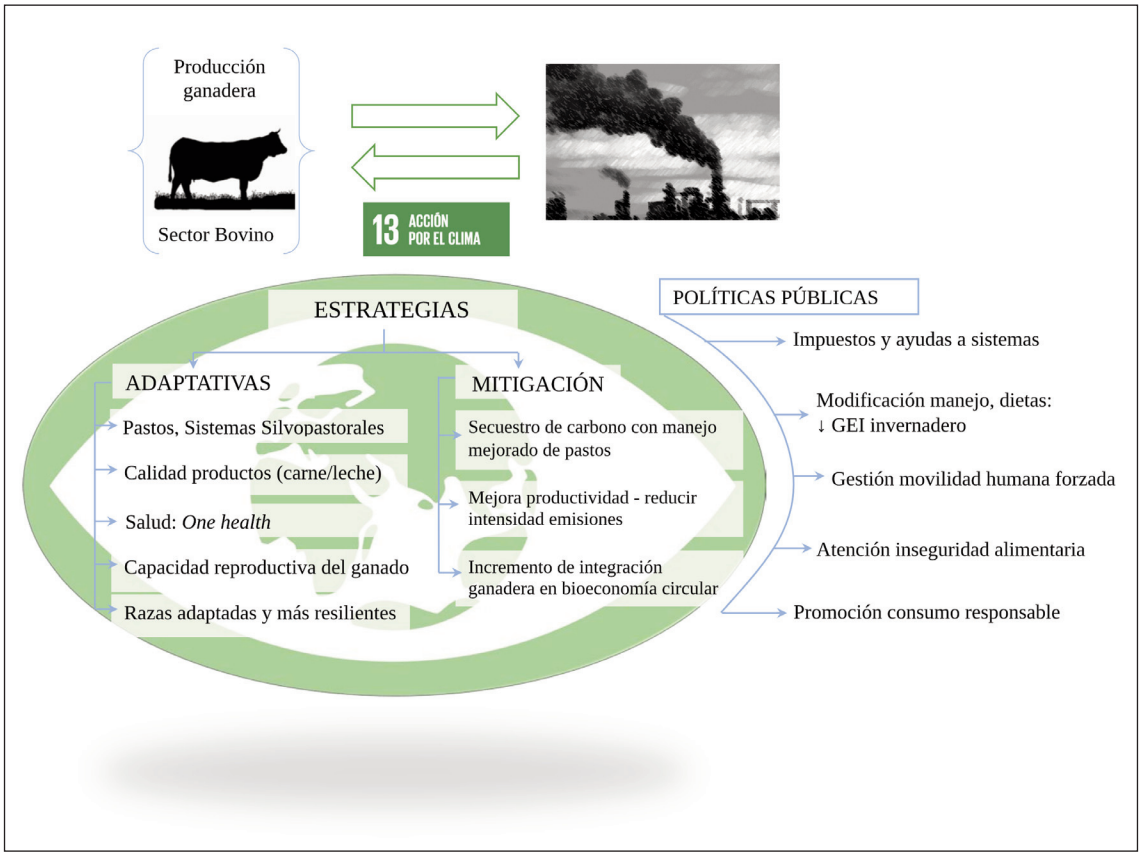


Figura 3. Estrategias de adaptación, mitigación y de acción política ante la crisis climática.
Figure 3. Adaptation, mitigation and political strategies to climate crisis.

rectos de enfermedades y muertes relacionadas con la temperatura, así como variaciones en la distribución de enfermedades transmitidas por vectores y por los alimentos. Cabría remarcar en este punto la consecuencia que los aspectos relacionados con la salud animal tienen en la salud humana, siendo necesario priorizar el enfoque de Una Salud Global "*One Health*".

4. Capacidad reproductiva del ganado. Se ve alterada por cambios en la temperatura ambiental, diversos estudios muestran como las altas temperaturas reducen la fertilidad del ganado.
5. Impacto económico. Pérdidas en el sector de cría y producción derivadas de los distintos factores anteriormente citados.

Diferentes regiones rurales, especialmente aquellas todavía en desarrollo, donde su modo de vida está asociado a la ganadería y a los recursos extensivos, les repercute de una manera más grave las consecuencias de la crisis climática. Sufriendo una reducción y disminución de la calidad de las áreas de pastoreo, aumento de las enfermedades del ganado y escasez del agua. Factores imprescindibles en la producción ganadera que derivan en efectos devastadores a nivel socioeconómico general (Ullah *et al.,*

2018). La crisis climática produce oscilaciones en la distribución, en la regularidad e intensidad de las lluvias, variación térmica, aumento de la intensidad y frecuencia de fenómenos climáticos extremos, contribuyendo a otros factores como son la pérdida de la biodiversidad y la degradación de los recursos naturales (Figura 4). Afectando su progresión de diferente manera según culturas y poblacionales, viéndose agudizado por la falta de formación o información y apoyo público sostenido en determinadas regiones (AECID, 2018).

Hace una década se publicaban trabajos cuyo objetivo era dilucidar cómo el cambio climático podría afectar a algunas variables de la producción animal poniendo como ejemplo la calidad de la carne. Gregory (2010) divide los efectos principalmente en dos. Aquellos directos derivados del estrés por calor que podrían darse en algunas especies y provocar cambios directos sobre la composición de los tejidos y el metabolismo celular, aumentando algunos defectos en la calidad de carne como DFD en rumiantes, y deshidratación en la ma-

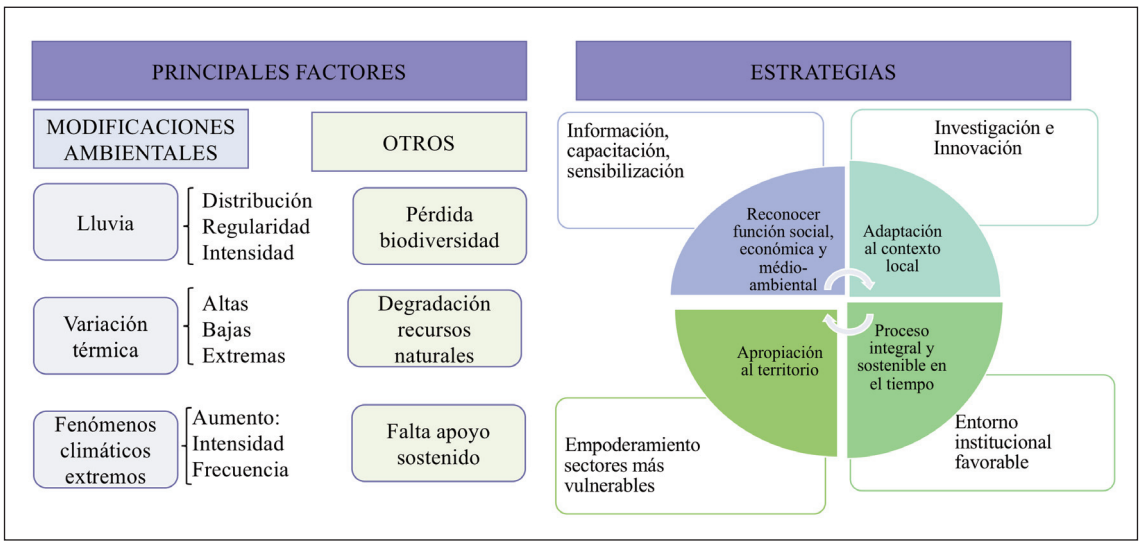


Figura 4. Principales factores que influyen en la crisis climática y estrategias para afrontarla desde los sistemas de producción ganaderos.

Fuente: Adaptado de AECID (2018).

Figure 4. Main factors influencing climate shock and strategies to deal with it from livestock production systems.

yoría de las especies. Y una segunda vertiente derivada de los cambios directos en el manejo y en las prácticas ganaderas de diversas especies. Varios estudios sobre la calidad de la carne reflejan como el sistema de producción origina modificaciones tanto en la calidad físico-química como organoléptica del producto, así como existen variaciones dependiendo de las propias razas (Koutsidis *et al*., 2008; Christensen *et al*., 2011; Panea *et al*., 2018).

Algunas de las posibles estrategias para facilitar en los animales la adaptación a las condiciones climáticas cambiantes sugeridas por Gregory (2010) fueron: Introducción y selec-

ción de razas más tolerantes al calor; favorecer la presencia de los genotipos mejor adaptados y más resilientes. Modificaciones en el sistema de manejo, dietas y estabulación de los animales; pre acondicionamiento de estos al calor para fomentar su adaptación y mayor supervivencia ante el estrés por calor durante el transporte y procesamiento en planta.

Polli *et al.* (2019) recogen como las condiciones climáticas afectan mediante variaciones en los índices de temperatura y humedad, tanto al rendimiento como al comportamiento de los corderos empeorándose los resultados como consecuencia del malestar térmico. La producción lechera también se ve afectada por las variaciones de temperatura y humedad, consecuencia de los cambios climáticos durante las diferentes estaciones en las últimas décadas. Ya se están produciendo efectos adversos en la productividad lechera, y algunos escenarios predicen que el cambio climático conduciría en una reducción de entre el 5-11 % en la producción de lácteos por año en el periodo 2020-2039 (Qi *et al.,* 2015). Existe una vulnerabilidad global en la producción mundial de alimentos ante eventos climáticos extremos que varía según la región y país analizado (Yeni y Alpas, 2017).

Parra-Cortes *et al.* (2019) recopilan informaciones sobre alternativas de intensificación sostenible de los sistemas de producción bovina, enfatizando en el papel que pueden tener los sistemas silvopastoriles en zonas tropicales de América Latina. Donde la integración de árboles, arbustos y razas locales serían una estrategia recomendada para la mitigación de los deterioros ambientales en dichas zonas. Ya que favorecen el mantenimiento de la diversidad, evitando la desaparición de economías familiares, incrementando los resultados productivos sin agudizar deterioros ambientales. Así como fomentan la seguridad alimentaria a partir de recursos locales, que a su vez dinamizan un desarrollo sostenible social, ambiental y económico de la región.

Existen diversas estrategias de mitigación efectivas para reducir el impacto de las industrias ganaderas y en general de todo el sector agroalimentario en el cambio climático. Como indican Hyland *et al.* (2017) y Rojas-Downing *et al*. (2017) estas pasan desde estrategias políticas y económicas, más relacionadas con aspectos como los impuestos y ayudas o subvenciones a determinados sistemas o sectores. Hasta otras más concretas en la propia cadena de producción, mediante implementación de estrategias que reduzcan la emisión de gases de efecto invernadero, o modificaciones de manejo, dietas, sistemas de producción y comercialización.

Una intensificación sostenible a través del aprovechamiento combinado de los diferentes recursos existentes y la aplicación de innovación e implantación de nuevas tecnologías en la alimentación y producción animal, permitirán producciones más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. También nuevos aditivos moduladores de la fermentación y el desarrollo de modelos de gestión más eficaces son estrategias que pueden minimizar las emisiones e impacto climático (FAO, 2019). La guía elaborada por FAO (2017) "Soluciones ganaderas para el cambio climático" propone tres formas de reducir sustancialmente emisiones de la producción ganadera mediante 1) Mejora de la productividad para reducir las intensidades de emisión; 2) Secuestro de carbono a través del manejo mejorado de pastos; 3) Incremento de la integración ganadera en la bioeconomía circular (Figura 3).

Por último, el comportamiento y decisión de compra de los consumidores, la elección o priorización de determinados productos tiene un gran efecto directo en los modelos de producción. Siendo conveniente para la posible realización de cambios tangibles repensar los actuales modelos de consumo y trabajar sobre la reducción del desperdicio alimentario.

Todas las estrategias de mitigación requieren una consideración cuidadosa, estudio minucioso de todos los factores y contextualización del marco de aplicación, según las necesidades y condiciones de cada región. Como indican Campbell *et al.* (2018) las acciones transformadoras en el sistema alimentario para poder lograr determinados ODS, como el 13 (Acción por el clima), son cruciales, pero en todas estas acciones se deben tener en cuenta las relaciones con otros ODS.

El impacto social de la crisis climática sobre la producción

La crisis climática, en mayor o menor medida, está perjudicando directamente al entorno rural y productivo, desencadenado también una migración rural por inestabilidad de los recursos. Creándose una reubicación de diferentes especies ganaderas, debido también a la redistribución y uso de la agricultura, así como a las limitaciones del acceso a agua y/o escasez de precipitaciones. Todo ello conlleva la mudanza en la concentración de los núcleos productivos y modificaciones en la calidad de la carne y seguridad alimentaria previamente comentada (Gregory, 2010).

De acuerdo al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), hay una sólida evidencia del impacto del cambio climático sobre los sistemas naturales en todos los continentes y océanos. Los peligros vinculados a los efectos de la crisis climática afectan a las vidas de las personas pobres y vulnerables ya sea directamente, a través de impactos en los medios de subsistencia, reducciones en los rendimientos de los cultivos o a través de aumentos en los precios de los alimentos y en la inseguridad alimentaria (AECID, 2018). De este modo, nos encontramos con impactos significativos en las condiciones de vida de las poblaciones rurales y campesinas de determinadas zonas del mundo. En concreto se destacan dos consecuencias sociales, económicas y demográficas: la movilidad humana forzada y la falta de recursos alimenticios. Estas dos consecuencias suponen la dificultad para garantizar derechos sociales y económicos a las poblaciones afectadas, tales como el derecho a la vida, la salud, la educación, el trabajo, el saneamiento, la vivienda digna y el consumo de agua y otros bienes esenciales para la vida. Tal y como recoge el informe sobre los ODS 2019 (ONU, 2019), si bien los potenciales beneficios económicos de los procesos de consumo y producción sostenibles están claramente definidos, los beneficios sociales, en gran medida, todavía se pasan por alto, rara vez se miden o se incluyen en los objetivos de las normativas. Mientras el 63 % de las normativas examinaron los efectos en la contaminación del aire, el suelo y el agua, o el 43 % en las emisiones de gases de efecto invernadero, sólo el 11 % consideró su impacto en la salud y el 7 % su impacto en los géneros.

Aunque anualmente se publican cifras cada vez más fiables sobre desplazamientos internos relacionados con perturbaciones ambientales, resulta difícil obtener datos fidedignos (IDMC, 2019 en Oakes *et al.,* 2020). Es muy complejo realizar estimaciones fiables de las personas que abandonan sus hogares en previsión o como consecuencia de procesos de evolución lenta como la desertificación, disminución de las precipitaciones o la subida del nivel del mar (IDMC, 2019 en Oakes *et al.,* 2020).

Una de las cuestiones que sí se ha podido constatar es la tendencia creciente del desplazamiento rural-urbano que, según los contextos, se ve acelerada por la crisis climática. En los desplazamientos migratorios las mujeres son más vulnerables que los hombres porque asumen la tarea del cuidado de menores, enfermos o discapacitados durante la movilidad. Además, muchos países tienen le-

gislaciones que dificultan el acceso a servicios y derechos de propiedad de la tierra para ellas (Resurrección *et al.*, 2019). Esto supone el abandono de tareas productivas agrícolas, ganaderas y pesqueras realizadas en zonas rurales o pequeños núcleos, con el propósito de buscar alternativas laborales en el sector de los servicios de las grandes urbes (Oakes *et al.,* 2020). El segundo tipo de impacto socioeconómico de la crisis climática se sitúa en el ámbito de la subalimentación y de las hambrunas ocasionadas por la escasez de recursos alimenticios y por el bajo rendimiento de los cultivos que dependen de la precipitación o que son altamente sensibles a las sequías (AECID, 2018; FAO, 2018). Las hambrunas y el déficit alimenticio no sólo son causadas por las condiciones extremas del clima, ya que también influyen los conflictos bélicos, el acceso a los insumos necesarios para la producción agrícola (semillas, fertilizantes, herramientas, etc.); pero los informes recientes (AECID, 2018; FAO *et al.,* 2018) señalan que es uno de los factores clave del actual aumento de las crisis alimentarias graves. "El efecto acumulativo de los cambios en el clima está minando todas las dimensiones de la seguridad alimentaria, esto es, la disponibilidad de alimentos, el acceso, la utilización y la estabilidad" (FAO *et al.,* 2018).

En concreto, en América Latina y El Caribe el impacto a medio plazo de los principales riesgos es la menor disponibilidad de agua en regiones semiáridas, el incremento de las inundaciones y los deslizamientos de tierra por precipitaciones extremas. Así como la, menor producción de alimentos y disminución de la calidad alimentaria, convirtiéndose el impacto en alto o muy alto si no se impulsan estrategias de adaptación y mitigación (AECID, 2018). Esta compleja interacción entre la crisis climática y los sistemas de producción agrícola y ganadera requiere un diseño cuidadoso y una combinación de políticas ambientales y enfoques de gestión en la producción (Figura 4). En este sentido los ODS ofrecen metas claves para el diseño de políticas y acciones claras de cara a la reorganización del manejo de las tierras, la agricultura y la ganadería, vitales para el asentamiento de la población y la eliminación del hambre.

Como refleja Fang *et al.* (2015), la adaptación de la producción de carne al cambio climático es un proceso continuo y dinámico. El cual hace necesaria la puesta en marcha de políticas e intervenciones efectivas que puedan mejorar la inversión en educación y capacitación en el trabajo para mejorar la productividad laboral. Políticas públicas que fomenten infraestructuras donde fuesen necesarias, proyectos de conservación de agua, subsidios de material de producción ganadera, capacitación profesional e innovación (Figura 4) son imprescindibles.

¿Dietas sostenibles?

Las dietas sostenibles son aquellas con bajo impacto ambiental que contribuyen a la seguridad alimentaria y nutricional, y a la vida sana de las generaciones presentes y futuras (FAO, 2010). Estas concurren a la protección y respeto de la biodiversidad y los ecosistemas, son culturalmente aceptables, económicamente justas, accesibles, asequibles, nutricionalmente adecuadas, inocuas y saludables, y permiten la optimización de los recursos naturales y humanos. Estando relacionadas por tanto con los múltiples ODS. De modo que las elecciones individuales que se hacen sobre este tema tienen el potencial de influir sustancialmente tanto en la salud pública, como en el medio ambiente. Y consecuentemente en todo el sector agroalimentario, con su correspondiente impacto social y económico previamente comentado.

El aporte de proteína al consumo mundial derivado de los productos ganaderos y de la carne (el cual representa el 50 % de los anteriores), presenta desde la década de los 60 del

siglo XX hasta nuestros días una tendencia creciente. Los últimos datos disponibles (Faostat, 2020) muestran como la carne representa el 17,9 % de la proteína total consumida mundialmente por persona y año. Aunque tanto el consumo como la cantidad de emisión derivada de esta producción varía notablemente según el país. Especialmente basado en su nivel de ingresos, (mayores emisiones en el hemisferio Sur e importantes variaciones en el consumo según la tradición más o menos ganadera del país además del nivel de ingresos, Imagen 1). Evidenciado que los kg CO_2 eq. por kg de proteína, podrían reducirse notablemente mediante inversión en mejoras de la eficiencia de los sistemas ganaderos. Las especies de rumiantes suelen emitir muchos más gases de efecto invernadero por unidad de proteína en comparación con el monogástrico, siendo la media entre 201 y 295 en pequeños rumiantes y vacuno, frente 55 y 35 kg CO_2 eq. por kg de proteína para los suinos o aves respectivamente. El metano entérico representa más de la mitad de emisiones de gases de efecto invernadero en rumiantes, mientras que la producción de piensos, uso del suelo y el manejo del estiércol son los principales contribuyentes a las emisiones en sistemas de monogástrico (FAO, 2019). Aunque es constante encontrar alegatos enfocados en mostrar la insostenibilidad de las dietas actuales y reducción del consumo de carne, ha quedado demostrado en los inciertos tiempos actuales azotados por pandemias internacionales, que la ganadería es un sector esencial, que ha mantenido constante su actividad para poder garantizar el suministro de alimentos a toda la población. Y a su vez, durante el confinamiento se ha producido un drástico descenso y mejora de la calidad del aire como han reflejado las distintas imágenes satélites de la Agencia Espacial Europea, asociado a la paralización de otros sectores como la reducción de la actividad industrial y transporte.

Revisiones como la de Hyland *et al.* (2017) recogen la complejidad de la relación entre consumo de alimentos (haciendo hincapié en el consumo de carne) y su relación con el medio-ambiente y cambio climático, analizando posibles estrategias que podrían implementarse para mitigar su impacto climático. Las cuales pasan por un ajuste adaptado según las necesidades poblacionales y la ubicación de los sistemas de producción ganadera en uso (por ejemplo, en cada tipo de carne el eslabón donde actuar para reducir las emisiones varía), unido al apoyo de políticas que faciliten la implementación de estas medidas de adaptación y mitigación del cambio climático (Rojas-Downing *et al*., 2017).

Una dieta se considerará sostenible si se adhiere a los principios anteriormente descritos por la FAO. Sin embargo, las dietas se componen de agregados de alimentos individuales, por lo que la reducción en el consumo de carne no necesariamente conduce a reducciones en las emisiones generales e incluso puede aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero en la dieta dependiendo de los alimentos que se usan para reemplazarlo. Distintos autores sugieren la nula necesidad de evitar categorías enteras de alimentos para poder adherirse al concepto de sostenibilidad alimentaria (Hyland *et al.,* 2017).

La realización de estudios más precisos y actuales sobre la composición nutricional de la carne (ya que se ha demostrado las grandes diferencias entre tipos de animales en función de sus características como edad, aptitud, sistema de alimentación, etc.) permitirán reanalizar y replantear los requerimientos, necesidades y pautas de consumo, con la generación de tablas nutricionales actualizadas que permitan la elaboración de dietas más reales, completas, variadas y sostenibles. Diversos estudios como Mesana *et al.* (2013) han demostrado como el consumo regular de otras carnes rojas como la carne de cordero puede formar parte de una dieta sana, variada y bien equilibrada. Por tanto, el siguiente paso sería intentar compaginar simultánea-

mente las directrices dietéticas recomendadas (con sus revisiones por la disponibilidad de continuos nuevos datos) con la reducción de las emisiones derivadas de la producción de los alimentos incluidos en ellas.

La educación y transferencias al consumidor sobre las características nutricionales, beneficios y posibles riesgos asociados a distintos tipos de carne (McAfee *et al.,* 2010; Pereira y Vicente, 2013) son esenciales para poder escoger una alimentación sana, desde un punto de vista crítico y responsable. Existen plataformas que aúnan conceptos entre los binomios (carne y salud o carne y ciencia) donde se dispone de una manera divulgativa diversos tipos de informaciones y estudios que muestran la otra cara del consumo de carne (Carne y salud, 2019).

Otro aspecto frecuentemente cuestionado es la accesibilidad por precio a determinados tipos de alimentos, entre ellos la carne bovina. En la Tabla 1 se recoge una comparativa sobre los precios de diferentes tipos de alimentos incluidos en una dieta y su precio en España tanto por kilogramo, como por kilogramo de proteína o hierro que aportan, así como los kilogramos de consumo de los diferentes productos que serían necesarios para determinadas ingestas de nutrientes. En dicha Tabla se observa cómo el pan, un alimento básico en nuestra dieta mediterránea es altamente competitivo y la carne bovina, tantas veces criticada, no está tan mal posicionada en precio como inicialmente se piensa respecto a los vegetales. La carne roja está frecuentemente estigmatizada y discurre entre diversas estrategias para la reducción de las emisiones de carbono. Sin embargo, cabe remarcar que es la única fuente dietética de ciertos nutrientes esenciales; por lo tanto, eliminarla de la dieta podría presentar desafíos de salud (Binnie *et al.,* 2014), así como consecuencias económicas, sociales y medio ambientales derivadas de su sustitución por otro tipo de alimentos. Por lo que

Tabla 1. Comparativa del aporte nutricional de diversos productos y precios.
Table 1. Comparison of various products (nutritional contribution and prices).

	€/kg	€/ kg proteína	€/kg hierro	kg consumidos/kg proteína
Pan blanco	2,45	29,8	942	12,2
Leche fresca	0,98	31,6	10.888	32,2
Lechuga	5,05	360,7	6.312	71,0
Naranja	1,64	164,0	32.800	99,0
Carne bovina	12,4	60,7	4.960	4,9

Fuente: Sañudo (2019).

cualquier herramienta de política alimentaria desarrollada para aunar salud y sostenibilidad debería ser abordado desde un foco holístico, en lugar de concentrarse únicamente en un determinado grupo de alimentos. Siendo imprescindible enfatizar sobre las consecuencias que tiene en general un sobre-consumo de alimentos. El cual es un aspecto del discurso de la dieta sostenible al que se le presta poca atención, pero con grandes implicaciones significativas, no sólo abordables desde la variable relacionada con la

sostenibilidad y emisión prescindible de gases, sino también desde la perspectiva de salud pública y la creciente epidemia mundial de obesidad (Hyland *et al.*, 2017; FAO, 2019; ONU, 2019). A esta disminución de consumo o consumo más racional, sin sobrepasar los requerimientos individuales, se le puede sumar otra estrategia efectiva y posible de implementar en todos los sectores, estando relacionada con la "reducción". Disminución tanto de los residuos, mediante un mayor aprovechamiento integral, circular de todos los productos o subproductos, así como la reducción a nivel individual del desperdicio alimentario, por todo el gasto energético y coste medio ambiental derivado que supone el desechar por distintos motivos cualquier alimento de consumo tanto humano como animal.

Conclusiones

La interacción entre los Objetivos de Desarrollo Sostenible, producción animal y crisis climática es un hecho palpable que requiere la aplicación de diferentes estrategias, tanto de adaptación de los sistemas y animales al medio actual cambiante, como de mitigación, para reducir su efecto sobre el medio ambiente en relación con la emisión de gases o modificaciones del uso de la tierra.

El enfoque, abordaje e implementación de las estrategias aplicables para la implementación de los ODS dependen de los factores y prioridades de cada país o región a considerar. Pero es común la necesidad de una mayor concienciación de todos los eslabones (desde el productor al consumidor), investigación, innovación y apoyo público sostenido.

La crisis climática tiene consecuencias sociales tangibles, generalmente poco visibilizadas o estudiadas que además de repercutir en la producción, afectan a la consecución de otros ODS prioritarios ligados indirectamente a la ganadería (ODS 2, 4, 12, 13, 17).

La producción animal puede ser un instrumento efectivo que ayude a canalizar la emergencia climática e implementación de los ODS, colaborando en la consecución de un desarrollo sostenible a nivel medioambiental, social y económico. Pero para ello se requiere todavía de la aplicación de innovaciones técnica y estudios que permitan una producción más eficiente y responsable. Así como replantearse y adecuar los modelos actuales de producción y consumo, donde las dietas se formulen desde una perspectiva holística, en la que también la carne pueda colaborar en su aportación tanto nutricional como social y cabida dentro de un modelo de dieta sostenible.

Referencias bibliográficas

AECID (2018). Cultivando resilencia frente al cambio climático: lecciones aprendidas para contribuir a la seguridad alimentaria y al derecho a la alimentación en América Latina y el Caribe. Segura AR, Morán S (Coord.). Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo, Madrid. Disponible en: http://www.aecid.es/Centro-Documentacion/Documentos/Publicaciones%20AECID/Guia%20did%C3%A1ctica_rev.pdf (Consultado: 20 enero 2020)

Banco mundial (2020). Estadísticas disponibles en: https://datos.bancomundial.org/ (Consultado: 18 febrero 2020).

Binnie MN, Barlow K, Johnson V, Harrison C (2014). Red meats: Time for a paradigm shift in dietary advice. Meat Science 98: 445-451. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.024

Caiado RGG, Leal Filho W, Quelhas OLG, Nascimento DLM, Ávila LV (2018). A Literature-based review on potentials and constraints in the implementation of the sustainable development goals. Journal of Cleaner Production 198: 1276-1288. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.102

Campbell BM, Hansen J, Rioux J, Stirling CM, Twomlow S, Wollenber EL (2018). Urgent action to combat climate change and its impacts (SDG 13): transforming agriculture and food systems.

Current Opinion in Environmental Sustainability 34: 13-20. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.06.005

Carne y salud (2019). Carne y ciencia. Disponible en: https://www.carneysalud.com/carne-y-ciencia/ (Consultado: 18 diciembre 2019).

Christensen M, Ertbjerg P, Failla S, Sañudo C, Richardson RI, Nute G, Olleta JL, Panea B, Albertí P, Juárez M, Hocquette JF, Williams JL (2011). Relationship between collagen characteristics, lipid content and raw and cooked texture of meat from young bulls of fifteen European breeds. Meat Science 87: 61-65. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.09.003

Dietapyr2 (2020). Diez Razones para Consumir carne. Disponible en: http://dietapyr2.com/es/resultados.html (Consultado: 22 marzo 2020).

Fang YP, Liu YW, Yan X (2015). Meat production' sensitivity and adaptation to precipitation concentration index during the growing season of grassland: Insights from rural households. Agricultural and Forest Meteorology 201: 51-60. http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.11.001.

FAO (2010). Sustainable Diets and Biodiversity: Directions and Solutions for Policy, Research and Action. International Scientific Symposium, Biodiversity and Sustainable Diets United Against Hunger, FAO Headquarters, Rome, Italy, 3-5 November 2010. 307 pp.

FAO (2016). Síntesis – Ganadería y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Programa Mundial de Ganadería Sostenible. AGAL Livestock Information, Sector Analysis and Policy Branch.

FAO (2017). Livestock solutions for climate change.

FAO, FIDA, OMS, PMA, UNICEF (2018). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2018. Fomentando la resiliencia climática en aras de la seguridad alimentaria y la nutrición. Roma, FAO. 199 pp.

FAO y AGROSAVIA (2018). Innovaciones en producción cárnica con bajas emisiones de carbono. Experiencias y desafíos en ALC.

FAO (2019). Five practical actions towards low-carbon livestock. Rome.

FAOSTAT (2020). Food and Agriculture Organization statistical database. Disponible en: http://www.fao.org/faostat/es (Consultado: 01 marzo 2020).

Gregory NG (2010). How climatic changes could affect meat quality. Food Research International 43: 1866-1873. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.05.018

Guerrero A (2018). Información y compromiso de los ODS 2 (hambre cero) y 12 (producción y consumo responsables) entre universitarios iberoamericanos del sector agroalimentario. TFM; Facultad de Economía y Empresa. Master propio en cooperación para el desarrollo. Universidad de Zaragoza. Septiembre 2018.

Guerrero A, Gómez-Quintero JD, López O (2019a). Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en el mundo agroganadero. Boletín Agro-Ganadero 144: 14-05-2019.

Guerrero A, Sañudo C, Olleta JL, López O, Gómez-Quintero JD (2019b). Conocimiento y aplicabilidad de las marcas de calidad como estrategia de implementación de los objetivos de desarrollo sostenible: estudio sobre la comunidad universitaria iberoamericana del sector agroalimentario. I Congreso Iberoamericano de Marcas de Calidad de Carne y de Productos Cárnicos, 24 y 25 octubre, Bragança, Portugal, pp. 29-33.

Guerrero A, Gómez-Quintero JD, López O (2019c) Estrategias y acciones aplicables en el sector ganadero y agrario para favorecer la implementación de los ODS. Boletín Agro Ganadero 145: 21-05-2019.

Hyland JJ, Henchion M, McCarthy M, McCarthy SN (2017). The role of meat in strategies to achieve a sustainable diet lower in greenhouse gas emissions: A review. Meat Science 132: 189-195. http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.04.014

IDMC (2019) Centro de Seguimiento de los Desplazamientos Internos. Global Report on Internal Displacement 2019. IDMC, Ginebra.

SDSN, IEEP (2019). The 2019 Europe sustainable development report. Sustainable Development Solutions Network and Institute for European Environmental Policy. Paris y Bruselas. Disponible en: https://eu-dashboards.sdgindex.org/ (Consultado: 25 enero 2020).

Kanter DR, Schwoob MH, Baethgen WE, Bervejillo JE, Carriquiry M, Dobermann A, Ferraro B, Lanfranco B, Mondelli M, Penengo C, Saldias R, Silva ME, Soares de Lima JM (2016). Translating the sustainable development goals into action: A participatory backcasting approach for developing national agricultural transformation pathways. Global Food Security 10: 71-79. http://dx.doi.org/10.1016/j.gfs.2016.08.002

Kanter DR, Musumba M, Wood SLR, Palm C, Antle J, Balvanera P, Dale VH, Havlik P, Kline KL, Scholes RJ, Thornton P, Tittonell P, Andelman S (2018). Evaluating agricultural trade-offs in the age of sustainable development. Review. Agricultural Systems 163: 73-88. http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2016.09.010.

Koutsidis G, Elmore JS, Oruna-Concha MJ, Campo MM, Wood JD, Mottram DS (2008). Water-soluble precursors of beef flavour. I. Effect of diet and breed. Meat Science 79: 124-130. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.08.008

Leroy G, Baumung R, Boettcher P, Besbes B, From T, Hoffmann I (2018a) Animal genetic resources diversity and ecosystem services. Global Food Security 17: 84-91. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.04.003

Leroy G, Hoffmann I, From T, Hiemstra SJ, Gandini G (2018b) Perception of livestock ecosystem services in grazing areas. Animal 12: 2627-2638. https://doi.org/10.1017/S1751731118001027

McAfee AJ, McSorley EM, Cuskelly GJ, Moss BW, Wallace JMW, Bonham MP, Fearon AM (2010). Red meat consumption: An overview of the risks and benefits. Review. Meat Science 84: 1-13. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.08.029

Mesana MI, Santaliestra AM, Fleta J, Campo MM, Sañudo C, Valbuena I, Martínez P, Horno J, Moreno LA (2013) Changes in body composition and cardiovascular risk indicators in healthy Spanish adolescents after lamb- (Ternasco de Aragón) or chicken-based diets. Nutrición Hospitalaria 28: 726-733. https://doi.org/10.3305/nh.2013.28.3.6382

Nhemachena C, Matchaya G, Nhemachena CR, Karauaihe S, Muchara B, Nhlengethwa S (2018). Measuring baseline agriculture-related sustainable development goals index for Southern Africa. Sustainability 10: 849. https://doi.org/10.3390/su10030849

Oakes R, Banerjee S, Warner K (2020) Cap 9. Movilidad humana y adaptación al cambio ambiental. En: Informe sobre las migraciones en el mundo 2020 (Ed. International Organization for Migration) pp. 253-284.

ONU (2019). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2019. Naciones Unidas, Nueva York, EEUU.

ONU (2020). ODS. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Disponible en: http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/ (Consultado: 30 mayo 2020).

Panea B, Olleta JL, Sañudo C, Campo MM, Oliver MA, Gispert M, Serra X, Renand G, Oliván MC, Jabet S, García S, López M, Izquierdo M, García-Cachán MD, Quintanilla R, Piedrafita J (2018). Effects of breed-production system on collagen, textural, and sensory traits of 10 European beef cattle breeds. Journal of Texture Studies 49: 528-535. https://doi.org/10.1111/jtxs.12350

Parra-Cortes RI, Magaña-Magaña MA, Piñeiro-Vázquez AT (2019). Intensificación sostenible de la ganadería bovina tropical basada en recursos locales: alternativa de mitigación ambiental para América Latina. Revisión Bibliográfica ITEA-Información Técnica Económica Agraria 115: 342-359. https://doi.org/10.12706/itea.2019.003

Pereira MCC, Vicente AFRB (2013). Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet. Meat Science 93: 586-592. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.09.018

Polli VA, Vaz RZ, Carvalho S, Costa PT, Mello RO, Restle J, Nigeliskii AF, Silveira IDB, Pissinin D (2019). Thermal comfort and performance of feedlot lambs finished in two climatic conditions. Small Ruminant Research 174: 163-169. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.03.002

Resurrección BP, Goodrich CG, Song Y, Bastola A, Prakash A, Joshi D, Liebrand J, Shah SA (2019). In the shadows of the Himalayan mountains: Persistent gender and social exclusion development. En: The Hindu Kush Himalaya Assessment (Eds. P. Wester, A. Mishra, A. Mukherji y A. Bhakta

Shrestha), pp 491-516. Springer, Londres. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92288-1_14

Rojas-Downing MM, Nejadhashemi AP, Harrigan T, Woznicki SA (2017). Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and Mitigation. Climate Risk Management 16: 145-163. http://dx.doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001

Qi L, Bravo-Ureta BE, Cabrera VE (2015). From cold to hot: Climatic effects and productivity in Wisconsin dairy farms. Journal Dairy Science 98: 8664-8677. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-9536

Salvia AL, Filho WL, Brandli LL, Griebeler JS (2019). Assessing research trends related to Sustainable Development Goals: local and global issues. Journal of Cleaner Production 208: 841-849. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.242

Sañudo C, Guerrero A, Magalhaes D, Campo MM (2017) Importancia y necesidades de las marcas de calidad en la carne y productos cárnicos (pasado, presente y futuro). En: Guía Práctica Marcas de Calidad y Productos Cárnicos (Ed. Teixeira A, Red CYTED 116RT503, Marcarne), pp. 5-15. Instituto Politécnico de Bragança, Portugal.

Sañudo C (2019) Conferencia Magistral: Reflexiones sobre la carne y su filosofía. Congreso Iberoamericano de marcas de Calidad de Carne y Productos Cárnicos. 24 y 25 octubre, Bragança, Portugal.

Ullah H, Rashid A, Liu G, Hussain M (2018). Perceptions of mountainous people on climate change, livelihood practices and climatic shocks: A case study of Swat District, Pakistan. Urban Climate 26: 244-257. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.10.003

Yeni F, Alpas H (2017). Vulnerability of global food production to extreme climatic events. Food Research International 96: 27-39. http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.03.020

Zygierewicz A (2018) Acuerdo comercial entre la Unión Europea y Colombia y Perú. Evaluación europea de la aplicación. Ed.EPRS, Servicio de Estudios del Parlamento Europeo. https://doi.org/10.2861/630919

(Aceptado para publicación el 23 de julio de 2020)

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

I. Blanco-Penedo[1,*], J. Cantalapiedra[2] y P. Llonch[3]

[1] Unidad de Epidemiología Veterinaria, Departamento de Ciencias Clínicas, Universidad de Ciencias Agrarias de Suecia, Suecia
[2] Servicio de Ganadería, Consellería do Medio Rural, Xunta de Galicia, Lugo, España
[3] 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

Cita del artículo: Blanco-Penedo I, Cantalapiedra J, Llonch P (2020). Impacto del cambio climático sobre el bienestar animal en los sistemas ganaderos. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 116(5): 424-443. https://doi.org/10.12706/itea.2020.028

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_4) o el óxido nitroso (N_2O) que, junto con el CO_2, contribuyen de forma notable al CC (Herrero *et al.*, 2016).

Las anomalías climáticas involucradas en el CC a través de la variabilidad climática generan 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 producción 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.

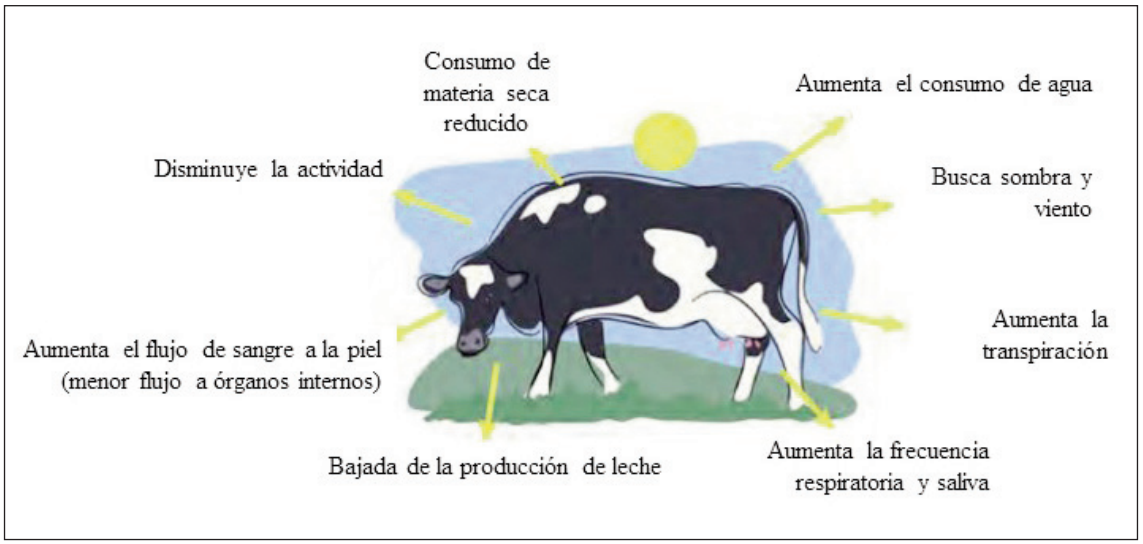


Figura 1. Mecanismos comportamentales, fisiológicos y productivos consecuencia del estrés térmico. (Fuente: autores).
Figure 1. Behavioral, physiological and productive mechanisms as a consequence of thermal stress. (Source: authors).

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 las 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 aúna

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 originarias 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 condiciones 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_2) 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_2 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_2, 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 dónde 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 dónde 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 cambio 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 (Foddai *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 climático, 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 comunidad 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).

Cerqueira 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, Vercruysse 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, Gonzàlez-Meler MA, Long SP (1997). More efficient plants: A consequence of rising atmospheric CO_2? 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, Villagrá 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

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

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

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 Clemont 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, Albihn 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, Dufrasne 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

Roca-Fernández AI, O'Donovan MA, Curran J, González-Rodríguez A (2011). Effect of pregrazing 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)

Ganadería extensiva frente al cambio climático en España

M. Pateiro, P.E.S. Munekata, R. Domínguez y J.M. Lorenzo*

Fundación Centro Tecnolóxico da Carne, Avd. de Galicia nº 4, Parque Tecnológico de Galicia, San Cibrao das Viñas, Ourense, España

Resumen

Las modificaciones derivadas del cambio climático hacen que sea necesario establecer estrategias de mitigación y adaptación del sector de la ganadería. La ganadería extensiva es un sector que se adapta de modo continuo y dinámico a los cambios y condicionantes que se presentan, por lo que es una herramienta muy importante como parte de la solución del cambio climático. Su resiliencia pasa por un aprovechamiento eficiente de los recursos y una programación adecuada de su uso que garantiza la gestión sostenible de los pastos, los animales y las explotaciones para mitigar el cambio climático, reduciendo al mínimo la generación de residuos y permitiendo una sinergia agrícola-ganadera. La gestión de los sistemas pastorales tendrá un papel fundamental a la hora de minimizar el impacto climático sobre la ganadería al contribuir a conservar la biodiversidad. Además, los sistemas de predicción son esenciales para el desarrollo de estrategias de adaptación, adelantándose a la toma de decisiones y evitando en la medida de lo posible los efectos adversos provocados por el cambio climático.

Palabras clave: Razas autóctonas, emergencia climática, producción sostenible, mejora de la capacidad productiva.

Extensive livestock farming against climate change in Spain

Abstract

The modifications produced by climate change make it necessary to establish mitigation and adaptation strategies for livestock sector. Extensive livestock farming is a sector that adapts continuously and dynamically to the changes and conditions that arise, making it a very important tool as part of the solution to climate change. Their resilience involves efficient use of resources and proper scheduling of their use that guarantees sustainable management of pastures, animals and farms to mitigate climate change, minimizing waste generation and allowing agricultural-livestock synergy. The management of the pastoral systems will have a fundamental role in minimizing the climatic impact on livestock by contributing to conserve biodiversity. Furthermore, forecasting systems are essential for the development of adaptation strategies, anticipating decision-making and avoiding as far as possible the adverse effects caused by climate change.

Keywords: Autochthonous breeds, climatic emergency, sustainable production, improving productive capacity.

* Autor para correspondencia: jmlorenzo@ceteca.net

Cita del artículo: Pateiro M, Munekata PES, Domínguez R, Lorenzo JM (2020). Ganadería extensiva frente al cambio climático en España. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 116(5): 444-460. https://doi.org/10.12706/itea.2020.024

Introducción

El cambio climático puede definirse como la variación global del clima de la tierra, y se plantea como el mayor reto al que se enfrenta la agricultura y la ganadería en este siglo. Se estima que debido a estas variaciones del clima se produzcan fenómenos meteorológicos extremos a muy diversas escalas de tiempo (MITECO, 2020). Entre todos estos fenómenos, cabe destacar el aumento de las temperaturas, lo que provocará olas de calor prolongadas, frecuentes y más intensas, así como períodos largos y más frecuentes de sequía debido a un significativo descenso de las precipitaciones. Por tanto, teniendo en cuenta las predicciones de los modelos climáticos, los recursos hídricos se tendrán que gestionar de modo diferente, debido a la variación tanto de la calidad como de la cantidad disponible de dichos recursos (García-Ruiz *et al.*, 2011). Esto hará que el agua se convierta en un factor limitante, que hará más vulnerables a los cultivos y a los sistemas ganaderos de pastoreo que son totalmente dependientes de la disponibilidad de los recursos naturales. Como consecuencia, se producirá un aumento en el número de plagas y enfermedades, una disminución de las cosechas y de la calidad de los productos. Con todo esto parece claro que la ganadería tiene que actuar y realizar cambios tanto en las zonas como en el sistema de producción, lo que sin duda tendrá una repercusión importante en la viabilidad económica de las explotaciones (UPA, 2019). En este sentido, la ganadería es por un lado una actividad emisora de gases de efecto invernadero y por otro un sector vulnerable ante el cambio climático y necesario para el correcto mantenimiento de los ecosistemas (Herrera, 2020).

El cambio climático es por lo tanto, una amenaza real para el bienestar que tendrá no sólo incidencia sobre el bienestar animal, sino también sobre su capacidad de adaptación. De hecho, la medida fundamental frente al cambio climático es la adaptación. Debemos prever sus efectos, adaptando prácticas y decisiones para evitar en la medida de lo posible sus consecuencias. Los territorios mediterráneos, entre ellos España, presentan por su situación geográfica una alta vulnerabilidad al cambio climático, haciéndolos más áridos (Diodato *et al.*, 2011). Esto provocará un efecto adverso sobre los rendimientos, aumentando el riesgo de pérdida de las cosechas (Ferrara *et al.*, 2010). Además, España es posiblemente el país más rico en especies animales de la Unión Europea lo que hace que los cambios en la diversidad lo hagan especialmente vulnerable (PNACC, 2019).

Ante esta situación, se plantean diferentes escenarios, en los que la ganadería extensiva, antaño abandonada progresivamente a expensas de sistemas más rentables, se postula como una opción viable y sostenible frente al cambio climático. Sin embargo, existe una falta de datos y estudios científicos, lo que dificulta el poder describir claramente el efecto que los sistemas de ganadería ejercen sobre la emergencia climática, y al mismo tiempo, como afectan los cambios del clima a las explotaciones ganaderas. Esto se debe en gran medida a la falta de identificación de los factores de estrés del cambio climático sobre el sistema ganadero, la dificultad de cuantificar las interacciones entre el medio y el ganado, y al mismo tiempo la ausencia o que existan muy pocos proyectos de investigación específicos para medir estos parámetros (Rubio y Roig, 2017).

Por tanto, el presente trabajo pretende de dar una visión global de como la ganadería extensiva puede dar respuesta a parte de los problemas que plantea la actual emergencia climática, así como las estrategias que dicha ganadería podría usar en su favor para una mejor adaptación a las nuevas condiciones derivadas del cambio climático. Para ello se hace una revisión bibliográfica, teniendo en cuenta los escasos estudios científicos y los

datos que estos aportan, y apoyándonos en muchos de los informes emitidos tanto por agencias gubernamentales como por otros entes privados.

Importancia de la ganadería extensiva ante la emergencia climática

Una estrategia contra el cambio climático es el desarrollo y fomento de la ganadería extensiva. Esta ganadería engloba a un conjunto de sistemas de producción que usan de manera eficaz los recursos del medio junto con las razas apropiadas, más rústicas y autóctonas, compatibilizando producción con sostenibilidad. Este tipo de ganadería tiene una gran importancia ya que contribuye a la biodiversidad, que tiene un papel fundamental en la estabilización del funcionamiento de los ecosistemas, incrementando su productividad, y contribuyendo, por lo tanto, al aprovisionamiento de bienes y servicios (Kirwan *et al.*, 2009). Sin embargo, la tendencia reciente de abandono de los campos debido a la falta de relevo generacional, la despoblación del medio rural junto con la dependencia en muchos casos de subvenciones (Bernués *et al.*, 2011) hacen que la ganadería extensiva no pueda rivalizar con un sistema de producción en intensivo, cada vez más automatizado y regulado, que permite rendimientos y un margen de beneficios superiores. Pero a diferencia de la cría en intensivo, la ganadería en extensivo genera productos de alta calidad, además de estar íntimamente con la gestión del territorio, el paisaje e influye de modo positivo, regulando ciclos de agua y aumentando la calidad del suelo mejorando de la calidad nutritiva de los pastos (Aldezabal *et al.*, 2002). A todo esto hay que sumar la importante labor de cortafuegos natural, limitando el crecimiento y desarrollo de la masa arbustiva de nuestros montes, ya que es la mayor parte del material combustible de los incendios forestales. En múltiples estudios realizados comparando la calidad de la carne y/o los productos cárnicos obtenidos mediante ganadería extensiva e intensiva, se ha observado que con la carne derivada de la ganadería extensiva presentó un valor nutricional superior (López-Pedrouso *et al.* 2020), generalmente con mayores valores de ácidos grasos esenciales y poliinsaturados (Lorenzo *et al.*, 2014; Gálvez *et al.*, 2020), lo que repercute de modo positivo en la salud humana. Desde el punto de vista organoléptico, también se ha demostrado que la carne proveniente de animales criados en régimen extensivo o semi-extensivo es mejor valorada que la de los animales criados en intensivo (Lorenzo *et al.*, 2016). Sin embargo, durante décadas, las explotaciones en extensivo han ido evolucionando hacia sistemas intensivos e integrados que ofrecían mayores rendimientos económicos, principalmente ligados al empleo de razas mejoradas y períodos de cebo más cortos, por lo que los beneficios ambientales anteriormente mencionados pasaron a un segundo plano.

La ganadería vinculada al pastoreo está normalmente ligada a zonas de montaña, formadas generalmente por explotaciones familiares y tradicionales de pequeño tamaño (Ferrer, 2016). El pastoreo extensivo permite un aprovechamiento óptimo de los recursos vegetales de la montaña, permitiendo una gestión apropiada del medio rural cuando se logra aumentar el grado de complementariedad entre las especies animales, el uso de los recursos vegetales y del territorio (Aldezabal *et al.*, 2012). En este sentido, son varios los beneficios que el uso de la ganadería extensiva a través del pastoreo tiene sobre el medio ambiente (Janzen, 2011; Sebastià *et al.*, 2012; San Miguel, 2016). De hecho, el informe publicado por Rubio y Roig (2017) destaca de entre múltiples beneficios, los siguientes:

– Contribuye al mantenimiento de la diversidad vegetal y animal. El ganado participa

en la gestión de los ecosistemas y en la conservación de especies vegetales y animales amenazadas.

- Permite la mejora de los pastos herbáceos. El ganado contribuye a la dispersión, germinación y desarrollo de ciertas especies pastorales como las leguminosas, las gramíneas y algunas crucíferas.
- Regula los ciclos de nutrientes, mejorando su aprovechamiento y contribuyendo al secuestro de carbono, así como el balance hídrico.
- Mejora la calidad del suelo y su estabilidad estructural, aumentando su actividad biológica.
- Contribuye a la prevención de incendios a través de la creación y mantenimiento de áreas de pasto cortafuegos.

Además de las mejoras de los pastos y el suelo, estas prácticas ganaderas son fundamentales también para el mantenimiento de especies y hábitats importantes para la biodiversidad de cada zona (Zabalza *et al.*, 2017). Con todo esto en mente, parece claro que la ganadería extensiva presenta unos beneficios significativos a la hora de luchar contra el cambio climático. Por un lado, mejora la gestión del territorio y ejerce un claro efecto positivo sobre el terreno y por extensión, sobre la biodiversidad de las zonas empleadas. Esto repercute positivamente en la propia explotación ganadera, que se ve favorecida de los beneficios derivados del pastoreo.

Acciones para la adaptación al cambio climático

Sin embargo, es importante destacar que la ganadería en extensivo no es ajena a la emergencia climática. Por tanto, las modificaciones producidas por el cambio climático hacen que sea necesario establecer estrategias de mitigación y adaptación del sector, incrementando la capacidad de observación, análisis y toma de decisiones, y pasando por un aprovechamiento eficiente de los recursos.

Empleo de razas autóctonas

Las razas autóctonas son todas aquellas razas originarias de España de protección especial y de carácter más local, que deben ser conservadas como patrimonio genético para favorecer su expansión y evitar su abandono y extinción, al disponer en su mayoría de escasos censos poblacionales y estar sometidas a factores de riesgo, con diversos grados de amenaza (BOE, 2019). Este gran patrimonio genético animal es el resultado de una cuidada selección de animales y del aprovechamiento de la diversidad asociada a nuestros sistemas pastorales.

Estas razas están incluidas en el Catálogo Oficial de Razas de Ganado de España, donde se incluyen todas las razas ganaderas reconocidas y utilizadas en España por su interés económico, productivo, cultural, medioambiental o social, destinadas a ser objeto de un programa de cría (BOE, 2019). Las razas autóctonas se agrupan en dos grupos: razas autóctonas de fomento y razas autóctonas en peligro de extinción. En el primer caso, se incluyen las que se han originado en España y que por su censo y organización se encuentran en expansión. En el segundo grupo, se encuentran aquellas que son originarias de España pero que se encuentran en grave regresión o en trance de desaparición.

Además de por su gran patrimonio genético, son muy valoradas por los beneficios que su cría, habitualmente en régimen extensivo, tiene para la sostenibilidad del medio rural (MAPA, 2020a). En el caso del ganado vacuno y equino se emplean sistemas extensivos de cría especialmente durante las primeras etapas de la vida de los terneros, aprove-

chando los pastos de montaña en el verano y las praderas en el invierno. Las cabras contribuyen al equilibrio de los bosques, ya que son capaces de digerir productos fibrosos. Los cerdos autóctonos son razas rústicas que aprovechan los recursos naturales y estacionales de bosques atlánticos y praderas, bellotas de haya y roble, castañas, avellanas, y recursos herbáceos, contribuyendo de este modo al control de la biomasa vegetal (MMA, 2008). Las explotaciones de ganado vacuno, ovino, caprino, porcino y equino de razas autóctonas suelen incluirse dentro de la ganadería extensiva. Como punto negativo del empleo de razas autóctonas cabe destacar que generalmente presentan unos factores productivos (producción de leche, capacidad de reproducción, engrasamiento y peso de las canales, etc.) menores que los de las razas seleccionadas. De hecho, en un estudio reciente realizado en cerdos concluyen que los rendimientos obtenidos en razas autóctonas y tradicionales no son comparables con los de las razas comerciales, precisamente no solo por el rendimiento como tal (que es muy inferior), sino también debido al alto grado de engrasamiento de estos animales (Araujo *et al.*, 2018). Sin embargo, los productos derivados de la ganadería extensiva con razas autóctonas presentan características superiores a los productos de animales procedentes de razas mejoradas y criados en extensivo. A mayores, el consumidor actual, consciente de la situación de emergencia climática y la relación dieta-salud demanda cada vez más productos procedentes de sistemas sostenibles, que sean respetuosos con el ambiente y también que presente una calidad nutricional óptima. Por tanto, los productos derivados de animales de razas autóctonas tienen un valor añadido, lo que les permite cierta competitividad en el mercado (Gómez *et al.*, 2018). La calidad organoléptica de estos productos es también generalmente superior a los de los animales criados en sistemas intensivos (Lorenzo *et al.*, 2016). Con esto en mente, y teniendo en cuenta que el consumidor está dispuesto a pagar más por los productos procedentes de este tipo de razas criadas en régimen extensivo, hacen que los aspectos negativos que las razas autóctonas presentaban frente a las razas mejoradas sean menores, ya que son compensados con precios superiores.

El empleo de razas autóctonas criadas en régimen extensivo es una de las mejores estrategias (Figura 1) debido a que estas son razas altamente adaptadas a las condiciones climáticas de cada región. Cada región del estado español presenta una casuística particular desde el punto de vista climático. Por tanto, el empleo de razas ya adaptadas a cada caso concreto ayuda en gran medida a mitigar los efectos que el cambio climático ejerce sobre cada una de ellas (Zotte *et al.*, 2020). De hecho, se ha señalado que los animales genéticamente seleccionados son más sensibles a los cambios ambientales (Mirón, 2017), por lo que el empleo de razas autóctonas podría ser una de las estrategias claves en la ganadería extensiva.

Mejora de la capacidad productiva de forma directa a través de pastos y forrajes

Los prados y pastizales, unos de los hábitats más ricos en especies de Europa, se encuentran amenazados por el cambio climático, poniendo también en peligro a los sistemas ganaderos extensivos (Caballero, 2007; Silva *et al.*, 2008). Esto hace que sea necesaria una gestión adecuada de los ecosistemas agrícolas para la adaptación de los pastos al cambio climático, y también de los sistemas extensivos (Tabla 1), íntimamente relacionados por el aprovechamiento que los animales hacen de sistemas pastorales (Rubio y Roig, 2017). Además, la elaboración de un catálogo de especies y hábitats permitiría caracterizar estos territorios, contribuyendo a la conservación de los recursos naturales (Berastegi *et al.*, 2012).

Tabla 1. Estrategias para la adaptación de la ganadería extensiva al cambio climático en España.
Table 1. Strategies for adaptation of extensive livestock farming to climate change in Spain.

Estrategia	Objetivo	Principales beneficios
Gestión de pastos	Manejo del ganado y control del pastoreo para mejorar la productividad de los pastos	Mejora de pastos herbáceos con especies más palatables
		Mejora de la calidad de pastos, con el fomento de grupos de especies de leguminosas
		Gestión de pastos leñosos. Control de los matorrales y prevención de incendios forestales
		Maximizar producción y calidad de los pastos y forrajes
		Mejora de condiciones hídricas
	Aumento de alternativas de alimentación. Selección de especies más adaptadas	Aumento de producciones totales, calidad y características nutricionales de los pastos. Esto facilita su uso en momentos de falta de alimento
	Gestión del territorio. Pastoreo como agente modelador del paisaje	Bajo impacto en la gestión de la vegetación, y conservación de la diversidad de flora y fauna
		Regulación de ciclos biogeoquímicos, especialmente en los ciclos de N y C
	Creación de indicadores de gestión sostenible y eficiente. Garantizar el pastoreo para la gestión de la ganadería extensiva	Evitar impactos negativos, reflejando la evolución de los servicios ecosistémicos producidos. Seguimiento y control de los aprovechamientos y efectos sobre el sistema pastoral
	Fomento de la movilidad del ganado. Pastoreo en distintas zonas en función de la época del año y fase productiva	Aumento de la disponibilidad de pastos para la alimentación según la fenología y producción de los distintos tipos de pastos
		Mejora del estado sanitario de los animales y reduce costes de alimentación
		Mejora en el manejo de pastos
		Mantenimiento de actividad socioeconómica en medio rural
	Desarrollo de modelos de predicción. Toma de decisiones anticipada ante la aparición de efectos adversos	Desarrollo de estrategias de adaptación. Aprovisionamiento de alimento y suplementación
		Previsión de necesidades de los animales. Alternativas de alimentación
		Previsión de riesgos y reducción de los costes

Estrategia	Objetivo	Principales beneficios
	Desarrollo de modelos de producción/gestión de sistemas pastorales complejos. Optimización del manejo y provisión de los servicios ecosistémicos asociados a la ganadería extensiva.	Conocimiento del funcionamiento de los sistemas pastorales, interacciones entre vegetación, clima y suelo y animales pastantes
		Análisis de interacciones entre los elementos de los sistemas pastorales
		Simulación de alternativas de gestión y manejo pastoral
Manejo de los animales	Uso de razas autóctonas. Aumento de la diversidad y aprovechamiento de los recursos naturales característicos del territorio	Mantenimiento de la diversidad genética de razas y especies autóctonas, con alta adaptación a los pastos herbáceos y leñosos
		Adecuación de las necesidades nutritivas de los animales. Empleo de las características de producción de cada raza
	Mejora de los recursos genéticos animales, mediante selección de rebaños/individuos por comportamiento, adaptación fisiológica, metabólica y hormonal de cada especie/raza	Mejora de los animales empleados en ganadería extensiva, mediante el conocimiento del comportamiento de los animales en pastoreo
		Aprovechamiento sostenible y eficiente de los pastos
		Conocimiento de los procesos metabólicos, fisiológicos y hormonales de la producción animal, lo que permite seleccionar aquellos con mejor adaptación y resistencia a entornos difíciles
	Mejora de la toma de decisiones con respecto al manejo de los animales y el pastoreo	Mejora del conocimiento de la producción animal en regímenes extensivos
		Ajuste de los ciclos productivos a los recursos disponibles y tolerancia a estrés en situaciones difíciles
		Innovación tecnológica para la gestión del movimiento de los animales
Gestión de la explotación	Conservación de forrajes y mejora de la calidad nutritiva de los forrajes y alimentos para su empleo en momentos de falta de alimento en el medio	Definir las prácticas ganaderas más adecuadas, mejorando la gestión de cultivos forrajeros y pastos (gestión eficiente)
		Optimización de la conservación de la calidad nutritiva de los forrajes y otras alternativas alimentarias

Estrategia	Objetivo	Principales beneficios
	Sostenibilidad de las explotaciones, optimizando la generación de servicios ecosistémicos	Sostenibilidad económica, ambiental y social de las explotaciones ganaderas en extensivo
		Técnicas de bajo impacto ambiental y su monitoreo mediante el seguimiento de indicadores de sostenibilidad
		Optimización de producción de recursos pastables y de alimentos suplementarios para el ganado
		Mejora en la gestión sostenible de los residuos
	Garantizar bienestar animal y calidad de vida de ganaderos/pastores. Facilitar el manejo del ganado y la gestión de la explotación	Infraestructuras ganaderas que garanticen el cuidado de los animales y la calidad de vida de pastores y ganaderos
		Mantenimiento adecuado de infraestructuras ganaderas existentes y creación de nuevas infraestructuras que garanticen el correcto cuidado de los animales y faciliten su manejo
	Diversificación de producciones y aprovechamientos. Adaptación a situaciones extremas	Divulgación de la calidad de los productos directos de la ganadería extensiva y de los servicios asociados
		Incremento del valor añadido de los productos ganaderos y producción de bienes directos de calidad diferenciada

Información adaptada del informe publicado por Rubio y Roig (2017).

El pastoreo adaptativo permite la recuperación de los pastizales a la vez que aumenta la cantidad de materia orgánica en el suelo, mejora la capacidad de retención de agua y ayuda a conservar la biodiversidad (Steffens *et al.*, 2013). Este sistema permite adaptar el plan de pastoreo según el estado del pasto a través de técnicas como *cell grazing*, *mob grazing*, *multi-paddock grazing*, *rotational grazing*, pastoreo dirigido y manejo holístico (Rolo, 2019). La calidad de los pastos anuales también puede mejorarse con la introducción de leguminosas que contribuyen a la adaptación de los sistemas extensivos al cambio climático. Estas especies son menos metagénicas, más ricas en proteínas, ácidos grasos y taninos. Al igual que el pastoreo adaptativo mejoran las propiedades del suelo al aumentar la cantidad de materia orgánica y de nutrientes, y mejorando la capacidad de retención de agua (Hernández-Esteban *et al.*, 2019).

Los sistemas de cultivo mixto también podrían ser una alternativa, ya que tienen un elevado potencial agronómico y ambiental, permitiendo mantener la función de provisión de los agroecosistemas (Erisman *et al.*, 2011). Éste es el caso de las cubiertas mixtas de gramíneas y leguminosas que pueden me-



Figura 1. Empleo de razas autóctonas como estrategia de adaptación de la ganadería extensiva al cambio climático en España.
Figure 1. Use of native breeds as a strategy for adapting extensive livestock to climate change in Spain.

jorarse con la inclusión de otras especies. Las forbias como la chicoria (*Cichorium intybus*) permiten complementar los contenidos de nitrógeno en situaciones en las que las leguminosas escasean, además de incrementar los contenidos en minerales (Høgh-Jensen *et al.*, 2006). Esta mezcla resulta en una mayor eficiencia del uso del nitrógeno, con un incremento del capturado por la cubierta vegetal y una reducción de pérdidas por lixiviación (Nyfeler *et al.*, 2011).

Otra posibilidad la ofrece el triticale (×*Triticosecale* Wittmack), habitualmente utilizado en la alimentación animal (Giunta y Motzo, 2004; Peña, 2004). Este cultivo tiene un elevado valor agronómico, caracterizándose por una gran rusticidad que le permite adaptarse a condiciones adversas como la sequía y al frío, resistencia frente a ciertas enfermedades y con una producción de mayor cantidad de biomasa que otros cereales como el trigo, la cebada y el arroz (Bilgili *et al.*, 2009). Esto ofrecería una alternativa a la disminución de rendimiento de los cereales (FAO, 2020). Además de sus reconocidos beneficios adaptativos, también ofrece una buena composición nutricional rica en vitaminas, minerales y aminoácidos esenciales, junto con altos contenidos en almidón, lípidos, fibra y proteína comparado con el trigo.

Los pastos leñosos también son utilizados por los ganaderos para criar ganado en extensivo, ya que complementariamente a la hierba permiten alimentar a los animales. Las bellotas y otros frutos se utilizan como recursos en el otoño y comienzo del invierno, mientras que el follaje de árboles y arbustos suele utilizarse en verano y comienzos del

otoño, cuando apenas queda hierba fresca (PGEP, 2016). En los períodos de sequía, los bancos forrajeros leñosos podrían ser una alternativa a los piensos, ya que son una fuente importante de proteína. Éste es el caso de la especie *Morus* spp., caracterizada por su alto contenido en proteínas (15-28 %) y su alta digestibilidad (>80 %). Además, una composición baja en fibra y rica en hidratos de carbono, así como su alto contenido energético dan lugar a un ensilado rico en nutrientes y sin apenas aditivos. A estos beneficios se unen sus efectos ambientales beneficiosos que permiten evitar la erosión.

Estos pastos leñosos también abundan en espacios abiertos de montaña en forma de mato arbustivo. En estas zonas la intensificación agrícola se ha visto limitada por períodos de sequía, la reducción del pastoreo y el abandono de los usos tradicionales (Vázquez *et al.*, 2011). Unas adecuadas medidas de gestión permitirían devolver el equilibrio a estos agroecosistemas, aumentando su rentabilidad (Menéndez Artime *et al.*, 2012). Algunos autores han demostraron los beneficios de los sistemas de pastoreo tipo arbustivo-mediterráneo sobre la calidad de la leche de cabra de raza Payoya (Delgado Pertíñez *et al.*, 2012). Los resultados confirmaron la conocida relación entre calidad y alimentación, mostrando mayores contenidos de ácidos grasos n-3 y α-tocoferol, reconocidos por sus beneficios sobre la salud.

El mantenimiento de poblaciones vegetales también podría llevarse a cabo a través de la dispersión de semillas a través del tracto digestivo de los animales (Font *et al.*, 2015). Las cabras a través del ramoneo pueden promover la rápida dispersión de las semillas de leguminosas arbustivas *Adenocarpus decorticans* y *Retama sphaerocarpa*, las forrajeras *Cistus albidus* L., *Phillyrea angustifolia* L., *Rhamnus lycioides* L. y *Atriplex halimus* L., y las arbustivas mediterráneas *Cistus salvifolius, Halimium halimifolium, Myrtus communis* y *Pistacia lentiscus* (Grande *et al.*, 2012; Ramos-Font *et al.*, 2015).

En estas zonas también se ha producido una homogeneización del paisaje, una acumulación de combustible vegetal y un descenso de la biodiversidad de los hábitats, lo que conduce a un alto riesgo de incendios forestales (Lasanta *et al.*, 2000). El desarrollo de un modelo de gestión sostenible permitiría disminuir el riesgo de incendios y garantizar la preservación de los servicios ecosistémicos y la calidad ecológica de los espacios abiertos de montaña. El modelo está basado en la combinación óptima de fuego técnico y pastoreo dirigido, que permitirá la gestión del mato arbustivo como forma tradicional de recurso forrajero para razas autóctonas adaptadas a zonas de montaña. En algunas culturas, como la pirenaica, suele utilizarse para controlar el matorral, especialmente durante la época invernal. Sin embargo, en ocasiones pueden producirse cambios en los ciclos de nitrógeno cuando se producen cambios en las especies herbáceas después de la quema (San Emeterio *et al.*, 2012).

En este sentido, un proyecto europeo (Open2 Preserve) en el cual participan universidades y centros de investigación de España, Portugal y Francia estudian el efecto que el herbivorismo pírico (combinación de fuego controlado y pastoreo guiado) ejerce sobre el terreno y la calidad de los productos derivados de los animales criados con este sistema de producción. Las dificultades de la aplicación de desbroce mecánico para clarificar zonas de pastoreo en zonas de alta montaña con pendientes pronunciadas, así como la dificultad de hacerlo en zonas con especies arbustivas altamente desarrolladas hacen que la aplicación de fuego controlado sea una opción muy atractiva a la hora de regenerar y preparar estas zonas para ser empleadas en la ganadería extensiva. En este proyecto se estudia tanto la influencia que el fuego ejerce sobre las características del

suelo, así como en las especies herbáceas y arbustivas que hay antes y después de la quema dirigida. A diferencia de las altas temperaturas alcanzas durante los incendios forestales, la aplicación de fuego controlado en el invierno permite que las temperaturas en superficie sean lo suficientemente bajas para que esto no afecte a las condiciones biológicas del suelo. Este hecho combinado con el pastoreo guiado presenta un enorme beneficio, ya que favorece la biodiversidad y mantiene el suelo en condiciones óptimas. Además, el hecho de controlar el fuego permite minimizar efectos adversos derivados de la erosión que se podría producir. Sin embargo, hay que destacar que la ventana climática en la cual se puede realizar este tipo de quemas controladas es muy pequeña. En este caso, el empleo de ganado equino permite eliminar gran parte de la carga combustible de los bosques, debido principalmente a que es capaz de digerir celulosa e ingerir grandes cantidades de alimento durante períodos de pastoreo prolongado. En el proyecto también se emplea pastoreo con ovinos. En ambos casos, tanto equinos como ovinos, se emplean razas autóctonas debido a que presentan una gran adaptación al medio natural. Por tanto, el empleo del herbivorismo pírico puede ser una buena herramienta para la clarificación de nuevas zonas de pastoreo, siendo más económico y efectivo que el tradicional desbroce mecánico, lo que sitúa al ganadero en una posición de ventaja competitiva.

Mejora de la capacidad productiva de forma indirecta con la mejora del suelo y la captación de agua de lluvia

Como se ha comentado anteriormente, la ganadería extensiva ofrece grandes beneficios sobre la calidad y la estabilidad estructural del suelo (Janzen, 2011), donde la materia orgánica juega un importante papel en la mitigación del cambio climático, ya que es reservorio de la fertilidad del suelo a través del carbono orgánico.

Los cambios climáticos han provocado modificaciones sobre los ciclos de carbono y de nitrógeno que han dado como resultado cambios en la composición atmosférica. Esto hace que el ciclo de nitrógeno debe tenerse en cuenta en las discusiones sobre el clima, aprovechando efectos sinérgicos positivos para abordar los problemas del cambio global (Erisman *et al.*, 2011). En sistemas de pastoreo en los que se usa sólo el pasto, hay menos oportunidades para reducir las pérdidas de nitrógeno a través de la incorporación de especies forrajeras. En contraste, la rotación de cultivos en los sistemas de cultivo mixtos o ganaderos permiten introducir cultivos de cobertura de enraizamiento profundo y otras especies forrajeras (de Klein y Monaghan, 2011). Estudios realizados con especies de gramíneas con mayor profundidad y masa de enraizamiento mostraron pérdidas por lixiviación de nitrógeno menores y una recuperación significativamente mayor en comparación con otras especies (Popay y Crush, 2010).

La implantación de cubiertas vegetales, utilizando especies forrajeras, permite proteger el suelo de la erosión, a la vez que contribuye a proporcionar un pasto barato para el ganado. La alfalfa, la esparceta, los cereales forrajeros, *Lolium rigidum*, las vezas, los guisantes y *Atriplex halimus* constituyen alternativas de cultivos, pudiendo establecer una cubierta vegetal permanente (Delgado Enguita, 2012).

Además, la quema de restos de poda finos y el laboreo utilizando la técnica de línea clave permiten la mejora indirecta de la capacidad productiva. En el primer caso, el resultado es beneficioso para los microorganismos del suelo, que son esenciales para mejorar la disponibilidad de nutrientes y la estructura del suelo. Mientras que el segundo, permite

la captación de agua de lluvia, mejorando el almacenamiento de agua edáfica, y la reducción de la compactación de los suelos.

Fomento de la economía circular dentro de la explotación

La economía circular está relacionada con la sostenibilidad, ya que pretende mantener el valor añadido de los productos el mayor tiempo posible reduciendo al mínimo la generación de residuos, con la finalidad de que se transformen en recursos (UPA, 2019). Este sistema lleva asociado varias ventajas al reducir la dependencia de alimento de fuera de la explotación y el aprovechamiento de subproductos, permitiendo una sinergia agrícola-ganadera.

La reutilización de estiércoles y purines en los sistemas agrícolas mejora la fertilidad y aumenta los contenidos de materia orgánica de los suelos (Traba *et al.*, 2003). Esto permite reducir el uso de fertilizantes químicos y minimizar las emisiones derivadas de la gestión de los purines. Todo esto resultará en una diversificación de cultivos que beneficiará a las explotaciones ganaderas con la obtención de materias primas. Así se refleja en estudios realizados con aportes continuados de purín de vacuno pulverizados sobre una pradera, resultando en efectos positivos sobre las características del suelo, manteniendo las producciones y la calidad del forraje (Báez Bernal *et al.*, 2012). Por lo tanto, parece recomendable el empleo de estos productos en las explotaciones, lo que permitiría reducir costes directos derivados de la utilización de otros productos encalantes.

Sistemas de alerta temprana en la prevención de eventos climáticos

Los sistemas de alerta temprana, originados para prevenir los impactos de fenómenos naturales súbitos, son sistemas de adaptación al cambio climático que permiten prevenir eventos climáticos con la finalidad de adelantarse a la toma de decisiones. De este modo, la predicción a corto y medio plazo de precipitaciones y temperaturas es esencial para el desarrollo de estrategias de adaptación para las explotaciones, adelantando la toma de decisiones sobre la gestión de cultivos, los pastos, los excedentes o las compras de suplementos (Gliga *et al.*, 2012).

Además, estos sistemas de prevención y control también permiten:

- Realizar pronósticos climáticos para adaptar las siembras con el fin de responder adecuadamente a la variabilidad climática anual.
- Adaptar los sistemas de producción con semillas más resistentes a condiciones climáticas extremas, el manejo integral de plagas y enfermedades, las prácticas de conservación del suelo, las prácticas de conservación de la humedad y de captación de agua.
- La prevención y control de enfermedades para mitigar sus efectos, reduciendo la susceptibilidad de los sistemas ganaderos ante el posible incremento de enfermedades.
- Establecer estrategias de gestión de riesgos y de desarrollo sostenible: planificación del uso de los recursos naturales, programas de reforestación y conservación de suelos, promoción de la diversificación agrícola.

Perspectivas futuras: Plan Estratégico de la PAC POST 2020

Ante la actual situación de emergencia climática, el plan estratégico tiene como objetivo avanzar hacia un modelo agro-ganadero más respetuoso con el clima y el medio ambiente. Sus objetivos específicos contribuyen a:

- Atenuar el cambio climático y la adaptación de los sistemas productivos a sus efectos.

– Promover el desarrollo sostenible y la gestión eficiente de recursos naturales como el agua, el suelo y el aire.
– Proteger la biodiversidad, potenciando los servicios ecosistémicos y conservando los hábitats y los paisajes.

En España ya se está trabajando en este Plan Estratégico que pretende responder a las necesidades de futuro de los sistemas agro-ganaderos, a través de la elaboración de un cronograma de trabajo con hitos y metas temporales de manera coordinada con la Dirección General de Agricultura y Desarrollo Rural de la Comisión Europea (MAPA, 2020b). El primer paso consiste en la elaboración de un análisis de las Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades (análisis DAFO) del sector, así como la realización de un estudio de las necesidades que se plantean para cada uno de los objetivos estratégicos que permita priorizar estas necesidades y establecer las actuaciones.

Conclusiones

La ganadería es a la vez parte del problema y posible solución ante la emergencia climática actual. Esto se debe a que no todos los sistemas ganaderos son iguales, diferenciando entre ganadería intensiva o industrial y ganadería extensiva, existiendo mucha variabilidad entre ellos. El aprovechamiento de los recursos naturales locales en régimen de pastoreo, un consumo mínimo de insumos externos y unos flujos energéticos y materiales integrados en los ecosistemas locales hace que la ganadería extensiva se postule como una opción óptima para la cría de animales. Sin embargo, el cambio climático ejerce un efecto negativo en la capacidad de producción de este tipo de ganadería, por lo que el uso de razas adaptadas al medio natural, así como diferentes estrategias directas e indirectas discutidas en el presente artículo pueden mejorar el poder de adaptación de la ganadería extensiva a los cambios ambientales. A mayores, cabe destacar que la cría en extensivo no solo es una opción de consumo, sino que también actúa como gestor, mantenedor y recuperador del paisaje y los ecosistemas locales. Sin embargo, la falta de proyectos de investigación específicos para observar la influencia de la ganadería extensiva sobre el cambio climático, así como la complejidad de decidir y cuantificar los factores para su estudio hacen que la cantidad de estudios científicos al respecto sea más bien escasa. Por tanto, como conclusión general, es importante resaltar que la ganadería extensiva no constituye un problema desde el punto de vista ambiental, sino que es víctima de la actual emergencia climática. Finalmente, como su propia definición indica, la ganadería extensiva es un sector que se adapta de modo continuo y dinámico a los cambios y condicionantes que se presentan, por lo que es una herramienta muy importante como parte de la solución del cambio climático, cumpliendo con los objetivos de los futuros planes estratégicos del sector agro-ganadero y los requisitos que plantea la PAC POST 2020.

Agradecimientos

Los autores quieres expresar su agradecimiento al proyecto OPEN2PRESERVE (Ref. SOE2/P5/E0804) financiado por el programa Interreg V SUDOE. Paulo E.S. Munekata agradece al programa "Juan de la Cierva" financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (FJCI-016-29486). Los autores son miembros de la Red *Healthy Meat* financiada por el programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo (CYTED) (ref. 119RT0568).

Referencias bibliográficas

Aldezabal A, García-González R, Gómez D, Fillat F (2002). El papel de los herbívoros en la conservación de los pastos. Ecosistemas 3: 1-9.

Aldezabal A, Laskurain NA, Mandaluniz N (2012). Factores determinantes del uso del espacio por parte del ganado vacuno y equino en pastos de montaña. En: Nuevos retos de la ganadería extensiva: un agente de conservación en peligro de extinción (Eds. Canals RM, San Emeterio L). 51 Reunión Científica de la SEEP, 14-18 de mayo, Pamplona, España, pp. 325-330.

Araujo JP, Cerqueira JL, Pires P, Amorim I, Carneiro M, Santos Silva J, Domínguez R, Bermúdez R, Lorenzo JM (2018). Influencia del sistema de producción en la calidad de la canal de cerdos de raza Bísara. Archivos de Zootecnia 67(260): 554-559. https://doi.org/10.21071/az.v0i0.3887

Báez Bernal MD, Castro Insua JF, Louro López A, Valladares Alonso J (2012). Evolución de las propiedades químicas del suelo y producción de una pradera fertilizada con purín de vacuno mezclado con concha de mejillón. En: Nuevos retos de la ganadería extensiva: un agente de conservación en peligro de extinción (Eds. Canals RM, San Emeterio L). 51 Reunión Científica de la SEEP, 14-18 de mayo, Pamplona, España, pp. 431-438.

Berastegi A, Peralta J, Lorda M, Remón JL, García-Mijangos I, Biurrun I (2012). Listado de los tipos de pastizales y prados presentes en Navarra. En: Nuevos retos de la ganadería extensiva: un agente de conservación en peligro de extinción (Eds. Canals RM, San Emeterio L). 51 Reunión Científica de la SEEP, 14-18 de mayo, Pamplona, España, pp. 239-245.

Bernués A, Ruiz R, Olaizola A, Villalba D, Casasús I (2011). Sustainability of pasture-based livestock farming systems in the European Mediterranean context: Synergies and trade-offs. Livestock Science 139(1-2): 44-57. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.018

Bilgili U, Cifci EA, Hanoglu H, Yagdi K, Acikgoz E (2009). Yield and quality of triticale forage. Journal of Food, Agriculture and Environment 7: 556-560.

BOE (2019). Real Decreto 45/2019, de 8 de febrero, por el que se establecen las normas zootécnicas aplicables a los animales reproductores de raza pura, porcinos reproductores híbridos y su material reproductivo, se actualiza el programa nacional de conservación, mejora y fomento de las razas ganaderas y se modifican los Reales Decretos 558/2001, de 25 de mayo; 1316/1992, de 30 de octubre; 1438/1992, de 27 de noviembre; y 1625/2011, de 14 de noviembre. Boletín Oficial del Estado, núm. 52, de 1 de marzo de 2019, pp. 19716-19748.

Caballero R (2007). High Nature Value (HNV) grazing systems in Europe: a link between biodiversity and farm economics. The Open Agriculture Journal 1(1): 11-19. http://dx.doi.org/10.2174/1874331500701010011

de Klein CA, Monaghan RM (2011). The effect of farm and catchment management on nitrogen transformations and N_2O losses from pastoral systems –can we offset the effects of future intensification?. Current Opinion in Environmental Sustainability 3(5): 396-406. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2011.08.002

Delgado Enguita I (2012). Abandono de tierras y cubiertas vegetales orientadas a la producción de pastos en zonas áridas y semiáridas de la cuenca media del Ebro. En: Nuevos retos de la ganadería extensiva: un agente de conservación en peligro de extinción (Eds. Canals RM, San Emeterio L). 51 Reunión Científica de la SEEP, 14-18 de mayo, Pamplona, España, pp. 387-400

Delgado Pertíñez M, Siles A, Valencia E, Mena Y, Fernández-Cabanás VM, Labeyrie D (2012). Calidad de la leche de cabra de raza Payoya durante el verano, en sistemas de pastoreo tipo arbustivo-mediterráneo. En: Nuevos retos de la ganadería extensiva: un agente de conservación en peligro de extinción (Eds. Canals RM, San Emeterio L). 51 Reunión Científica de la SEEP, 14-18 de mayo, Pamplona, España, pp. 287-293.

Diodato N, Bellocchi G, Romano N, Chirico GB (2011). How the aggressiveness of rainfalls in the Mediterranean lands is enhanced by climate change. Climatic Change 108: 591. https://doi.org/10.1007/s10584-011-0216-4

Erisman JW, Galloway J, Seitzinger S, Bleeker A, Butterbach-Bahl K (2011). Reactive nitrogen in the environment and its effect on climate change. Current Opinion in Environmental Sustainability 3(5): 281-290. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2011.08.012

FAO (2020). Crop Prospects and Food Situation - Quarterly Global Report No. 1. Roma, Italia. https://doi.org/10.4060/ca8032en

Ferrara RM, Trevisiol P, Acutis M, Rana G, Richter GM, Baggaley N (2010). Topographic impacts on wheat yields under climate change: two contrasted case studies in Europe. Theoretical and Applied Climatology 99(1-2): 53-65. https://doi.org/10.1007/s00704-009-0126-9

Ferrer C (2016). Diccionario de Pascología. Aspectos ecológicos, botánicos, agronómicos, forestales, zootécnicos y socio económicos de los pastos. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos Fundación Conde del Valle de Salazar. 933 pp.

Gálvez F, Domínguez R, Maggiolino A, Pateiro M, Carballo J, De Palo P, Barba FJ, Lorenzo JM (2020). Meat quality of commercial chickens reared in different production systems: industrial, range and organic. Annals of Animal Science 20(1): 263-285. https://doi.org/10.2478/aoas-2019-0067

García-Ruiz JM, López-Moreno JI, Vicente-Serrano SM, Lasanta-Martínez T, Beguería, S (2011). Mediterranean water resources in a global change scenario. Earth-Science Reviews 105(3-4): 121-139. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.01.006

Giunta F, Motzo R (2004). Sowing rate and cultivar affect total biomass and grain yield of spring triticale (×*XTriticosecale* Wittmack) grown in a Mediterranean-type environment. Field Crops Research 87(2-3): 179-193. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.11.009

Gliga AE, Escribano Rodríguez JA, Hernández Díaz-Ambrona CG (2012). Comparación de dos métodos para la estimación de los daños por sequía en pastos de dehesa. En: Nuevos retos de la ganadería extensiva: un agente de conservación en peligro de extinción (Eds. Canals RM, San Emeterio L). 51 Reunión Científica de la SEEP, 14-18 de mayo, Pamplona, España, pp. 117-122.

Gómez M, Cachaldora A, Fonseca S, Domínguez R, Carballo J, Franco I (2018). Biochemical, oxidative, and lipolytic changes during vacuum-packed storage of dry-cured loin: Effect of chestnuts intake by Celta pigs. Journal of Food Quality 2018: 7690501. https://doi.org/10.1155/2018/7690501

Grande D, Mancilla-Leytón JM, Delgado-Pertíñez M, Martín Vicente A (2012). Resultados preliminares del papel del ganado caprino en la dispersión de cinco especies de matorral mediterráneo. En: Nuevos retos de la ganadería extensiva: un agente de conservación en peligro de extinción (Eds. Canals RM, San Emeterio L). 51 Reunión Científica de la SEEP, 14-18 de mayo, Pamplona, España, pp. 225-230.

Hernández-Esteban A, López-Díaz ML, Cáceres Y, Moreno G (2019). Are sown legume-rich pastures effective allies for the profitability and sustainability of Mediterranean dehesas? Agroforestry Systems 93(6): 2047-2065. https://doi.org/10.1007/s10457-018-0307-6

Herrera PM (ed.) (2020). Ganadería y cambio climático: un acercamiento en profundidad. Ed. Fundación Entretantos y Plataforma por la Ganadería Extensiva y el Pastoralismo. Valladolid, España. 29 pp.

Høgh-Jensen H, Nielsen B, Thamsborg SM (2006). Productivity and quality, competition and facilitation of chicory in ryegrass/legume-based pastures under various nitrogen supply levels. European Journal of Agronomy 24(3): 247-256. https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.10.007

Janzen HH (2011). What place for livestock on a re-greening earth?. Animal Feed Science and Technology 166: 783-796. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.055

Kirwan L, Connolly J, Finn JA, Brophy C, Lüscher A, Nyfeler D, Sebastià MT (2009). Diversity-interaction modeling: estimating contributions of species identities and interactions to ecosystem function. Ecology 90(8): 2032-2038. https://doi.org/10.1890/08-1684.1

Lasanta T, Vicente SM, Cuadrat JM (2000) Marginación productiva y recuperación de la cubierta vegetal en el Pirineo: un caso de estudio en el valle de Borau. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles 29: 5-28.

López-Pedrouso M, Rodríguez-Vázquez R, Purriños L, Oliván M, García-Torres S, Sentandreu MA, Lorenzo JM, Zapata C, Franco D (2020). Sensory and physicochemical analysis of meat from bovine breeds in different livestock production systems, pre-slaughter handling conditions and ageing time. Foods 9(2): 176. https://doi.org/10.3390/foods9020176

Lorenzo JM, Crecente S, Franco D, Sarriés MV, Gómez M (2014). The effect of livestock production system and concentrate level on carcass traits and meat quality of foals slaughtered at 18 months of age. Animal 8(3): 494-503. https://doi.org/10.1017/S175173111300236X

Lorenzo JM, Purriños L, Carballo J (2016). A survey on the effect of livestock production system and finishing diet on sensory characteristics of foal meat using generalized procrustes analysis. Scientific World Journal 2016: 8729053. https://doi.org/10.1155/2016/8729053

Menéndez Artime I, Vázquez Fernández I, Busqué Marcos J, Bayarri García E (2012). Desarrollo de un plan de gestión sostenible de pastos comunales a escala municipal. En: Nuevos retos de la ganadería extensiva: un agente de conservación en peligro de extinción (Eds. Canals RM, San Emeterio L). 51 Reunión Científica de la SEEP, 14-18 de mayo, Pamplona, España, pp. 355-261.

MAPA (2020a). Catálogo oficial de razas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/zootecnia/razas-ganaderas/razas/catalogo/default.aspx (Consultado: 10 abril 2020).

MAPA (2020b). El Futuro de la agricultura en España: Un nuevo modelo de PAC orientada a la obtención de resultados. Plan Estratégico de España para la PAC post 2020. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/es/pac/post-2020/default.aspx (Consultado: 14 abril 2020).

MMA (2008). Autochthonous livestock in Spain. Dirección General de Recursos Agrícolas y Ganaderos. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 64 pp.

Mirón IJ (2017). Cambio climático y riesgos alimentarios. Revista de Salud Ambiental 17 (1): 47-56.

MITECO (2020). Qué es el cambio climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/que-es-el-cambio-climatico-y-como-nos-afecta/ (Consultado: 10 abril 2020).

Nyfeler D, Huguenin-Elie O, Suter M, Frossard E, Lüscher A (2011). Grass-legume mixtures can yield more nitrogen than legume pure stands due to mutual stimulation of nitrogen uptake from symbiotic and non-symbiotic sources. Agriculture, Ecosystems & Environment 140(1-2): 155-163. https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.11.022

PNACC (2019). Informe de evaluación del plan nacional de adaptación al cambio climático. Ministerio para la Transición Ecológica.

Peña RJ (2004) Food uses of triticale. En: Triticale Improvement and Production (Eds. Mergoum M, Gómez-Machperson H), pp. 37-48. FAO Plant Production and Protection Paper (FAO), Roma, Italia.

PGEP (2016). Los pastos leñosos de España y Europa: ¿condenados a una muerte lenta por la PAC? Plataforma por la Ganadería Extensiva y el Pastoralismo. Fundación Entretantos, Valladolid.

Popay AJ, Crush JR (2010). Influence of different forage grasses on nitrate capture and leaching loss from a pumice soil. Grass and Forage Science 65(1): 28-37. https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2009.00717.x

Ramos-Font ME, González Rebollar JL, Robles Cruz AB (2015). Dispersión endozoócora de leguminosas silvestres: desde la recuperación hasta el establecimiento en campo. Revista Ecosistemas 24(3): 14-21. http://doi.org/10.7818/ECOS.2015.24-3.03.

Rolo V (2019). Acciones para la adaptación de la dehesa al cambio climático. Universidad de Extremadura. Plasencia (Cáceres).

Rubio A, Roig S (2017). Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en los sistemas extensivos de producción ganadera en España. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.

San Emeterio L, Rupérez E, Senosiain JM, Pedro J, Canals RM (2012). Efectos de una quema prescrita sobre el suelo y la vegetación de un pasto altimontano del Pirineo navarro. En: Nuevos retos de la ganadería extensiva: un agente de conservación en peligro de extinción (Eds. Canals RM, San Emeterio L). 51 Reunión Científica de la SEEP, 14-18 de mayo, Pamplona, España, pp.193-198.

San Miguel A (2016). Apuntes de Pascicultura y Sistemas Agroforestales. Disponible en: http://www2.montes.upm.es/Dptos/Dsrn/SanMiguel/Pascicultura%20y%20SAF.html (Consultado: 10 abril 2020).

Sebastià MT, Llurba R, Gouriveau F, Lamo XD, Ribas A, Altimir N (2012). Biodiversidad y servicios ecosistémicos en pastos: distribución y respuesta al cambio global. En: Nuevos retos de la ganadería extensiva: un agente de conservación en peligro de extinción (Eds. Canals RM, San Emeterio L). 51 Reunión Científica de la SEEP, 14-18 de mayo, Pamplona, España, pp.133-147.

Silva JP, Toland J, Jones W, Eldridge J, Thorpe E, O'Hara E (2008). LIFE and Europe's grasslands: Restoring a forgotten habitat. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 53 pp.

Steffens T, Grissom G, Barnes M, Provenza F, Roath R (2013). Adaptive grazing management for recovery: Know why you're moving from paddock to paddock. Rangelands 35: 28-34. https://doi.org/10.2111/RANGELANDS-D-13-00018.1

Traba J, Levassor C, Peco B (2003). Restoration of species richness in abandoned Mediterranean grasslands: seeds in cattle dung. Restoration Ecology 11(3): 378-384. https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.2003.00227.x

UPA (2019). Manual de adaptación frente cambio climático. Ganadería. Unión de Pequeños Agricultores y Ganaderos. Madrid.

Vázquez I, Puente L, Busqué J (2011). Patterns of land use and ownership and their influence on pasture quality in the mountains of northern Spain. En: Grassland farming and land management systems in mountainous regions. Proceedings of the 16th Symposium of the European Grassland Federation, 29th-31st August, Gumpenstein, Austria, pp. 58-60.

Zabalza S, Peiteado C, Carricondo A, Astrain C, Toom Md, Velasco M (2017). Sistemas de alto valor natural: Análisis de la programación de desarrollo rural 2014-2020: Medidas agroambiente y clima. SEOBirdLife, WWF y Gestión Ambiental de Navarra S.A. 100 pp.

Zotte AD, Gleeson E, Franco D, Cullere M, Lorenzo JM (2020). Proximate composition, amino acid profile, and oxidative stability of slow-growing indigenous chickens compared with commercial broiler chickens. Foods 9(5): 546. https://doi.org/10.3390/foods9050546

(Aceptado para publicación el 15 de julio de 2020)

Impactos y adaptación al cambio climático en rumiantes

A. del Prado*, E. Galán, I. Batalla y G. Pardo

Basque Centre for Climate Change (BC3), Edificio Sede nº 1, Planta 1, Parque Científico de UPV/EHU, Barrio Sarriena s/n, 48940 Leioa, Bizkaia, España

Resumen

El cambio climático afectará a los sistemas de rumiantes a través de efectos directos sobre el rendimiento de los animales y efectos indirectos sobre la disponibilidad de pastos y forrajes. Como los impactos serán muy desiguales entre las diferentes regiones y sistemas de producción, el sector de rumiantes requerirá estrategias de adaptación para cada contexto específico. Este documento de revisión examina los principales impactos del cambio climático en la productividad animal y forrajera y las principales estrategias de adaptación al cambio climático. Además, mostramos diferentes ejemplos de modelización a nivel de explotación de cómo el cambio climático afectará diferentes sistemas de producción y viendo en qué medida algunas estrategias de adaptación pueden mejorar estos impactos. El estrés por calor es el factor más importante que afecta los sistemas de producción de rumiantes en condiciones de cambio climático, lo que resulta en pérdidas de productividad y cambios en la calidad del producto. Para el forraje, se espera que la productividad y la calidad del alimento se alteren con los cambios en las concentraciones de dióxido de carbono, temperatura y los patrones de lluvia y factores estresantes (p. ej. ozono). La magnitud de los impactos en animales y forrajes dependerán de interacciones complejas entre condiciones ambientales específicas, especies, razas, fase del animal o sistemas específicos de producción. Además, los impactos y las adaptaciones al cambio climático a nivel animal y de alimentación se traducirán de diferentes maneras cuando se considere el nivel de explotación y el sistema productivo.

Palabras clave: Calentamiento global, emergencia climática, vacas, ovejas, cabras.

Impacts and adaptations to climate change in ruminants

Abstract

Climate change will affect ruminant systems through direct effects on animal performance, and indirect effects on pasture and forage availability. As impacts will be very unequal amongst different regions and production systems, the ruminant sector will require adaptation strategies that are tailored to each specific context. This review paper examines, first, the main impacts of climate change on animal and forage productivity, followed by a description of the main adaptation strategies to climate change and finished, by showing different modelling examples at the fam level of how climate change will impact different production systems, and the extent some adaptation strategies can ameliorate these impacts. Heat stress is the most important factor affecting ruminant production systems under climate change conditions, resulting in productivity losses and changes in product quality. For forage, produc-

* Autor para correspondencia: agustin.delprado@bc3research.org

Cita del artículo: del Prado A, Galán PE, Batalla U, Pardo G (2020). Impactos y adaptación al cambio climático en rumiantes. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 116(5): 461-482. https://doi.org/10.12706/itea.2020.038

tivity and quality of the feed is expected to alter with changes in concentrations of carbon dioxide, changes in temperature and rainfall patterns and stressors such as ozone concentration. The extent heat stress and variables affecting feed production can affect ruminant production systems will depend on complex interactions between specific ambient conditions, species, breeds, animal stage or production systems. Moreover, impacts and adaptations to climate change at the animal and feed level will translate in different ways when the farm level and production system is considered.

Keywords: Global warming, climate emergency, cattle, sheep, goats.

Introducción

El cambio climático es una amenaza importante para la sostenibilidad de los sistemas de producción ganadera a nivel mundial. Hay pocas dudas de que el cambio climático tendrá un gran impacto en la producción ganadera a menos que se implementen estrategias de adaptación a lo largo de toda la cadena de suministro de alimentos. Los rumiantes, debido en parte a su diversidad, están sujetos a desafíos muy variados con respecto a su futuro. Por un lado, podrían ser particularmente vulnerables al cambio climático y a otros cambios ambientales globales, ya que una parte de la producción se lleva a cabo en áreas marginales y/o en condiciones semiáridas, que, en general, se encuentran en áreas económicamente desfavorecidas. Sin embargo, por otro lado, los rumiantes, especialmente aquellos de razas más rústicas, tienen características que brindan ventajas competitivas frente a un clima cambiante en comparación a otras especies de ganado.

El cambio climático afecta a la ganadería de rumiantes de diferentes formas: directamente, sobre el animal (productividad, reproducción, bienestar, salud) e indirectamente, a través de la disponibilidad de alimentos (Figura 1).

En los últimos tiempos se ha estudiado en profundidad todos los aspectos mencionados en la Figura 1 y ha habido un esfuerzo considerable a nivel de proyectos a nivel europeo (más información en Complemento 1).

El objetivo de esta revisión es destacar los aspectos más relevantes en relación a los impactos del cambio climático sobre los sistemas de rumiantes, sobre todo desde el punto de vista productivo, y las potenciales adaptaciones a dichos impactos.

Primero, detallando los impactos a nivel del animal, seguido por los impactos a nivel de planta y luego evaluando diferentes estrategias de adaptación, finalizando con una integración de impactos y adaptaciones al cambio climático en sistemas ganaderos de rumiantes a través de ejemplos simulados con modelos de explotación. Con estos ejemplos pretendemos poner en valor, de forma ilustrativa, el papel que este tipo de herramientas (modelos a escala de explotación: Del Prado *et al.*, 2013) pueden tener como ayuda a la toma de decisiones en este ámbito. El contexto de la revisión está enfocado principalmente a la ganadería de rumiantes en Europa y muy especialmente, a la región mediterránea, donde se esperan y se están viendo ya los cambios en el clima más drásticos.

Dentro de la gran variedad de impactos que el cambio climático se espera pueda afectar en relación a los diferentes sistemas productivos, la revisión se enfoca más mayoritariamente en sistemas de ganadería intensiva o semi-intensiva. Los sistemas ganaderos de rumiantes en extensivo, aunque se espera también sufran impactos considerables, son en gran medida los sistemas más resilientes y adaptados a los cambios climáticos. Para conocer con mayor profundidad sobre esta temática en sistemas ganaderos extensivos se recomienda la lectura de revisiones existentes disponibles (p. ej. Rubio y Roig, 2017).

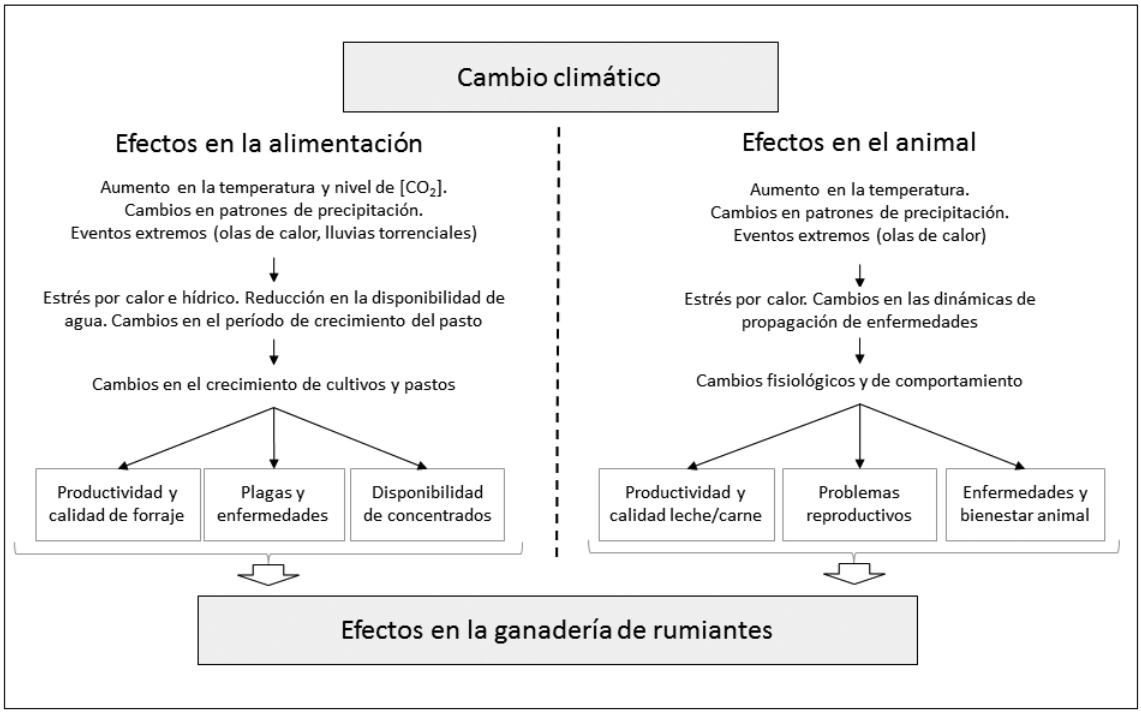


Figura 1. Diagrama de posibles efectos del cambio climático en los sistemas de producción de pequeños rumiantes (basado en diagrama de Mullender *et al.,* 2017).
Figure 1. Diagram illustrating the potential effects of climate change on small ruminants' production systems (based on diagram by Mullender et al*., 2017).*

Impactos a nivel del animal

Para relacionar los efectos del estrés por calor en el ganado se suele usar el índice de temperatura y humedad (ITH) (p. ej. Bertocchi *et al.,* 2014). Este índice tiene en cuenta, como su nombre ya indica, la temperatura y la humedad relativa del ambiente. El ITH se utiliza de forma generalizada ya que necesita de datos fácilmente disponibles en zonas cercanas a las explotaciones. Obviamente, no está exento de limitaciones. Por ejemplo, no tiene en cuenta los efectos de la velocidad del viento o la radiación solar, lo que dificulta la interpretación de los efectos de las medidas de reducción del estrés por calor, como la ventilación natural, mecánica o la sombra. Además, la mayoría de los estudios utilizan datos diarios de ITH con lo cual no se contempla la potencial recuperación nocturna si refresca, ni tampoco el potencial efecto acumulativo del stress en los animales.

El estrés por calor en rumiantes induce cambios en sus metabolismos de agua y energía, reacciones enzimáticas y secreciones hormonales. Todos estos mecanismos implican un consumo adicional de energía y un cambio en los patrones de ingesta. Con estrés por calor, por ejemplo, disminuye la ingesta en materia seca (MS) y consecuentemente, se reduce la productividad a la vez que se induce a una mayor ingesta de agua (Hamzaoui *et al.,* 2013). Los animales, además, cambian las preferencias alimenticias en condiciones de

estrés por calor y tienden a consumir concentrados, si los tienen al alcance, en lugar de forrajes, debido que estos generan más calor al fermentar en el rumen (Lu, 1989).

El efecto de unas condiciones determinadas de estrés por calor sobre el ganado, por ejemplo, sobre sus rendimientos, depende, en gran media de la especie, raza, y manejo y, por tanto, de forma muy importante, de su nivel de productividad. De hecho, con el aumento de la producción los rumiantes tienden a desarrollar una mayor sensibilidad a sufrir estrés térmico (Kadzere *et al.*, 2002).

El ganado vacuno es el más susceptible de sufrir estrés por calor, debido a su mayor tamaño y menor superficie para disipar calor. Dentro del vacuno, los sistemas de producción de leche, son los más afectados porque la lactación ya supone intrínsecamente un importante esfuerzo metabólico (West, 2003).

La literatura sobre estrés por calor describe los umbrales de ITH para vacas lecheras, comenzando desde el intervalo de 68-72 ITH. La Figura 2 muestra los umbrales propuestos por Collier *et al.* (2012), que están relacionadas con el estrés por calor de acuerdo con los

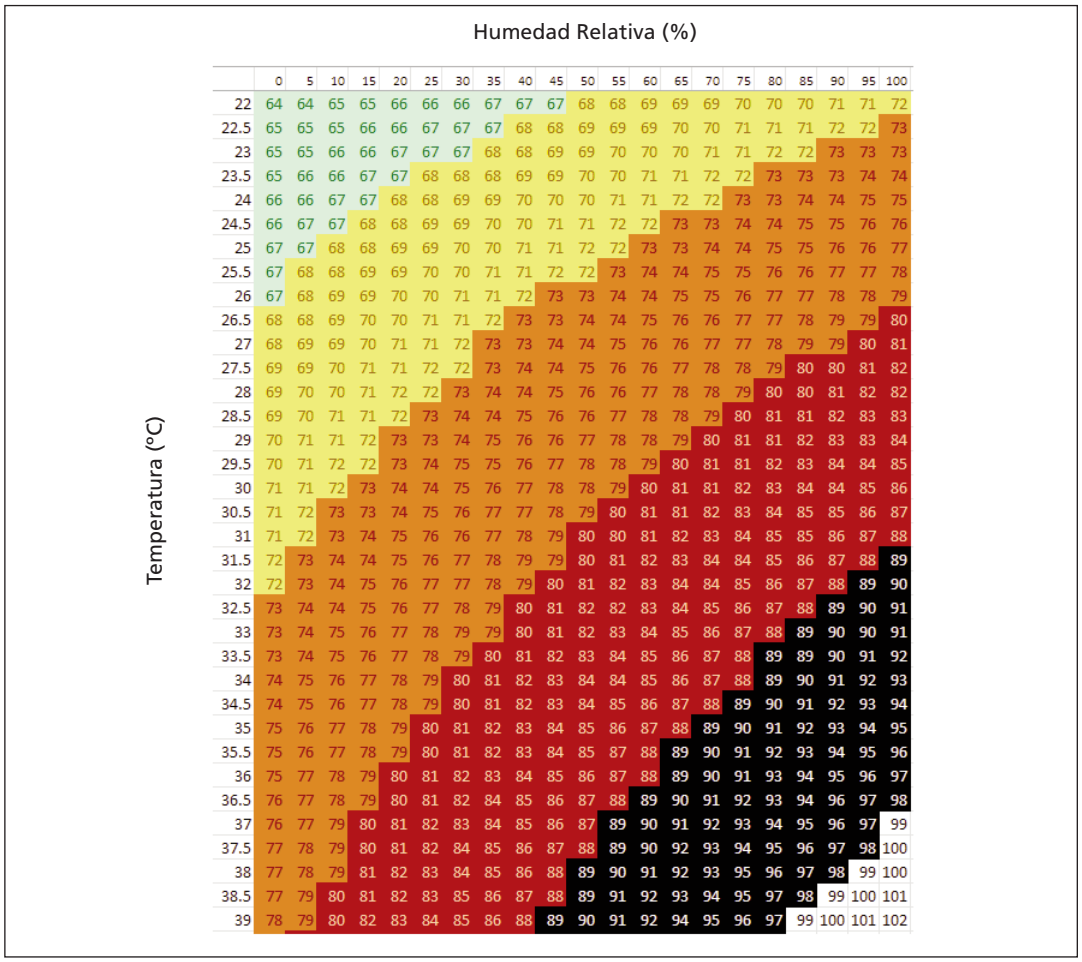


Figura 2. Umbrales de índice de temperatura y humedad (ITH) para vacuno de leche según lo descrito por Collier *et al*. (2012).
Figure 2. Temperature-humidity index (THI) thresholds for dairy cattle according to Collier et al. *(2012).*

efectos fisiológicos en vacas lecheras en sus experimentos en Arizona (USA).

Los pequeños rumiantes (p. ej. ovejas y las cabras) parecen ser menos susceptibles al estrés que otras especies de rumiantes domesticados (Lu, 1989). Las ovejas muestran una zona termoneutral entre 12 °C y 25 °C de temperatura media diaria (p. ej. Mishra, 2009). Se puede esperar un umbral de estrés térmico más alto para las cabras, ya que tienden a tolerar el calor mejor que las ovejas, debido a los diferentes mecanismos de adaptación (es decir, anatómicos, morfológicos, fisiológicos, metabólicos) especialmente adecuados para climas cálidos y áridos (p. ej. Al-Dawood, 2017).

Aunque todavía no están claros los impactos ni los mecanismos de desarrollo de la aclimatación en el largo y corto plazo (Bernabucci *et al.,* 2010), podría afectar al umbral de ITH de estrés por calor. Así, se ha observado que las olas de calor son más letales a principios de verano que a finales (Nienaber y Hahn, 2007), los animales expuestos a los rangos de temperatura de regiones templadas, tienen umbrales más bajos (p. ej. en Alemania, vacas Holsteins de alto rendimiento estabuladas con ITH de 62: Gorniak *et al.,* 2014).

En vacuno de leche existe bastante literatura, de hecho, sobre el efecto del estrés por calor sobre la productividad lechera (ver figura 3 basada en diferentes estudios: referencias en Complemento 1).

Respecto a diferencias entre razas a las diferentes razas, West *et al.* (2003), por ejemplo,

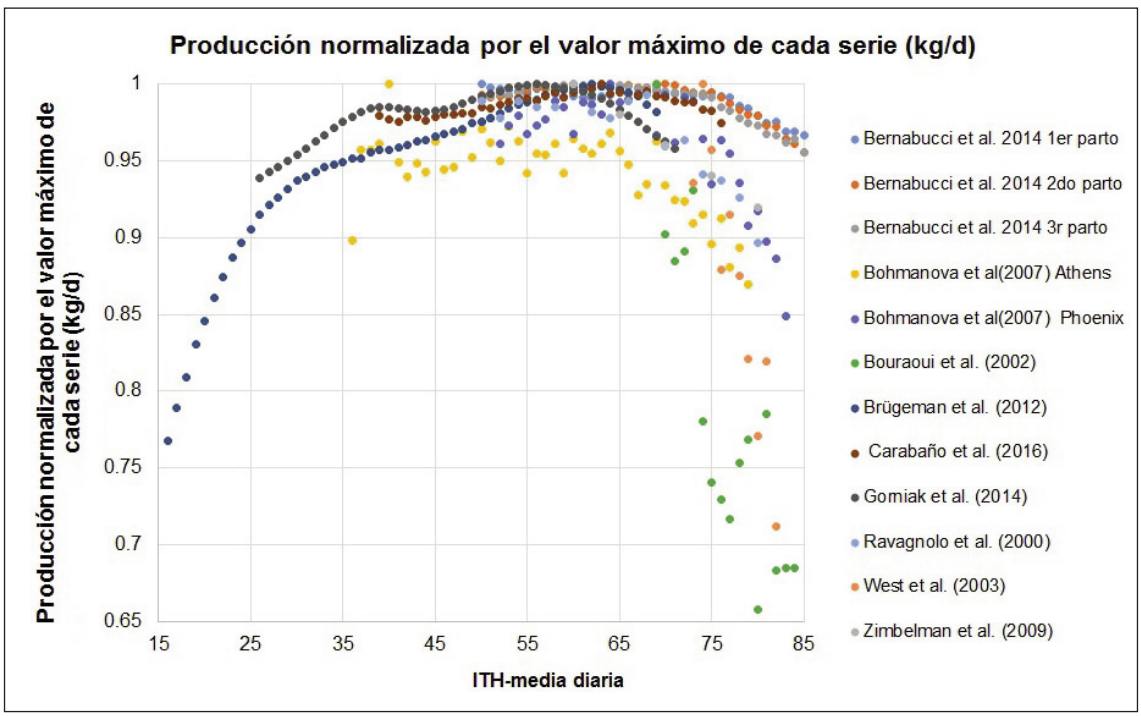


Figura 3. Efectos cuantitativos del estrés por calor en el rendimiento lechero encontrados en la literatura para raza Holstein-Friesian completamente estabulada (referencias en Complemento 1). ITH: Índice de temperatura y humedad.
Figure 3. Heat stress quantitative effects on milk productivity for fully-housed Holstein-Friesian breed cattle as found in the literature (references in Complement 1). ITH: Temperature-humidity index.

en vacuno encontraron que, aun con el mismo umbral diario de ITH de 72, para Holsteins y Jerseys, la disminución del rendimiento de lechero fue mayor para Holsteins que para Jerseys, aunque las Holstein mantuvieron una producción superior.

En estudios con pequeños rumiantes, los resultados cambian también dependiendo de las razas, favoreciendo habitualmente a aquellas originarias de zonas más cálidas y áridas. De este modo, ante las mismas condiciones de estrés por calor, Brown *et al.* (1988) registraron una mayor reducción en la producción de leche de cabras de raza Alpina en comparación con las de raza Nubia. Algo similar observaron Barnes *et al.* (2004) en un ensayo con corderos, donde los de raza Awassi mostraron tener un umbral de estrés por calor más alto que los de raza Merina. No obstante, estas diferencias pueden existir incluso entre razas de oveja de una misma región con condiciones climáticas severas, como la cuenca Mediterránea. Peana *et al.* (2007) vieron que la producción de leche disminuye en un 30 % (0,39 kg/d) en ovejas de raza Sarda cuando las temperaturas máximas y medias eran mayores de 21 °C a 24 °C y de 15 °C a 21 °C respectivamente, mientras que Finocchiaro *et al.* (2005) observaron que la producción de leche disminuye en 62,8 g por unidad de índice de temperatura y humedad (ITH) en una raza lechera siciliana. Del mismo modo, Sevi *et al.* (2001) indicaron que la producción de leche en ovejas disminuye en un 20 % (alrededor de 70 g/d) cuando las temperaturas exceden los 35 °C en la raza Comisana.

Como antes hemos mencionado, las cabras tienden a tolerar mejor el calor que las ovejas y vacas. El-Tarabany *et al.* (2016) vieron disminuciones de entre 27 % y 19 % en la producción de leche para el estrés por calor elevado en comparación con los niveles de ITH bajos y moderados respectivamente en cabras Baladi. Salama *et al.* (2014), encontraron una disminución de la leche del 1 % por cada aumento de unidad de ITH (en el rango de ITH: 64-78).

Los estudios con corderos también muestran que el estrés por calor perjudica la tasa de crecimiento y el aumento de peso corporal (Mahjoubi *et al.,* 2014).

Existen otros factores que pueden condicionar la movilización de grasas y el consumo de alimento y por tanto, afectar al grado de afección del estrés por calor en ganado orientación lechera como el número de lactación (p. ej. en vacuno; Bernabucci *et al.,* 2014), el momento de preñez en el que coincide el evento de estrés por calor y la fase de la curva de lactancia (p. ej. Brügemann *et al.* (2011). Hamzaoui *et al.* (2013) también han observado esas diferencias en cabras dependiendo de la etapa de la lactación (principio o final).

Uno de los efectos mencionados anteriormente del estrés por calor es la disminución en la ingesta de MS, que está fuertemente relacionada con la producción de leche. Por ejemplo, se estima que, para vacuno de leche, por cada disminución de 1 kg en la ingesta de materia seca, se pierden 2 kg de producción de leche (Atrian y Shahryar, 2012). Sin embargo, la disminución de ingesta de MS no explica toda la caída de rendimiento experimentada por el estrés por calor y los principales estudios dudan si se debe a mayores requisitos de mantenimiento o cambios en el metabolismo energético (Baumgard y Rhoads, 2013). Así se estima que la reducción en ingesta de MS sólo representa aproximadamente el 35 % de la disminución de la producción de leche en vacas estresadas por el calor (Rhoads *et al.*, 2009). Para ovejas, Mahjoubi *et al.* (2014) consideraron que los efectos directos del calor (no mediados por una reducción de ingesta en MS) son sólo parcialmente responsables del crecimiento reducido en los animales con estrés por calor. Para el ganado caprino, se ha hipotetizado que, por el contrario, toda la reducción en la producción de leche podría ser causada por la caída en el consumo de MS (Hamzaoui *et al.,* 2013).

El estrés por calor también afecta de forma considerable a la calidad del producto ganadero (i.e. carne o leche). El contenido de grasa en la leche se sabe que disminuye en verano (p. ej. Lambertz *et al.,* 2014). Los ácidos grasos (AG) y el contenido de grasa total de la leche dependen de una variedad de factores, como la composición del alimento, especie, la raza, la etapa de lactancia, la paridad y la estación (De la Fuente *et al.,* 2009). Además, la influencia de la temporada no solo se debe a la temperatura, sino también al fotoperíodo (p. ej. Bertocchi *et al.,* 2014). Sevi *et al.* (2002) encontraron que la exposición prolongada a la radiación solar durante el verano en comparación con animales en sombra condujo a cambios en el perfil de AG insaturados (–4 % de AG de cadena larga a corta), niveles reducidos de AG insaturada y un aumento de los AG saturadas (–13 % insaturado respecto a AG saturados). Se ha encontrado también una disminución en el contenido de proteínas en la leche en verano (p. ej. Ramón *et al.,* 2016). Las propiedades de coagulación en la leche también pueden verse afectadas en verano debido al uso de reservas de grasa y N para suministrar energía a través de la gluconeogénesis a expensas de la glándula mamaria y la reducción del contenido de caseína y grasa (p. ej. Abdel-Gawad *et al.,* 2012). La exposición a la radiación solar tiene un efecto perjudicial sobre la calidad higiénica de la leche (Sevi y Caroprese, 2012) y en especial sobre el aumento en el recuento de células somáticas (CCS o RCS) en la leche.

Impactos indirectos sobre la disponibilidad de forrajes y piensos

Concentraciones elevadas de dióxido de Carbono (CO_2)

Existen numerosos estudios que confirman que una mayor concentración de CO_2 atmosférica aumenta el crecimiento y el rendimiento de las plantas (p. ej. Tubiello *et al.,* 2007). Este aumento se debe principalmente a la estimulación fotosintética en las plantas de tipo C3 y a una mayor eficiencia en el uso del agua a través del cierre de las estomas. En ausencia de otros factores climáticos, los árboles y, sobre todo los arbustos y dicotiledóneas (Dellar *et al.,* 2018) parecen tener una respuesta mayor a concentraciones elevadas de CO_2 en aire. A su vez, en pastos, las leguminosas tienden a mostrar una mayor respuesta productiva a concentraciones elevadas de CO_2 que aquellos con gramíneas (Nowak *et al.,* 2004).

En promedio, el efecto estimulante de duplicar el CO_2 ambiental en pastos conlleva un aumento sobre la biomasa aérea de entre un 15-20 %. Este aumento es aproximadamente la mitad de lo que se podría esperar al considerar la respuesta fotosintética al CO_2 (Nowak *et al.,* 2004). Además, el efecto puede variar ampliamente (0-30 %) dependiendo de la especie, el sistema y las condiciones estacionales. En general, además, parece tener respuestas más altas en pastos durante las estaciones más secas y cálidas (Soussana y Lüscher, 2007).

Comparando entre tipos de plantas, las plantas C3 tienen una mayor respuesta que las plantas C4 a aumentos en la concentración de CO_2 atmosférico (Ainsworth y Long, 2005). Esto se debe a que las plantas C3 tiene un punto de compensación de CO_2 mayor que las C4 y así, las plantas C3 no están saturadas bajo los niveles actuales de CO_2 atmosférico y así, la fotosíntesis se estimula cuando aumenta el CO_2.

A pesar del punto de compensación de CO_2 bajo para las plantas C4, existen varias especies de C4 que muestran respuestas positivas de crecimiento al aumento de CO_2 ambiental utilizando estrategias de mejora en el uso de recursos, por ejemplo, cerrando parcialmente sus estomas y reduciendo la traspiración de la planta. En regiones húmedas esta estrategia puede ser problemática ya que esa reducción en la transpiración de la planta se tra-

duce en un mayor riesgo a sufrir fenómenos de escorrentías (Betts *et al.,* 2007).

El alcance del efecto de la fertilización con CO_2 en el crecimiento de las plantas y el aumento de la producción de biomasa aún no está claro (p. ej. Tubiello *et al.,* 2007). Esta incertidumbre proviene de los muchos y complejos procesos que interactúan en el sistema suelo-agua-planta y que pueden influir en la respuesta a largo plazo de los pastos a un aumento gradual de CO_2 en la atmósfera. Por ejemplo, la temperatura. En pastos dominados por raigrás, Casella *et al.* (1996) mostraron que altos niveles de CO_2 atmosférico pueden mejorar los rendimientos en ambientes entre 14,5 °C y 18,5 °C, pero tener efectos negativos por encima de 18,5 °C.

Respecto al efecto de la concentración de CO_2 atmosférica elevada sobre la calidad del pasto, existen diferentes meta-análisis (p. ej. Dumont *et al.,* 2015; Dellar *et al.,* 2018) que han concluido que una elevada concentración de CO_2 en la atmósfera tiende a disminuir el contenido proteico en hoja y aumentar el total de carbohidratos no estructurales (carbohidratos solubles) y el contenido de almidón, y sin efecto significativo sobre la digestibilidad.

Para los pastos dominados por especies C3, un CO_2 mayor en la atmósfera parece hacer disminuir la concentración de proteína en las plantas no leguminosas (p. ej. Myers *et al.,* 2014). No obstante, teniendo en cuenta que bajo estas condiciones de CO_2 ambiental también se favorece el crecimiento en leguminosas, esta posible bajada en contenido en proteína en las plantas C3 se vería compensada en las praderas mixtas con leguminosas (Thornton *et al.,* 2009).

Temperatura

El rango de temperaturas óptimas para el crecimiento de los pastos depende del tipo de especies de plantas. Para las especies C3, el crecimiento mínimo ocurre por debajo de 6 °C, con un rango de temperatura óptimo para el crecimiento entre 20-25 °C para especies templadas frías (por ejemplo, raigrás perenne) y ligeramente más alto (20-28 °C) para especies templadas cálidas. Mientras que la mayoría de las especies pascícolas no pueden vivir a temperaturas muy altas, se han descrito algunas leguminosas que pueden sobrevivir a temperaturas muy altas (>250 °C), (Ward, 1995).

En comparación, las especies C4 (por ejemplo, maíz o *paspalum*) son más adecuadas para temperaturas más altas, con rangos óptimos entre 29 °C y 35 °C.

El efecto general de las altas temperaturas, sin embargo, depende de las interacciones con otros factores, especialmente la disponibilidad de agua. Por ejemplo, en latitudes medias a altas de Europa y en regiones montañosas, se espera que el aumento de las temperaturas tenga un efecto positivo en la producción de plantas (p. ej. Dumont *et al.,* 2015). Por el contrario, el sur de Europa experimentará una reducción en rendimientos de forraje de hasta un 30 % en algunas áreas. Esta reducción se debe a una combinación de temperaturas muy altas y reducciones en la precipitación general, especialmente durante los meses más cálidos, y una mayor variabilidad interanual (Dumont *et al.,* 2015).

El aumento de las temperaturas tiende a reducir la disponibilidad de nutrientes en las plantas, particularmente el contenido de N (p. ej. Dumont *et al.,* 2015). Respecto otros parámetros de calidad nutricional en plantas C3, por ejemplo, tanto la digestibilidad como el contenido en carbohidratos solubles en agua parecen reducirse con temperaturas más altas (Thornton *et al.,* 2009). Este efecto no se ha registrado en especies C4 (Dumont *et al.,* 2015).

Disponibilidad hídrica

Una menor disponibilidad de agua se prevé disminuirá la respiración de la planta, su ac-

tividad metabólica y promoverá una disminución en su productividad. Por ejemplo, en la zona Mediterránea, la menor lluvia y más altas temperaturas afectará negativamente en la productividad de sus sistemas ganaderos ligados a pastos en extensivo (p. ej. en dehesas: Iglesias *et al.*, 2016). En las próximas décadas, estas condiciones serán más frecuentes en Europa, ya que se espera que aumente la duración de los períodos secos, especialmente en la región sur (Hopkins y Del Prado, 2007).

Un suelo anegado después de eventos extremos de precipitación disminuye la fotosíntesis neta y el crecimiento. Como también se prevé que las lluvias sean más intensas, el riesgo de inundaciones en ciertas áreas aumentará afectando a los rendimientos en praderas muy especialmente en inundaciones producidas en invierno (p. ej. Morris *et al.,* 2010).

De cualquier forma, la respuesta final en los pastos dependerá fundamentalmente de las interacciones y los efectos combinados y simultáneos de todas las variables climáticas. Por ejemplo, aunque se prevé que la precipitación media anual aumente en muchas regiones de Europa, las temperaturas más cálidas y períodos secos más largos podrían contribuir a reducir la humedad del suelo debido al aumento de la evapotranspiración y así, contrarrestar en cierta medida el efecto positivo de una mayor pluviosidad sobre la productividad en las plantas (Picon-Cochard *et al.,* 2014). La disponibilidad de agua también puede limitar la potencial mejora de productividad con el aumento de la concentración atmosférica de CO_2 (Picon-Cochard *et al.,* 2014).

Disponibilidad de nutrientes

Cualquier escenario favorable para una mayor productividad en las plantas requiere de nutrientes suficientes. Así, los pastos fertilizados con N tienen una mayor productividad cuando aumenta el CO_2 atmosférico, pero tienen una respuesta escasa o insignificante cuando el N es limitante en el suelo (Nowak *et al.,* 2004).

Ha habido diferentes experimentos que han demostrado que los niveles elevados de CO_2 atmosférico generalmente conducen a un contenido reducido de N en las especies forrajeras (Dumont *et al.,* 2015) y favorecen a las especies que fijan N_2 (es decir, a las leguminosas) sobre las especies no fijadoras (Grünzweig y Dumbur, 2012), pero también puede aumentar la capacidad de absorción de nutrientes al mejorar el crecimiento de las raíces de las plantas C3 y las asociaciones con micorrizas (p. ej. Sardans y Peñuelas, 2013).

El calentamiento global, con su pérdida en humedad del suelo, se espera limitará la actividad microbiana, y así las tasas de mineralización de la materia orgánica y su consiguiente efecto positivo en el crecimiento de las plantas (Luo *et al.,* 2004).

Se espera que las lluvias torrenciales se vuelvan más intensas y se vean interrumpidas por períodos secos más largos, lo que aumentaría el riesgo de erosión del suelo y podría conducir a una mayor lixiviación de nutrientes (Kipling *et al.,* 2016).

El clima más cálido y seco previsto en el área mediterránea afectará el ciclo de nutrientes del suelo y otros servicios de los ecosistemas. Las plantas en ambientes mediterráneos ya tienen de por sí un contenido de nutrientes bajo (Sardans y Peñuelas, 2013) y el fósforo es a menudo un factor limitante, particularmente para las leguminosas (Soussana *et al.,* 2010).

Diversidad en la composición botánica

Los pastos, a menudo, se caracterizan por ser botánicamente diversos (p. ej. pastos herbáceos seminaturales). Se prevé que los cambios en las variables climáticas afectarán la dinámica y la composición de las especies de plantas, con consecuencias para los patrones es-

tacionales de crecimiento de pasturas y valor nutritivo. Los resultados de los experimentos de manipulación de la lluvia en sistemas de praderas en clima templado, con diversidad de especies más reducida que en pastos naturales o seminaturales, mostraron que, en condiciones de sequía moderada, las praderas que contenían mezclas de diferentes especies tuvieron mayores rendimientos que los que usaban sólo una especie. Este efecto se atribuyó a las interacciones positivas entre especies leguminosas y no leguminosas que conducen a un mejor acceso al agua desde niveles más profundos y a una menor vulnerabilidad a las limitaciones de N del suelo (p. ej. Picon-Cochard *et al.,* 2014).

También se espera que la proporción de dicotiledóneas aumente, particularmente después de sequías severas (Dumont *et al.,* 2015). Si bien algunos estudios han encontrado que estos cambios en la composición de las especies después de una sequía pueden ser reversibles y durar solo unos años antes de volver a su estado original (Trnka *et al.,* 2011), en general, sí se ha visto que el cambio climático puede producir cambios importantes en la composición botánica de las praderas (Dumont *et al.,* 2015).

La predicción es que, aunque la concentración elevada de CO_2 en la atmósfera mejorará los rendimientos potenciales en especies C3 sobre las especies C4, se espera que las especies C4 prosperen en comparación con las especies C3 en condiciones más cálidas.

En las áreas mediterráneas, la composición de las comunidades vegetales en pastos se espera pueda sufrir cambios importantes y de manera puntual, extinciones locales. El estudio de Rubio y Roig (2017), por ejemplo, hace una revisión de las principales áreas más sensibles a estos cambios en relación con la ganadería extensiva en España.

En la zona Mediterránea las especies de pasto y forraje sobreviven generalmente al verano seco como semillas latentes (Ooi *et al.,* 2012). Ooi *et al.* (2012) encontraron que mientras que el aumento de la temperatura media no tuvo efecto sobre la latencia de las semillas, las condiciones futuras con un mayor incremento de olas de calor podrían aumentar significativamente la pérdida de latencia, especialmente en las semillas de poblaciones más frías y en zonas más elevadas.

Los eventos extremos también pueden desempeñar un papel crucial en la composición de la comunidad vegetal de algunos hábitats particulares. Mientras que en climas fríos (p. ej., boreales, alpinos) las temperaturas muy bajas ayudan a las especies resistentes a las heladas a evitar la invasión del hábitat de plantas competidoras (Körner *et al.,* 2003); en áreas cálidas y húmedas, el aumento en la frecuencia de los períodos secos puede mejorar el desarrollo de pastos C4 tolerantes al calor y la sequía. También se prevé que aumente el riesgo de incendios forestales, como ya hemos comentado antes, particularmente en el sur de Europa, cuando las olas de calor se combinan con las condiciones de sequía. La tierra quemada es más vulnerable a la erosión, lo que conduce a una mayor pérdida de suelo. En tales condiciones, la supervivencia de las plantas en las praderas dependerá de las especies de plantas.

En las áreas mediterráneas, las especies forrajeras perennes tolerantes a la sequía podrían ser muy útiles en sistemas donde las especies anuales alcanzan la senescencia a finales de la primavera. Sin embargo, muy pocas especies perennes pueden superar el clima mediterráneo de verano. Las características deseadas de estas especies (p. ej. *Festuca arundinacea*) deben incluir la latencia o bajo crecimiento durante el verano y la alta eficiencia del uso del agua durante la temporada de crecimiento. Hay leguminosas anuales y perennes que se adaptan mejor a las condiciones mediterráneas. Las más prometedoras han sido las especies de tréboles y mielgas

anuales de zonas mediterráneas (Porqueddu *et al.,* 2016). Entre las leguminosas perennes, la alfalfa es muy conocida por su tolerancia a la sequía y es valorada en muchos sistemas agrícolas por su capacidad de producir forraje durante los meses más cálidos (Porqueddu *et al.,* 2016). Todavía, de cualquier manera, se necesitaría cultivar variedades más productivas para poder tener sistemas enteramente basados en la alfalfa de secano (Ovalle *et al.,* 2015). Otras leguminosas perennes interesantes, que pueden escapar de la sequía del verano a través de la latencia y luego volver a crecer en otoño, son la *Sulla* sp. y *Onobrychis viciifolia* (p. ej. Re *et al.,* 2014).

Ozono

Aunque las emisiones de precursores de ozono (O_3) están disminuyendo en Europa (Tubiello *et al.,* 2007), se prevé que las concentraciones europeas de O_3 aumenten en el futuro debido a las emisiones en otras partes del mundo y que los daños económicos anuales mundiales por esta problemática crezcan considerablemente (Sampedro *et al.,* 2020). El efecto del O_3 en los pastos herbáceos es muy difícil de estimar, ya que depende de las especies de plantas, el nivel de diversidad, las prácticas de manejo, las condiciones del lugar, etc. (Hopkins y Del Prado, 2007). Varios experimentos han encontrado que los tréboles tienden a sufrir particularmente más que las gramíneas, lo que llevaría a producir cambios en la composición del pasto en condiciones con más ozono en la atmósfera (ICP Vegetation, 2011). La exposición al ozono puede causar daños visibles a las especies forrajeras, así como aumentar su sensibilidad a las plagas y patógenos, provocando una reducción en la calidad y cantidad del forraje producido (ICP Vegetation, 2011). Aunque el O_3 puede reducir el efecto positivo del CO_2 elevado en el rendimiento de la planta, el aumento del CO_2 parece evitar parte del impacto perjudicial del O_3 en la vida vegetal, sobre todo a temperaturas medias o bajas (ICP Vegetation, 2011).

El sur de Europa tiende a tener mayores concentraciones de O_3 que el norte y, en consecuencia, se espera que su vida vegetal sufra más daños (ICP Vegetation, 2011). Ya, las concentraciones de O_3 en primavera y verano a menudo superan los umbrales de fitotoxicidad de la vegetación y se han observado daños considerables (ICP Vegetation, 2011). La sequía tiende a reducir los impactos negativos del O_3 en la vida vegetal, por lo que puede ser que el daño por O_3 en el sur de Europa sea mayor en primavera que en verano, cuando las sequías son menos comunes (ICP Vegetation, 2011).

Adaptación

Dado que el cambio en las condiciones climáticas es ya inevitable, es imprescindible tomar medidas para adaptarse a las nuevas condiciones. Las estrategias de adaptación al cambio climático se pueden agrupar en aquellas relacionadas con (1) manejo general, (2) selección genética y adopción de razas resistentes al calor tanto en animales como variedades en plantas, (3) cambios nutricionales, (4) estrategias sobre producción de forrajes y utilización de nuevas fuentes de alimentación y (5) cambios estructurales.

Manejo general

La protección física con sombra artificial o natural es una de las medidas más rentables para hacer frente al efecto del estrés por calor en el bienestar animal. Se pueden construir cobertizos, asombrar edificios, colocar sombrajos que facilitan la disipación de calor o favorecer el movimiento de ganado a otras fincas o pastos (i. e. trashumancia). La plan-

tación de árboles forrajeros en zonas de pastoreo (introducción del silvopastoralismo) puede proporcionar alimento además de refugio durante el verano (Mosquera-Losada *et al.,* 2005). Se ha demostrado que mantener recintos al aire libre mantiene un rendimiento de leche más alto en comparación con la cría en interiores de ovejas lactantes (Casamassima *et al.,* 2001).

El enfriamiento por evaporación y un régimen de ventilación adecuado también pueden ser efectivos para reducir las condiciones de estrés por calor. La orientación del edificio también es importante, de este a oeste es mejor que de norte a sur. Las dimensiones de establo, en particular el ancho, son críticas para el movimiento del aire, minimizando el gradiente de temperatura interior a exterior y maximizando la pérdida de calor debido a la convección.

Para los sistemas más intensivos, p. ej. vacuno de leche, estudios recientes han testado a diferentes niveles cómo los alojamientos también pueden adaptarse para favorecer la ventilación natural mediante aperturas para controlar las corrientes de aire. Para eso hay que tener en cuenta los vientos dominantes en verano u obstáculos del entorno que los bloqueen.

También se ha demostrado que la ventilación, p. ej. en ovejas, puede ayudar a una disminución de las bacterias psicotrópicas y coliformes totales y RCC o CCS en la leche en comparación con aquellos sistemas sin ventilación (Albenzio *et al.,* 2005).

Selección genética y adopción de razas resistentes al calor

Las razas que se originan en áreas tropicales y áridas, se consideran los rumiantes más eficientes en condiciones de estrés por calor (más adaptativas) y más resistentes, en parte debido a su baja masa corporal y bajos requerimientos metabólicos, lo que les permite minimizar su ingesta de agua y requisitos de mantenimiento. Las razas de pequeños rumiantes mediterráneos, por ejemplo, son más tolerantes al estrés por calor que otras razas en Europa. Sin embargo, el efecto del estrés por calor en diferentes razas ha demostrado ser bastante variable y dependiente de muchas otras variables de manejo. En general, se ha demostrado que la selección artificial para aumentar la producción de leche reduce la tolerancia al calor en ovejas lecheras (Finocchiaro *et al.,* 2005, Ramón *et al.,* 2016) y en cabras lecheras (Menéndez-Buxadera *et al.,* 2016), lo que respalda la idea de que la selección de animales de alto rendimiento que son menos sensibles al estrés térmico no parece fisiológicamente plausible. Este es el caso más evidente para vacas de leche, el número de razas de vacas lecheras utilizadas a nivel global se ha reducido drásticamente, tomando un gran protagonismo la raza 'Frisona' en todas sus variantes. Esta raza presenta una altísima ventaja competitiva en cuanto a producción de leche frente a otras razas más rústicas, pero, a su vez, esto se convierte en un inconveniente en cuanto a su capacidad de afrontar una situación de estrés térmico. Así, las razas más rústicas, o sus cruces con las razas hiper-productivas más extendidas puede ser un camino para mejorar la capacidad intrínseca de los animales para afrontar retos climáticos.

Se pueden desarrollar adaptaciones en forrajes y otro tipo de plantas a largo plazo a través de mejoramiento genético. El cambio climático y su afección hace que se requieran nuevos recursos forrajeros que se adapten a temperaturas más altas, sequía y aumento de CO_2 (Hopkins y del Prado, 2007). Esto podría lograrse mediante la explotación de rasgos para la tolerancia a la deshidratación y la latencia estival, ya sea en especies nuevas o para introducir rasgos en gramíneas y leguminosas ampliamente utilizados (Volaire *et*

al., 2009). Las estrategias de mejora genética en plantas en relación a la ganadería de rumiantes, como no puede ser de otro modo, dependen en gran medida de la zona agroclimática de estudio. Habrá zonas donde se requiera plantas adaptadas sólo a sequía muy prolongada (p. ej el Mediterráneo) u otras zonas, p. ej. Atlántico, donde se necesitará variedades de forrajes que puedan tolerar la sequía y eventos extremos de lluvias que desencadenan inundación.

Manejo nutricional

Un animal con un mal estado nutricional será más susceptible al estrés ambiental de todo tipo. Esto es particularmente relevante para los sistemas basados en pastoreo, donde el pastoreo reducido de animales a temperaturas más altas puede requerir provisión de alimento suplementario. El manejo nutricional implica: tiempos e intervalos de alimentación alterados, el uso de dietas de alta densidad energética, dietas bajas en fibra, degradabilidad reducida del rumen, alimentación estratégica, el uso de suplementos e ingredientes de alimentación que ayudan a reducir consumo de agua (Al-Dawood, 2017). Para los sistemas de pequeños rumiantes que dependen en gran medida del pastoreo, el cambio climático en Europa requerirá que los ganaderos se enfrenten a una mayor variabilidad inter e intra-anual en la dinámica de la calidad y disponibilidad del forraje. En áreas lluviosas, la capacidad de manipular la cantidad y calidad del forraje mediante el manejo del pastoreo, su conservación, la fertilización y el uso de forrajes sembrados serán muy importantes. Para las zonas más secas del sur, será más apropiado ajustar la coincidencia entre la demanda y el suministro de nutrientes estacionales mediante la manipulación del estado fisiológico del animal o mediante diferentes patrones de movilidad (Grings *et al.,* 2016).

Estrategias sobre producción de forrajes y utilización de nuevas fuentes de alimentación

Se estima que la pérdida de producción forrajera tendrá que ser compensada con una mayor compra de concentrados, el establecimiento del uso de rotaciones de cultivos anuales más apropiados a las nuevas condiciones climáticas, incluyendo rotaciones de cultivos con leguminosas (Hopkins y Del Prado, 2007), un mayor aprovechamiento de los subproductos de la agroindustria y residuos de cultivos o/y el uso de forrajes alternativos. Entre las estrategias generales que son aplicables a todas las regiones, aumentar las praderas mixtas de leguminosas y gramíneas es una buena medida para adaptarse a la posible escasez de fuentes de proteínas a nivel global en Europa, o para enfrentar la disminución esperada del contenido de proteínas y la digestibilidad de los pastos C3 en plantas leguminosas en condiciones de cambio climático (Hopkins y Del Prado, 2007). Esto también se aplicaría a un aumento de las leguminosas de grano para la suplementación de forrajes (Iannetta *et al.,* 2016). La estrategia de utilizar subproductos de la industria alimentaria puede mejorar la eficiencia del uso de los recursos de estos sistemas. Se pueden utilizar diferentes subproductos de las actividades agrícolas, forestales, agroindustriales y de bioenergía para alimentar a los rumiantes como respuesta adaptativa a las limitaciones estacionales del suministro de forraje. Así, existen diferentes subproductos (por ejemplo, harina de camelina, subproductos de tomate) que actualmente están subutilizados pero que podrían utilizarse como alimento para sistemas de producción de productos lácteos orgánicos y de bajos insumos. Estos subproductos varían en su disponibilidad geográfica, valor nutricional, su efecto sobre el metano ruminal y la excreción de N y tienen desafíos relacionados con la logística (Del Prado *et al*., 2020).

Cambios estructurales

Existen numerosas evidencias que sugieren que los sistemas ganaderos de bajos inputs (p. ej. pastoreo de rumiantes en extensivo), a pesar de presentar una alta vulnerabilidad a nivel económica, tienen una alta capacidad adaptativa frente al cambio climático. Considerando las limitaciones que el Cambio Climático ejerce sobre la producción de alimentos, los sistemas extensivos utilizan recursos de tierras marginales menos productivas y, por lo general, recursos subutilizados (matorrales, tierras boscosas) y son sistemas más resilientes y adaptados a temperaturas altas, escasez de agua, menor calidad de la dieta y enfermedades (Bernués *et al.*, 2011). Generalmente, además, ayudan a reducir el riesgo de incendios y aumentan o ayudan a mantener niveles elevados de materia orgánica en el suelo, con el consiguiente efecto positivo sobre la retención de agua en el suelo y aumento de sumideros de carbono (Del Prado y Manzano, 2020).

Ejemplos de impactos y adaptación a nivel de granja usando modelos a escala de explotación

La utilización de modelos matemáticos a nivel de explotación nos puede ayudar a simular escenarios de cambio climático futuro y analizar el efecto que tendrán estas diferentes condiciones climáticas sobre las granjas de rumiantes. En esta línea, utilizando los modelos para vacuno de leche ($SIMS_{DAIRY}$; Del Prado *et al.,* 2011) y pequeños rumiantes ($SIMS_{SR;}$ Del Prado *et al.,* 2019) (más detalle sobre los modelos en complemento 2) podemos estudiar e ilustrar ejemplos sobre el impacto sobre la viabilidad de la granja a través de cambios en la productividad en las plantas y animales. Así, vemos que explotaciones con diferentes ubicaciones y bajo diferentes regímenes climáticos sufrirán cambios desiguales en la productividad de alimentos propios para el ganado y rendimientos en leche y carne dependiendo de las diferentes zonas de estudio y segmentos de tiempo.

Para el sur de Europa, los resultados modelados usando $SIMS_{SR}$ muestran que para sistemas extensivos/semi-extensivos de ovino de carne podemos esperar reducciones en el forraje disponible y en la producción de cereales para grano y paja (especialmente en sistemas de secano), lo que los hará más dependientes de la alimentación externa (suponiendo que no haya disponibilidad de más tierras en la zona). Utilizando como ejemplo un sistema de cría de carne de ovino ubicado en Aragón (noreste de España) (raza Rasa Aragonesa), en la cuenca del río Ebro, y analizando diferentes escenarios (actual: 1991-2020, 2021-2050, 2051-2080, 2081-2100) encontramos que la reducción de los rendimientos en pastos y cereales combinada con el efecto del estrés por calor en los animales requeriría la compra de aproximadamente 50-60 % y 10-30 % más forrajes y concentrados que el uso actual, respectivamente (Figura 4).

Para los sistemas de producción más intensivos, ejemplo del vacuno de leche, los impactos directos por estrés por calor sobre la productividad de los animales se esperan sean bastante altos, reflejándose de forma importante en la viabilidad de la explotación. Comparando mediante el modelo $SIMS_{DAIRY}$ los potenciales impactos del cambio climático en 2 granjas típicas en Europa, una en el Mediterráneo (Valencia) y otra en el Este de Alemania, y haciendo un análisis económico se observó en ambos casos pérdidas económicas importantes (Tabla 1), sobre todo en los escenarios de futuro de referencia IPCC más pesimistas (RCP 4,5 y 8,5; RCP de las siglas en inglés: *Representative Concentration Pathways*) y más avanzados en el tiempo (largo plazo: cercanos al año 2100). Sin embargo, las

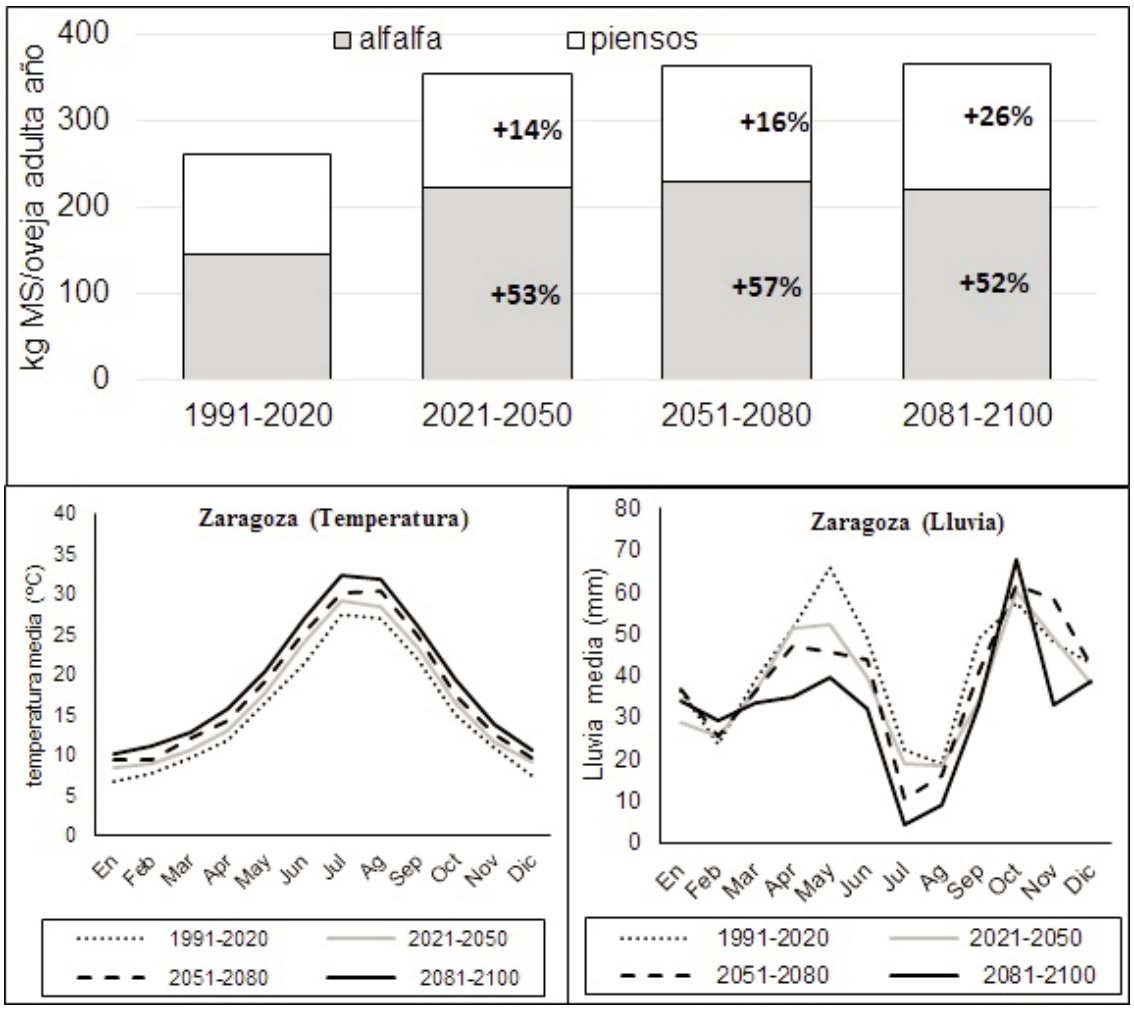


Figura 4. Efecto del cambio climático sobre la necesidad de compra de forrajes y piensos en una explotación típica de ovino de carne semi-extensivo en Aragón (España). Datos simulados usando el modelo de explotación $SIMS_{SR}$ (Del Prado *et al.,* 2019).

Figure 4. Climate change effect on the amount of purchased forage and concentrates needs for a typical semi-extensive sheep farm for meat in Aragon (Spain). Data obtained from simulations using the $SIMS_{SR}$ whole-farm model (Del Prado et al., *2019).*

pérdidas económicas simuladas fueron mucho más severas en la granja situada en el Mediterráneo, con un clima más cálido, así alcanzando reducciones en producción de leche de hasta un 50 % para los meses más cálidos a largo plazo de RCP 8,5.

Una de las estrategias más útiles en sistemas intensivos para reducir la incidencia del estrés por calor en los rumiantes es el ajuste de la densidad energética de la dieta en los períodos más cálidos/severos. Así, por ejemplo, para una explotación de ovino de raza man-

Tabla 1. Pérdida mensual de producción de leche simulada usando $SIMS_{DAIRY}$ durante los meses de verano en granjas de Alemania del Este y Mediterráneo (Valencia) ($/mes vaca, % respecto al óptimo sin cambio climático).
Table 1. Monthly milk loss during summer months as simulated by $SIMS_{DAIRY}$ for East Germany and Mediterranean (Valencia) dairy farms ($/month cattle, % in relation to an optimum scenario without climate change).

Localización	Mes	Corto plazo		Medio plazo		Largo plazo	
		$/mes	%	$/mes	%	$/mes	%
Alemania del Este	Junio	2-12	1-3	1-5	0-1	0-106	0-6
	Julio	13-28	4-7	9-33	2-4	27-1335	4-8
	Agosto	9-18	3-5	20-24	3-4	17-51	2-7
Mediterráneo (Valencia)	Junio	5-8	2-2	9-49	2-7	11-389	1-27
	Julio	18-90	5-23	135-206	23-24	53-1150	6-52
	Agosto	31-100	8-25	100-332	16-38	156-993	18-45
	Septiembre	16-53	4-1	30-295	5-32	102-604	11-26
	Octubre	0-1	0-7	1-71	2-4	3-373	4-8

chega en España se vio que sin adaptación las pérdidas podían ser de más del 20 % en producción de leche en los días más calurosos (Pardo *et al.*, 2019). Una alimentación con mayor densidad energética ayudó a mejorar parte del efecto del estrés por calor en la ingesta de MS y la productividad de la leche. Los resultados agregados en las semanas más calurosas indican que los animales bajo estrés por calor produjeron una reducción de aproximadamente el 11 % en el rendimiento de la leche y un consumo adicional de 0,12 kg de MS requerido por 1 L de leche producida. Para el escenario con una dieta de mayor densidad energética, la reducción en la producción de leche fue pequeña (alrededor del 2 %) en comparación con el escenario sin considerar el estrés por calor. No obstante, esta estrategia de adaptación (incremento en la ingesta de piensos y concentrados), puede tener efectos negativos en relación al impacto de la explotación sobre producción de gases de efecto invernadero (GEI). Si bien el uso de piensos puede hacer reducir las emisiones de metano (CH_4) ruminal, a nivel de emisiones de GEI netas el efecto puede ser negativo. Si usamos soja, teniendo en cuenta todo el ciclo de producción de un producto animal, las emisiones se incrementan debido al mayor impacto en GEI en la producción y transporte de la soja en comparación con las emisiones de GEI generadas si el forraje hubiera sido producido dentro de la explotación (más detalles en complemento 3). La clave estará en el tipo de ingredientes de alta densidad energética utilizados. Una buena estrategia, como ya se ha mencionado antes, sería usar subproductos de la industria alimentaria. Dicha estrategia promovería una economía circular, mejoraría la eficiencia en el uso de los recursos de los sistemas involucrados y disminuiría la competencia por los recursos alimenticios comestibles para humanos. La inclusión de este tipo de alimento puede limitar la volatilidad del precio del alimento y garantizar un rendimiento justo

para los productores y un entorno propicio para la inversión. En Europa se estima que si todos los subproductos estuvieran disponibles para pequeños rumiantes, algunos países como España e Italia, podrían satisfacer buena parte de sus necesidades energéticas del ganado ovino y caprino con estos alimentos (Del Prado *et al.,* 2019). Por ejemplo, los subproductos de tomate y aceituna están ampliamente disponibles en países mediterráneos como España. Para los sistemas de cabras lecheras en España, se ha encontrado que estos subproductos son una buena alternativa de forraje y su inclusión en la dieta de la cabra reduciría el requerimiento de compras de forraje y además conduciría a una menor huella de C (reducciones de aproximadamente 12-18 %) (Pardo *et al.,* 2016).

La mejora genética para conseguir animales más resistentes al estrés térmico y productivos puede conducir a una reducción de los requerimientos de nutrientes necesarios para alcanzar el mismo nivel de producción. Como ejemplo de simulación teórica utilizando el modelo SIM_{SR} para sistemas intensivos de ovejas lecheras 'Chios' sujetos al cambio climático 2050 en Grecia, esquemas de mejoramiento teórico que podrían mejorar la tolerancia térmica en ±10 % darían como resultado una caída en los requisitos de alimentación de aproximadamente 21 % para producir la misma leche. Esta mayor eficiencia también conduciría a una reducción de la huella de C (mitigación del cambio climático) y otras pérdidas de contaminantes ambientales (Del Prado *et al.,* 2020) (más información en complemento 3).

Conclusiones

Los cambios venideros en las condiciones climáticas tienen efectos en la producción de rumiantes que han de tenerse en cuenta para buscar estrategias de adaptación viables y contextualizadas a cada tipo de sistema de forma integrada. Existe numerosa experimentación que pone de manifiesto cambios a nivel de animal, en cuanto a su respuesta, pero también cambios en la producción de la alimentación del ganado. Con estos estudios y la ayuda de herramientas de simulación a diferentes niveles (p. ej. escala explotación como hemos mostrado en este estudio), se pueden trazar estrategias de adaptación ante este reto al que el sector se ve ya afectado en los últimos años. Para ello, es fundamental una planificación conjunta que englobe el manejo de la explotación en general, pero también, sobre todo en sistemas más intensivos, la búsqueda de genotipos más resistentes a los cambios que se predicen, así como su adaptación a cambios nutricionales. La planificación de una estrategia alimentaria en el caso de los rumiantes es clave, desde el punto de vista de disponibilidad de pasto, estrategias sobre la producción de forrajes, así como la apuesta por el uso de fuentes de alimentación como subproductos de la industria agroalimentaria que reduzcan los riesgos de cambios interanuales ambientales en la producción de forrajes, que repercutirán en riesgos interanuales en la viabilidad económica de las explotaciones con efectos en su sostenibilidad a largo plazo. Además, dentro de los diferentes sistemas de producción, la ganadería de rumiantes de bajos inputs (p. ej. ganadería extensiva ligada a pastos) debiera ser protegida dentro de las políticas climáticas y de desarrollo rural por su mayor capacidad de aportar co-beneficios climáticos adicionales en forma de servicios ecosistémicos.

Material complementario

El material complementario de este artículo se puede consultar en la URL: https://doi.org/10.12706/itea.2020.038

Agradecimientos

La investigación del BC3 cuenta con el apoyo del Gobierno español a través de la acreditación de excelencia María de Maeztu 2018-2022 (Ref. MDM-2017-0714) y del Gobierno Vasco a través del programa BERC 2018-2021. Este trabajo también fue apoyado por el proyecto Horizon2020 SFS-01c-2015 titulado "Innovación de producción sostenible de ovejas y cabras en Europa (iSAGE)" (número de subvención 679302) y OPTIBARN (618105 FACCE Era Net Plus – Food Security, Agriculture, Climate Change ERA-NET plus –JPI). Agustín del Prado está financiado por el programa Ramón y Cajal del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad de España (RYC-2017-22143). Elena Galán está financiada por el programa Juan de la Cierva 2016 (FJCI-2016-30263) del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad.

Referencias bibliográficas

Abdel-Gawad AR, Hamzaoui S, Salama AAK, Caja G, Guamis B, Castillo M (2012). Light backscatter evaluation of milk coagulation properties in dairy goats supplemented with soybean oil under heat stress conditions. Book of Abstracts of the XI International Conference on Goats, 24-27 Septiembre, Gran Canarias, España, pp. 275.

Ainsworth EA, Long SP (2005). What have we learned from 15 years of free-air CO_2 enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO_2. New Phytologist 165: 351-372. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01224.x

Albenzio M, Santillo A, Caroprese M, Marino R, Centoducati P, Sevi A (2005). Effect of different ventilation regimens on ewes' milk and Canestrato Pugliese cheese quality in summer. Journal of Dairy Research 72(4): 447-455. https://doi.org/10.1017/S0022029905001305

Al-Dawood A (2017). Towards heat stress management in small ruminants - a review. Annals of Animal Science 17: 59-88. https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0068

Atrian P, Shahryar HA (2012). Heat stress in dairy cows. A review. Research in Zoology 2: 31-37. https://doi.org/10.5923/j.zoology.20120204.03

Barnes A, Beatty D, Taylor E, Stockman C, Maloney S, McCarthy M (2004). The efficacy of electrolyte replacement therapy. En: Physiology of heat stress in cattle and sheep, pp. 16-18. Meat and Livestock Australia. North Sydney, Australia.

Baumgard LH, Rhoads RP (2013). Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. Annual Review of Animal Biosciences 1: 311-337. https://doi.org/10.1146/annurev-animal-031412-103644

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: 1167-1183. https://doi.org/10.1017/S175173111000090X

Bernabucci U, Biffani S, Buggiotti L, Vitali A, Lacetera N, Nardone A (2014). The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. Journal of Dairy Science 97: 471-486. https://doi.org/10.3168/jds.2013-6611

Bernués A, Ruiz R, Olaizola A, Villalba D, Casasús I (2011). Sustainability of pasture-based livestock farming systems in the European Mediterranean context: Synergies and trade-offs. Livestock Science, Special Issue: Assessment for Sustainable Development of Animal Production Systems 139: 44-57. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.018

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

Betts RA, Boucher O, Collins M, Cox PM, Falloon PD, Gedney N, Hemming DL, Huntingford C, Jones CD, Sexton DMH, Webb MJ (2007). Projected increase in continental runoff due to plant responses to increasing carbon dioxide. Nature 448: 1037-1041. https://doi.org/10.1038/nature06045

Brown DL, Morrison SR, Bradford GE (1988). Effects of ambient temperature on milk production of Nubian and Alpine goats. Journal of Dairy Science 71: 2486-2490. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79835-5

Brügemann K, Gernand E, von Borstel UU, König S (2011). Genetic analyses of protein yield in dairy cows applying random regression models with time-dependent and temperature × humidity-dependent covariates. Journal of Dairy Science 94: 4129-4139. https://doi.org/10.3168/jds.2010-4063

Casamassima D, Sevi A, Palazzo M, Ramacciato R, Colella GE, Bellitti A (2001). Effects of two different housing systems on behaviour, physiology and milk yield of Comisana ewes. Small Ruminant Research 41(2): 151-161. https://doi.org/10.1016/S0921-4488(01)00201-2

Casella E, Soussana JF, Loiseau P (1996). Long-term effects of CO_2 enrichment and temperature increase on a temperate grass sward. Plant and Soil 182(1): 83-99. https://doi.org/10.1007/BF00010998

Collier RJ, Hall LW, Rungruang S, Zimbleman RB (2012). Quantifying heat stress and its impact on metabolism and performance. Proceedings 23rd Annual Ruminant Nutrition Symposium, 31 enero y 1 de febrero, Gainesville, Florida. pp. 74.

De La Fuente LF, Barbosa E, Carriedo JA, Gonzalo C, Arenas R, Fresno JM, San Primitivo F (2009) Factors influencing variation of fatty acid content in ovine milk. Journal of Dairy Science 92(8): 3791-3799. https://doi.org/10.3168/jds.2009-2151

Del Prado A, Misselbrook T, Chadwick D, Hopkins A, Dewhurst RJ, Davison P, Butler A, Schröder J, Scholefield D (2011). $SIMS_{DAIRY}$: A modelling framework to identify sustainable dairy farms in the UK. Framework description and test for organic systems and N fertiliser optimisation. Science of the Total Environment 409: 3993-4009. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.05.050

Del Prado A, Crosson P, Olesen JE, Rotz CA (2013). Whole-farm models to quantify greenhouse gas emissions and their potential use for linking climate change mitigation and adaptation in temperate grassland ruminant-based farming systems. Animal 7: 373-385. https://doi.org/10.1017/S1751731113000748

Del Prado A, Batalla I, Pardo G, Jebari A, Ragkos A, Theodoridis A, Arsenos G (2019). Deliverable 4.3. Proyecto EU ISAGE. New holistic model that can be used to redesign terrestrial small ruminant's livestock systems. 142 pp.

Del Prado A, Manzano P. (2020). La ganadería y su contribución al cambio climático. Muñoz, A. (ed). Amigos de la Tierra y BC3, Madrid y Leioa. 36 pp.

Del Prado A, Batalla I, Pardo G, Galán E, Thomas C, Ragkos A, Theodoridis A, Arsenos G (2020). Deliverable 4.4 Proyecto EU ISAGE. New trajectories towards innovative sheep and goat production systems.

Dellar M, Topp CFE, Banos G, Wall E (2018). A meta-analysis on the effects of climate change on the yield and quality of European pastures. Agriculture, Ecosystems & Environment 265: 413-420. https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.06.029

Dumont B, Andueza D, Niderkorn V, Lüscher A, Porqueddu C, Picon-Cochard C (2015). A meta-analysis of climate change effects on forage quality in grasslands: specificities of mountain and Mediterranean areas. Grass and Forage Science 70: 239-254. https://doi.org/10.1111/gfs.12169

El-Tarabany MS, El-Tarabany AA, Roushdy EM (2016). Impact of lactation stage on milk composition and blood biochemical and hematological parameters of dairy Baladi goats. Saudi Journal of Biological Sciences 25(8): 1632-1638. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.08.003

Finocchiaro R, Van Kaam JBCHM, Portolano B, Misztal I (2005). Effect of heat stress on production of Mediterranean dairy sheep. Journal of Dairy Science 88(5): 1855-1864. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72860-5

Grings EE, Zampaligre N, Ayantunde A (2016). Overcoming challenges to utilization of dormant forage in year-round grazing systems. Journal of Animal Science 94: 2-14. https://doi.org/10.2527/jas.2016-0517

Grünzweig JM, Dumbur R (2012). Seed traits, seed-reserve utilization and offspring performance across pre-industrial to future CO_2 concentrations in a Mediterranean community. Oikos 121(4): 579-588. https://doi.org/10.2307/41429327

Hamzaoui S, Salama AAK, Albanell E, Such X, Caja G (2013). Physiological responses and lactational performances of late-lactation dairy goats under heat stress conditions. Journal of Dairy Science 96: 6355-6365. https://doi.org/10.3168/jds.2013-6665

Hopkins A, Del Prado A (2007). Implications of climate change for grassland: impacts, adaptations and mitigation options: a review. Grass and Forage Science 62: 118-126. https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2007.00575.x

Iannetta PPM, Young M, Bachinger J, Bergkvist G, Doltra J, Lopez-Bellido RJ, Monti M, Pappa VA, Reckling M, Topp CFE, Walker RL, Rees RM, Watson CA, James EK, Squire GR, Begg GS (2016). A comparative nitrogen balance and productivity analysis of legume and non-legume supported cropping systems: the potential role of biological nitrogen fixation. Frontiers in Plant Science 7: 1700. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01700

Iglesias E, Báez K, Diaz-Ambrona CH (2016). Assessing drought risk in Mediterranean Dehesa grazing lands. Agricultural Systems 149: 65-74. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.07.017

ICP Vegetation (2011). Ozone Pollution: A hidden threat to food security. Bangor, Wales. 116 pp.

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

Kipling RP, Bannink A, Bellocchi G, Dalgaard T, Fox NJ, Hutchings NJ, Kjeldsen C, Lacetera N, Sinabell F, Topp CFE, van Oijen M, Virkajrvi P, Scollan ND (2016). Modelling European ruminant production systems: Facing the challenges of climate change. Agricultural Systems 147: 24-37. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.05.007

Körner C (2003). Limitation and stress – always or never? Journal of Vegetation Science 14: 141-143.

Lambertz C, Sanker C, Gauly M (2014). Climatic effects on milk production traits and somatic cell score in lactating Holstein-Friesian cows in different housing systems. Journal of Dairy Science 97: 319-329. https://doi.org/10.3168/jds.2013-7217

Lu CD (1989). Effects of heat stress on goat production. Small Ruminant Research 2(2): 151-162. https://doi.org/10.1016/0921-4488(89)90040-0

Luo Y, Su B, Currie WS, Dukes JS, Finzi A, Hartwig U, Hungate B, McMurtrie RE, Oren R, Parton WJ, Pataki DE, Shaw MR, Zak DR and Field CB (2004). Progressive N limitation of ecosystem responses to rising atmospheric carbon dioxide. Bioscience 54: 731-739. https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0731:PNLOER]2.0.CO;2

Mahjoubi E, Amanlou H, Mirzaei-Alamouti HR, Aghaziarati N, Yazdi MH, Noori GR, Yuan K, Baumgard LH (2014). The effect of cyclical and mild heat stress on productivity and metabolism in Afshari lambs. Journal of Animal Science 92: 1007-1014. https://doi.org/10.2527/jas.2013-7153

Menéndez-Buxadera A, Medina C, Gómez J, Barajas F, Molina A (2016). Parámetros genéticos de la prolificidad y la supervivencia hasta el sacrificio en corderos de raza Merina. Archivos de Zootecnia 65: 291-296. https://doi.org/10.21071/az.v65i251.687

Morris J, Hess T, Posthumus H (2010). Agriculture's Role in Flood Adaptation and Mitigation. En: Sustainable Management of Water Resources in Agriculture (Ed. Organisation for Economic Cooperation and Development; OECD), pp. 1-35. OECD Publishing, Paris, Francia. https://doi.org/10.1787/9789264083578-en

Mosquera-Losada MR, Rigueiro-Rodríguez A, McAdam J (2005). Silvopastoralism and sustainable land management. Proceedings of a International Conference on Silvopastoralism and Sustainable Management held in Lugo, Spain, April 2004.

Mullender S, Zaralis K, Pardo G, Del Prado A, Dellar M, Yáñez-Ruiz D, Carabaño MJ (2017). Deliverable 3.1. Proyecto EU ISAGE. Report on review of information on FP7 projects and literature on climate change and small ruminants. 92 pp.

Myers SS, Zanobetti A, Kloog I, Huybers P, Leakey ADB, Bloom AJ, Carlisle E, Dietterich LH, Fitzgerald G, Hasegawa T, Holbrook NM, Nelson RL, Ottman MJ, Raboy V, Sakai H, Sartor KA, Schwartz J, Seneweera S, Tausz M, Usui Y

(2014). Increasing CO_2 threatens human nutrition. Nature 510: 139-142. https://doi.org/10.1038/nature13179

Nienaber JA, Hahn GL (2007). Livestock production system management responses to thermal challenges. International Journal of Biometeorology 52: 149-157. https://doi.org/10.1007/s00484-007-0103-x

Nowak RS, Ellsworth DS, Smith SD (2004). Functional responses of plants to elevated atmospheric CO2 - Do photosynthetic and productivity data from FACE experiments support early predictions? New Phytologist 162: 253-280. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01033.x

Ooi MKJ, Auld TD, Denham AJ (2012). Projected soil temperature increase and seed dormancy response along an altitudinal gradient: implications for seed bank persistence under climate change. Plant Soil 353: 289-303. http://dx.doi.org/10.1007/s11104-011-1032-3

Ovalle C, Espinoza S, Barahona V, Gerding M, Humphries A, del Pozo A (2015). Lucerne and other perennial legumes provide new options for rain fed livestock production in the Mediterranean-climate region of Chile. Ciencia e Investigación Agraria 42(3): 453-460. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-16202015000300014

Pardo G, Martin-Garcia I, Arco A, Yañez-Ruiz DR, Moral R, Del Prado A (2016). Greenhouse-gas mitigation potential of agro-industrial by-products in the diet of dairy goats in Spain: a life-cycle perspective. Animal Production Science 56(3): 646-654. https://doi.org/10.1071/AN15620

Pardo G, Del Prado A, Batalla I, Carabaño MJ, Ramón M, Belanche A (2019). Deliverable 3.2. Proyecto EU ISAGE. Report on development of meta-models on the effect of climate parameters on animal productivity and welfare. 71 pp.

Peana I, Fois G, Cannas A (2007). Effects of heat stress and diet on milk production and feed and energy intake of Sarda ewes. Italian Journal of Animal Science 6: 577-579. https://doi.org/10.4081/ijas.2007.1s.577

Picon-Cochard C, Finn J, Sutter M, Nagy Z, Diop A, Fisher F, Talore D (2014). Report on grassland ecosystem manipulation experiments. Animal Change, Seventh Framework Programme, Theme 2: Food, Agriculture and Fisheries, and Biotechnologies, Grant Agreement Number: FP7-266018, Deliverable 4.1. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01611420/document

Porqueddu C, Ates S, Louhaichi M, Kyriazopoulos AP, Moreno G, del Pozo A, Ovalle C, Ewing MA, Nichols PGH (2016). Grasslands in "Old World" and "New World" Mediterranean-climate zones: Past trends, current status and future research priorities. Grass and Forage Science 71: 1-35. https://doi.org/10.1111/gfs.12212

Ramón M, Díaz C, Pérez-Guzman MD, Carabaño MJ (2016). Effect of exposure to adverse climatic conditions on production in Manchega dairy sheep. Journal of Dairy Science, 99(7): 5764-5779. https://doi.org/10.3168/jds.2016-10909

Re GA, Piluzza G, Sulas L, Franca A, Porqueddu C, Sanna F, Bullitta, S (2014). Condensed tannin accumulation and nitrogen fixation potential of *Onobrychis viciifolia* Scop. grown in a Mediterranean environment. Journal of the Science of Food and Agriculture 94: 639-645. https://doi.org/10.1002/jsfa.6463

Rhoads ML, Rhoads RP, VanBaale MJ, Collier RJ, Sanders SR, Weber WJ, Crooker BA, Baumgard LH (2009). Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. Journal of Dairy Science 92: 1986-1997. https://doi.org/10.3168/jds.2008-1641

Rubio A, Roig S (2017). Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en los sistemas extensivos de producción ganadera en España. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid. 178 pp.

Salama AAK, Caja G, Hamzaoui S, Badaoui B, Castro-Costa A, Façanha DAE, Guilhermino MM, Bozzi R (2014). Different levels of response to heat stress in dairy goats. Small Ruminant Research 121: 73-79. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2013.11.021

Sampedro J, Waldhoff ST, Van de Ven DJ, Pardo G, Van Dingen R, Arto I, Del Prado A, Sanz MJ (2020). Future impacts of ozone driven damages on

agricultural systems. Atmospheric Environment 231: 117538. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117538

Sardans J, Peñuelas J (2013). Plant-soil interactions in Mediterranean forest and shrublands: impacts of climatic change. Plant Soil 365: 1-33. https://doi.org/10.1007/s11104-013-1591-6

Sevi A, Annicchiarico G, Albenzio M, Taibi L, Muscio A, Dell'Aquila S (2001). Effects of solar radiation and feeding time on behavior, immune response and production of lactating ewes under high ambient temperature. Journal of Dairy Science 84: 629-640. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74518-3

Sevi A, Rotunno T, Di Caterina R, Muscio A (2002). Fatty acid composition of ewe milk as affected by solar radiation and high ambient temperature. Journal of Dairy Research 69: 181-194. https://doi.org/10.1017/S0022029902005447

Sevi A, Caroprese M (2012). Impact of heat stress on milk production, immunity and udder health in sheep: A critical review. Small Ruminant Research 107: 1-7. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.07.012

Soussana JF, Lüscher A (2007). Temperate grasslands and global atmospheric change: A review. Grass and Forage Science 62: 127-134. https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2007.00577.x

Soussana JF, Graux AI, Tubiello FN (2010). Improving the use of modelling for projections of climate change impacts on crops and pastures. Journal of Experimental Botany 61: 2217-2228. https://doi.org/10.1093/jxb/erq100

Thornton PK, Van De Steeg J, Notenbaert A, Herrero M (2009). The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. Agricultural Systems 101: 113-127. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.05.002

Trnka M, Bartošová L, Schaumberger A, Ruget F, Eitzinger J, Formayer H, Seguin B, Olesen JE (2011). Climate change and impact on European grasslands. Proceedings of 16th Symposium of the European Grassland Federation and Agricultural Research and Education Centre (AREC), 28-31 de agosto, Raumberg-Gumpenstein, Austria, pp. 39-51.

Tubiello FN, Soussana JF, Howden SM (2007). Crop and pasture response to climate change. Proceedings of the National Academy of Sciences 104: 19686-19690. https://doi.org/10.1073/pnas.0701728104

Volaire F, Norton MR, Lelièvre F (2009). Summer drought survival strategies and sustainability of perennial temperate forage grasses in Mediterranean areas. Crop Science 49: 2386-2392. https://doi.org/10.2135/cropsci2009.06.0317

Ward G (1995). Pasture recovery after fire. Victoria State Government. Economic Development, Jobs, Transport and Resources. https://doi.org/10.4225/50/55EE4EFC4BE45

West JW (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. Journal of Dairy Science 86: 2131-2144. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X

(Aceptado para publicación el 29 de octubre de 2020)

La alimentación en producción intensiva de animales monogástricos: Un elemento clave para reducir su impacto ambiental

A. Cerisuelo[1,*] y S. Calvet[2]

[1] Centro de Investigación y Tecnología Animal, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Pol. La Esperanza 100, 12400 Segorbe, Castellón, España
[2] Instituto de Ciencia y Tecnología Animal, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, España

Resumen

La alimentación animal es un factor clave para garantizar la sostenibilidad de la ganadería, especialmente en la producción intensiva de monogástricos. El impacto ambiental de este sector está principalmente relacionado con la producción de materias primas para piensos y la gestión de deyecciones. Las materias primas que conforman un pienso determinan su huella ambiental. En nuestras condiciones, la sustitución de soja por fuentes proteicas locales y un aumento en el uso de subproductos podrían, inicialmente, mejorar la sostenibilidad de los piensos. Sin embargo, para valorar las ventajas ambientales reales es necesario disponer de información precisa sobre el origen y los efectos en la digestibilidad de los nutrientes y la productividad de estas materias primas. Por otro lado, existe una relación directa entre la alimentación, excreción de nutrientes y emisión de gases a partir de las excretas en porcino y aves. La reducción de proteína de los piensos reduce las emisiones de amoniaco de las excretas. Para otros nutrientes como la fibra y la grasa, esta relación es más compleja. La implementación de estrategias basadas en la nutrición de precisión, el uso de tecnología (pretratamientos y enzimas) para aumentar la digestibilidad de las materias primas o el control de la salud intestinal de los animales es fundamental para aumentar la eficiencia en el uso de recursos y reducir el impacto ambiental de la ganadería. Este trabajo describe el estado del arte de la formulación de piensos sostenibles y la mejora en el aprovechamiento de nutrientes.

Palabras clave: Estrategias alimentación, piensos sostenibles, excreción de nutrientes, amoniaco, gases de efecto invernadero, porcino, aves.

Feeding in monogastric animals: A key element to reduce its environmental impact

Abstract

Animal nutrition is a key factor in guaranteeing the sustainability of livestock farming, especially in the intensive production of monogastrics. The environmental impact of this sector is mainly related to the production of feedstuffs and manure management. Feed ingredients determine the environmental footprint of feeds. Under our conditions, soy replacement with local protein sources and an increase in the use of by-products could, initially, improve the sustainability of feeds. However, in order to assess

* Autor para correspondencia: cerisuelo_alb@gva.es

Cita del artículo: Cerisuelo A, Calvet S (2020). La alimentación en producción intensiva de animales monogástricos: Un elemento clave para reducir su impacto ambiental. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 116(5): 483-506. https://doi.org/10.12706/itea.2020.039

the real environmental benefits of these strategies, it is necessary to have accurate information about the origin and the effects on nutrient digestibility and productivity of these ingredients. On the other hand, there exists a direct relationship between feeding, nutrient excretion and gas emission from excreta in pigs and poultry. Reducing protein in feed reduces ammonia emission from excreta. However, for other nutrients like fiber and fat, this relationship is more complex. The implementation of strategies based on precision nutrition, the use of technology (pre-treatments and enzymes) to increase the digestibility of feedstuffs or the control of gut health is essential to increase the efficiency in the use of resources and reduce the environmental impact of livestock. This work describes the state of the art in the formulation of sustainable feeds and the improvement in the use of nutrients.

Keywords: Feeding strategy, sustainable feeds, nutrient excretion, greenhouse gases, ammonia, pigs, poultry.

Introducción

En un marco de emergencia climática que reclama acción urgente para combatir el cambio climático y la previsión de aumento de la demanda mundial de productos animales en respuesta al crecimiento demográfico que se espera, la actividad ganadera se enfrenta al importante reto de satisfacer esta demanda de manera sostenible. Dada su relevancia, este reto forma parte de los objetivos contemplados en la nueva Agenda para el Desarrollo Sostenible 2030 promovida por la UNESCO (UNESCO, 2017). Este reto debe ir acompañado del compromiso social de producir alimentos seguros y de calidad, en base a un marco legal europeo cada vez más exigente en términos de seguridad alimentaria y bienestar animal. En esta aventura, la alimentación animal juega un papel clave a varios niveles. En términos generales, la alimentación supone entre un 60-80 % de los costes de producción en las explotaciones, e influye directamente en el rendimiento productivo y salud de los animales, la seguridad del producto final y el impacto ambiental de la ganadería. Especialmente en los sistemas de producción intensiva en los que la dependencia de los recursos externos para la alimentación de los animales es total, es imprescindible contar con el sector de la alimentación animal para garantizar la sostenibilidad social, económica y ambiental de la ganadería (FAO, 2014; FEFAC, 2016). En los sistemas de producción intensiva de porcino y aves, la mayor parte de los impactos ambientales están asociados a la obtención de las materias primas para la fabricación de piensos (incluyendo el cultivo, transporte y procesado de las materias primas; Lassaletta *et al*., 2019). Por otra parte, la eficiencia con la que los animales aprovechan los alimentos condiciona los impactos asociados a la gestión de sus deyecciones, que son la otra gran fuente de contaminación procedente de la ganadería (MITECO, 2019). Conscientes de su importancia, la comunidad científica y el propio sector ganadero impulsan la búsqueda de estrategias de alimentación sostenibles para reducir el impacto ambiental de la ganadería. Es destacable, en este sentido, el esfuerzo dedicado en los últimos años a la aplicación de metodologías de cálculo de huella ambiental en el campo de la alimentación animal para la formulación de piensos sostenibles (Mackenzie *et al*., 2016; Garcia-Launay *et al*., 2018). Igualmente, el desarrollo de tecnología dirigida a aumentar el aprovechamiento de los nutrientes y reducir su excreción, tales como los sistemas de alimentación de precisión, tecnología de tratamiento de materias primas y aditivos en piensos ha sido relevante en los últimos años (revisado por Rojas y Stein, 2017 y Pomar y Remus, 2019). Por otro lado, la existencia de una relación positiva entre la salud gastroin-

testinal de los animales, la eficiencia y el impacto ambiental de la ganadería es cada vez más evidente (revisado por Celi *et al*., 2017; Liu *et al.*, 2020). La salud podría convertirse en un criterio importante para la formulación de piensos sostenibles en el futuro.

Este trabajo pretende describir los avances en el conocimiento de la relación entre la alimentación y el impacto ambiental en la producción intensiva de porcino y aves, así como proponer estrategias alimentarias de mitigación dirigidas a conseguir una ganadería futura neutra en carbono.

Origen del impacto ambiental de la ganadería intensiva y relación con la alimentación

El impacto de la ganadería intensiva de monogástricos está principalmente asociado a la producción de materias primas para la fabricación de piensos y el manejo de las deyecciones ganaderas (Leip *et al.* 2015; Tallentire *et al.*, 2017; Lassaletta *et al.,* 2019; MITECO, 2019). Conocer los motivos por los cuales estas son las principales fuentes de contaminación es fundamental a la hora de identificar opciones para su mitigación.

Producción de materias primas para la fabricación de los piensos

El sector ganadero, en particular la ganadería intensiva consume una elevada cantidad de recursos en forma de uso de suelo, agua y nutrientes (Lassaletta *et al*., 2019) y moviliza una cantidad de nutrientes creciente a nivel mundial. En este sentido, aproximadamente el 33 % de las tierras de cultivo a nivel mundial se dedican a producción de forrajes y piensos.

Según datos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 2018), la producción de piensos compuestos en España para animales de abasto en 2018 se cifró en 36.1 millones de toneladas, situándose a la cabeza de la Unión Europea. Estos piensos incluyen materias primas nacionales, pero también materias primas importadas. La fabricación de pienso para porcino y aves representa alrededor de un 67 % del total. En los sistemas intensivos de producción animal, la producción de materias primas para la fabricación de piensos tiene un elevado impacto ambiental y es una de las claves para la reducción de la huella de carbono asociada a los productos de origen animal (Leip *et al.* 2015; Tallentire *et al.*, 2017; Lassaletta *et al*., 2019). El impacto ambiental de las materias primas suele cuantificarse mediante modelos de análisis de ciclo de vida (LCA, del inglés *life cycle analysis*) en los que se tienen en cuenta, básicamente, los "inputs" necesarios para su producción y el impacto ambiental que la obtención, procesado y transporte, y otros procesos involucrados, que cada ingrediente puede ocasionar a diferentes niveles: emisión de gases de efecto invernadero (impacto cambio climático), potencial eutrofización, potencial de acidificación, uso de energía, uso de suelo, uso de agua, entre otros. En términos generales, la producción de materias primas para piensos, contribuye en una proporción mayoritaria en estos componentes (Figura 1): un 50-85 % de la huella de carbono por 1 kg de carne, un 64-97 % del potencial de eutrofización, un 70-96 % del uso de energía y prácticamente todo del impacto relacionado con el cambio de uso de suelo del impacto ambiental de la producción de cerdos y aves (van der Werf *et al*., 2005; Leinonen *et al*., 2012; revisado por Nijdam *et al*., 2012; McAuliffe *et al*., 2017; Tallentire *et al*., 2017). Sin embargo, la importancia de los diferentes factores en el impacto global puede cambiar según el tipo de producto (carne *vs*. huevos) o el sistema de producción (industrial *vs.* parque; batería *vs.* suelo) y, lógicamente, el origen y tipo de materias primas que incluyen los piensos (van der Werf *et al*., 2005; Leinonen *et al*., 2012; Tallentire *et al*., 2018).

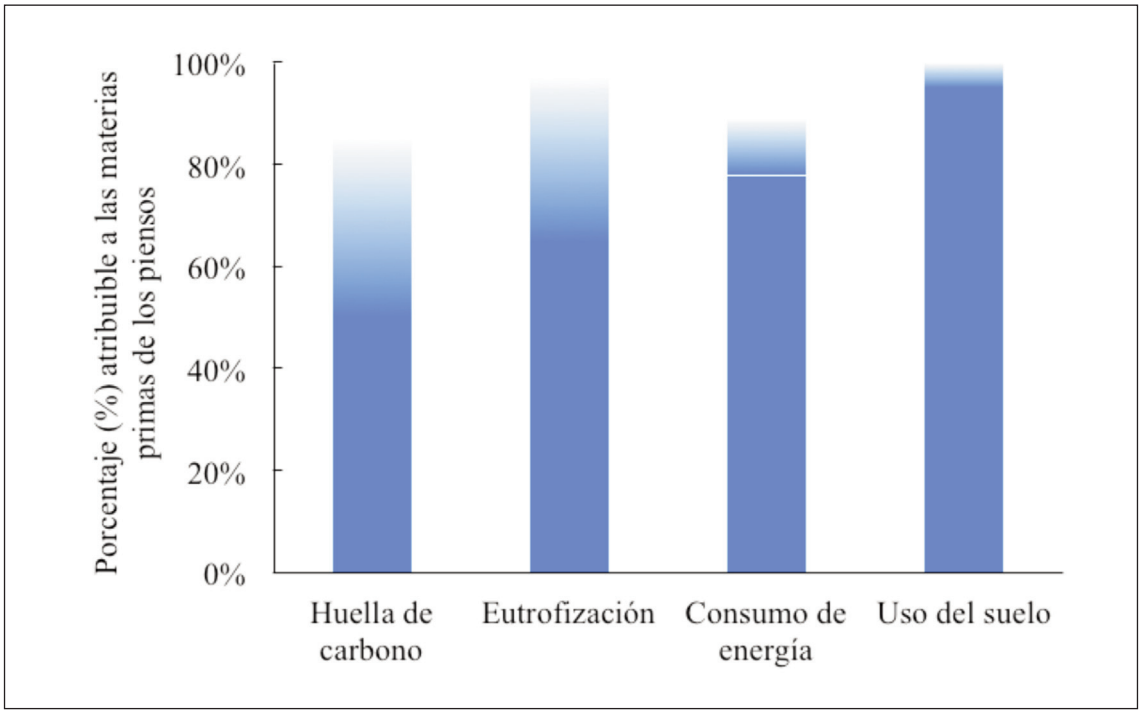


Figura 1. Porcentajes de distintos componentes de la huella ambiental (huella de carbono, eutrofización, consumo de energía y uso del suelo) atribuibles a la obtención de las materias primas para la fabricación de piensos en animales monogástricos. La parte de las columnas con tono de color degradado indica la variación entre estudios. Fuentes: van der Werf *et al.* (2005), Leinonen *et al*. (2012), Nijdam *et al*. (2012), McAuliffe *et al*. (2017), Tallentire *et al*. (2017).
Figure 1. Percentages of different components of the environmental footprint (carbon footprint, eutrophication, energy consumption and land use) attributable to obtaining raw materials for the production of feed in monogastric animals. The part of the columns with a gradient color tone indicates the variation among studies. Sources: van der Werf et al. *(2005), Leinonen* et al. *(2012), Nijdam* et al. *(2012), McAuliffe* et al. *(2017), Tallentire* et al. *(2017).*

La obtención de materias primas constituye una fuente indirecta de emisiones principalmente por el consumo energético de la elaboración de fertilizantes, por las emisiones de óxido nitroso (N_2O) en suelos de cultivo, por el transporte internacional y, en su caso, por las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) asociadas los cambios de uso del suelo. En relación al cambio de uso de suelo, este factor es importante en materias primas para las cuales su cultivo implica una transformación de suelo forestal en tierras de cultivo. Esto es especialmente relevante en el caso de la soja, cuyo cultivo en extensas áreas de Brasil, Argentina y Estados Unidos está asociado a la deforestación, aunque también afecta a otras materias primas mayoritarias en piensos de monogástricos como los cereales. El cambio en el uso del suelo se asocia a una pérdida de sumideros de CO_2 y se traduce en mayores emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) atribuibles a la producción de piensos (revisado por Nijdam *et al*., 2012). Además, el cultivo de materias primas a me-

nudo implica un consumo de recursos hídricos importante (revisado por Nijdam *et al*., 2012), que es también contemplado en el análisis de su huella ambiental.

Por otro lado, particularmente Europa es generalmente deficitaria en fuentes de proteína y la necesidad de importación de estas fuentes de proteína aumenta en el coste ambiental de la fabricación de piensos. Según indica el balance proteico para alimentación animal 2019/2020 (Comisión Europea, 2020), la Unión Europea está cerca de la autosuficiencia en ingredientes con un bajo (<15 %), bajo-medio (15-30 %) o muy elevado (>50 %) contenido en proteína, pero no en productos con un contenido medio-alto en proteína (30-50 %), entre los que se encuentran las fuentes de proteína más habituales en piensos, como las harinas de oleaginosas. La necesidad de importar estas materias primas no sólo aumenta en el coste ambiental de los piensos sino también la dependencia de países terceros, especialmente en el caso de la soja para la cual Europa importa el 97 % del producto.

Al margen de los efectos de las materias primas en el impacto ambiental de los piensos, no olvidemos que ingredientes como los cereales y la soja compiten directamente con la alimentación humana y que, en un futuro, estos serán cada vez menos competitivos en alimentación animal (Schader *et al*., 2015; Lassaletta *et al*., 2019). Igualmente, es importante destacar que el cultivo de materias primas como la soja o el aceite de palma puede conllevar implicaciones negativas sobre los derechos humanos que conviene controlar, para favorecer la sostenibilidad social, económica y ambiental de la fabricación de los piensos.

Dada a la importancia de la producción de materias primas en el impacto ambiental y social de la ganadería y la elevada y creciente demanda de producción de pienso en España, se deduce que la adopción de medidas de mitigación en este campo puede ser muy efectiva para incrementar la sostenibilidad del sector ganadero.

Impacto ambiental de las deyecciones ganaderas

Las deyecciones ganaderas contienen una buena parte de los nutrientes ingeridos por los animales, y esto supone un riesgo ambiental si éstas no se tratan de forma conveniente. En el trabajo de revisión de Lin *et al.* (2017) se indica que la tasa de excreción de nitrógeno (N) es aproximadamente 2/3 del N ingerido en cerdos de cebo, y más de la mitad en aves y que la eficiencia de utilización del fósforo (P) en animales no rumiantes es generalmente baja (20-27 %).

La forma habitual de gestión de estas deyecciones es el retorno a los campos de cultivos. La aplicación de estiércoles debe realizarse en todo caso de acuerdo con indicaciones agronómicas, es decir, a la dosis y en los momentos adecuados para cada cultivo, respetando además la dosis máxima de 170 kg de N por hectárea y año establecidos normativamente en Europa (BOE, 1996). En zonas de elevada concentración ganadera, este requisito no siempre es fácil de mantener por la elevada producción de purines. El riesgo de contaminación se multiplica al incrementar las dosis sobre las que se consideran convenientes, puesto que los nutrientes del estiércol acaban concentrados en el suelo, pueden llegar a las aguas o pasan a la atmósfera contaminando el medio terrestre, acuático y atmosférico. Actualmente en España la ganadería contribuye, junto con la fertilización inorgánica, a un importante excedente de N en los ecosistemas agrarios. Por tanto, el papel de la ganadería sobre el medio ambiente debe considerarse de forma integrada con otros sectores.

Adicionalmente, las deyecciones ganaderas son fuente importante de emisiones gaseosas, principalmente amoniaco (NH_3) y GEI como el metano (CH_4) o el N_2O, sobre las cuales existen compromisos internacionales de reducción como la Directiva Techos (DOUE, 2016) para el NH_3 o el Acuerdo de París para las

emisiones de GEI. En España, cerca del 70 % de las emisiones de NH_3 están relacionadas con la actividad ganadera, tanto por las emisiones en la propia granja como en la aplicación de los estiércoles a campo (MITECO, 2019). Las granjas porcinas y avícolas supusieron en 2017 un 17 % y 8 % del total de emisiones de NH_3 a la atmósfera, respectivamente, sin contar las emisiones de la aplicación de los estiércoles a campo. Respecto a los GEI, las emisiones directas del ganado suponen un porcentaje relativamente bajo, pero relevante: cerca de 24 millones de toneladas de CO_2 equivalente lo que representa, aproximadamente, un 6 % del total de las emisiones asociadas a la actividad humana en España (MITECO, 2019). El CH_4 es el principal GEI emitido por la ganadería. El ganado porcino, a pesar de tener una reducida emisión de CH_4 de origen entérico, tiene una elevada emisión de CH_4 asociada a la gestión de los purines, totalizando unos 6,2 millones de toneladas de CO_2 equivalente en 2017 (MITECO, 2019). Por el contrario, las aves tienen un sistema digestivo y un tipo de estiércol que no favorecen la emisión de CH_4, y su contribución es muy inferior al porcino (MITECO, 2019).

Numerosos estudios en la literatura evidencian que existe una relación directa entre la alimentación, excreción de nutrientes y emisión de gases a partir de las excretas en porcino y aves. Esta relación se basa en la asunción de que la composición de los piensos es capaz de modificar el comportamiento digestivo de los animales y, con ello, el aprovechamiento de los nutrientes (digestibilidad) y la capacidad de fermentación intestinal. Estas modificaciones afectarán a la composición y características del purín y, con ello, a las emisiones de gases.

En la tabla 1 se muestran algunos de los trabajos más relevantes publicados hasta el momento donde se relaciona el tipo de dieta (variación en ingredientes/nutrientes) con las emisiones de NH_3 y CH_4 a partir de las excretas de porcino y aves. A nivel particular para cada uno de los nutrientes del pienso, estos trabajos sugieren que la relación entre la composición de los piensos, las excretas y las emisiones de gases derivadas puede ser muy compleja. El nutriente más evaluado hasta el momento y que muestra una relación más directa con las emisiones de gases a partir del purín es la proteína bruta (PB) o N. Es ampliamente reconocido que el contenido en PB del pienso está directamente relacionado con la excreción de N ureico y, por tanto, con las emisiones de NH_3 (Ferguson *et al.*, 1998; Portejoie *et al*., 2004; Sajeev *et al*., 2018; Lemme *et al.*, 2019). Se estima que por cada unidad porcentual de reducción de la ingesta de PB las emisiones de NH_3 pueden reducirse entre un 8-9 % de promedio en porcino y ponedoras alimentados con piensos con niveles moderados de PB (entre 12 % y 20 % en porcino, 11,5 % y 15,0 % en gallinas reproductoras, (Portejoie *et al*., 2004; van Emous *et al*., 2019). En el caso de pollos broiler, esta reducción podría ser mayor ya que parten de niveles de proteína superiores en los piensos. En este sentido, Ferguson *et al*. (1998) reportan una reducción de alrededor de un 16 % en las emisiones al bajar el nivel de PB del 21,5 % al 19,6 % en los piensos. Esta evidencia es tan sólida, que la reducción del contenido de PB de los piensos para reducir la excreción de N (suplementando con aminoácidos sintéticos, AA) es una de las estrategias alimentarias de reducción de emisiones propuesta por la Comisión Europea en las Conclusiones de Mejores Técnicas Disponibles (DOUE, 2017).

En referencia a otros nutrientes del pienso como la fibra o la grasa, su relación con las emisiones de gases a partir de las excretas es menos consistente. Un aumento de la fibra en la dieta parece tener un efecto mitigador en las emisiones de NH_3 procedentes de las excretas tanto en porcino como en gallinas

Tabla 1. Efectos de la inclusión de ingredientes o variación en los nutrientes de piensos de porcino y aves sobre las emisiones de amoniaco (NH_3) y metano (CH_4) derivadas de las excretas.
Table 1. Effects of different ingredient inclusion or nutrient variation in pigs and poultry feeds on ammonia (NH_3) and methane (CH_4) emission from excreta.

Referencia	Especie	Nutriente/Ingrediente[1]	Efectos sobre emisiones de NH_3[2]	Efectos sobre emisiones de CH_4 [2, 3]
Ferguson *et al.* (1998)	Broiler	Proteína bruta	+	Nd
Canh *et al.* (1998)	Porcino	Fibra fermentable (pulpa de remolacha)	–	Nd
Portejoie *et al.* (2004)	Porcino	Proteína bruta	+	Nd
Leek *et al.* (2004)	Porcino	Grasa (aceite de palma, aceite de soja)	No afecta	Nd
Roberts *et al.* (2007)	Gallina ponedora	Proteína bruta y fibra (DDGS maíz, harinilla de triga y cascarilla de soja)	Proteína bruta: no afecta Fibra: –	Nd
O'Shea *et al.* (2009)	Porcino	Proteína bruta y fibra fermentable (pulpa de remolacha)	Fibra: – Proteína bruta: +	Nd
Wu-Haan *et al.* (2010)	Gallina ponedora	Fibra (DDGS)	–	Nd
Hernández *et al.* (2011)	Porcino	Proteína bruta (niveles comerciales)	+	Nd
Jarret *et al.* (2011)	Porcino	Proteína bruta y fibra (DDGS, pulpa de remolacha, harina de colza)	Proteína bruta: + Fibra: –	Fibra: No afecta (/L purín); + (/animal)
Jarret *et al.* (2012)	Porcino	Fibra (DDGS y harina de colza)	–	No afecta
Yusrizal *et al.* (2013)	Gallina ponedora	Harina de palma	–	Nd
Li *et al.* (2014)	Gallina ponedora	Fibra (DDGS)	–	+
Antezana *et al.* (2015)	Porcino	Grasa (jabón cálcico) y fibra (pulpa cítrica)	Grasa: – Fibra: no afecta	Grasa: + Fibra: –

Fuente: elaboración propia.

[1] DDGS: granos secos de destilería con solubles.

[2] +: la emisión aumenta con el aumento/inclusión del nutriente/ingrediente, –: la emisión se reduce con el aumento/inclusión del nutriente/ingrediente.

[3] Nd: no determinado.

Tabla 1. Efectos de la inclusión de ingredientes o variación en los nutrientes de piensos de porcino y aves sobre las emisiones de amoniaco (NH_3) y metano (CH_4) derivadas de las excretas (continuación).
Table 1. Effects of different ingredient inclusion or nutrient variation in pigs and poultry feeds on ammonia (NH_3) and methane (CH_4) emission from excreta (continuation).

Referencia	Especie	Nutriente/Ingrediente[1]	Efectos sobre emisiones de NH_3[2]	Efectos sobre emisiones de CH_4 [2, 3]
Beccaccia *et al.* (2015)a	Porcino	Fibra fermentable e insoluble (pulpa cítrica, harina de garrofa)	–	–
Beccaccia *et al.* (2015)b	Porcino	Fuente de proteína (harina de soja, harina de girasol, DDGS)	Harina de soja < Harina de girasol DDGS intermedios	Harina de soja < Harina de girasol DDGS intermedios
Rubayet-Bostami *et al.* (2017)	Broiler	Grasa (aceite de soja, grasa de aves, sebo, manteca y sebo, manteca de cerdo)	Menores con aceite de soja y grasa de aves	Nd
Ferrer *et al.* (2018a)	Porcino	Fibra insoluble (pulpa de aceituna)	–	No afecta
Ferrer *et al.* (2020)	Porcino	Fibra insoluble (pulpa de aceituna)	No afecta	No afecta
Ferrer *et al.* (2018b)	Porcino	Fibra fermentable (pulpa cítrica)	–	–
Reza *et al.* (2018)	Porcino	Proteína bruta y fibra bruta	Proteína bruta: +	Fibra: + (tendencia)
Lemme *et al.* (2019)	Broilers	Proteína bruta	+	Nd
Shabani *et al.* (2019)	Broilers	Fuente de proteína (ensilado de pescado *vs.* harina de soja)	ensilado pescado < harina soja	Nd
Van Emous *et al.* (2019)	Gallinas reproductoras pesadas	Proteína bruta	+	Nd

Fuente: elaboración propia.

[1] DDGS: granos secos de destilería con solubles.

[2] +: la emisión aumenta con el aumento/inclusión del nutriente/ingrediente, –: la emisión se reduce con el aumento/inclusión del nutriente/ingrediente.

[3] Nd: no determinado.

ponedoras (Roberts *et al*., 2007; Wu-Haan *et al*., 2010; Jarret *et al*., 2012; Li *et al*., 2014; Beccaccia *et al*., 2015a; Ferrer *et al*., 2018a). Contrariamente a lo que se ha sugerido hasta el momento, estudios realizados en nuestro grupo de investigación indican que este efecto podría ser independiente del tipo de fibra (soluble o insoluble) (Beccaccia *et al*., 2015a). Sin embargo, el mecanismo de acción que subyace podría ser diferente para las diferentes fuentes de fibra. En el caso de la fibra soluble, esta sería utilizada por los microorganismos intestinales, incrementando la proporción de N en heces (proteína microbiana) y reduciendo la cantidad de N eliminado por orina (N ureico) y, en consecuencia, las emisiones de NH_3 del purín (Canh *et al*., 1998; Beccaccia *et al*., 2015a). Además, algunos autores reportan una reducción del pH de la orina como consecuencia de la inclusión de fibra soluble que favorecería la reducción de las emisiones de NH_3. En el caso de la fibra insoluble, sin embargo, una reducción significativa de la digestibilidad de nutrientes, la PB entre ellos, incrementaría la presencia de N en las heces reduciendo N en orina (Beccaccia *et al*., 2015a). La fibra en la dieta parece también ejercer un efecto sobre las emisiones de CH_4 del purín, aunque este efecto ha sido menos estudiado y es muy variable. Algunos estudios sugieren una reducción en el potencial de emisión de CH_4 expresado en ml/g materia orgánica (de entre un 10 % y un 20 % aproximadamente) con la incorporación de subproductos fibrosos como la harina de colza en piensos de porcino (Torres-Pitarch *et al*., 2014; Jarret *et al.,* 2011). Sin embargo, otros no observan diferencias claras en la emisión de CH_4 con la incorporación de DDGS o harina de colza (Jarret *et al*., 2012) o incluso sugieren aumentos en gallinas ponedoras (Li *et al*., 2014). En relación a los efectos del nivel de grasa, el número de trabajos que estudian la relación entre la grasa en las excretas y las emisiones de gases es escaso. Una de las posibles razones para creer que este nutriente no tiene importancia en heces es que, generalmente, su digestibilidad en piensos suele ser elevada (>90 %) y, por lo tanto, su presencia en heces es baja. Sin embargo, el potencial calorífico de la grasa es muy elevado. En estudios en los que se utilizaron grasas menos digestibles en piensos (Antezana *et al*., 2015; Rubayet-Bostami *et al*., 2017) se sugiere que la grasa en el purín puede potenciar las emisiones de CH_4, al contrario de lo que sucede a nivel de rumen en el que un aporte de grasa inhibe algunas poblaciones bacterianas y la producción de CH_4 entérico.

Resultados obtenidos en el marco de experimentos llevados a cabo por nuestro grupo de investigación demuestran que el efecto de la alimentación en las emisiones de gases puede ser evidente incluso a nivel de suelo. En este sentido, se ha observado que los purines obtenidos de animales alimentados con piensos ricos en fibra fermentable (pulpa cítrica) son capaces de reducir la emisión de CH_4 y N_2O al ser aplicados al suelo (Sánchez-Martín *et al*., 2017).

Más allá de los niveles y tipo de nutrientes, también ciertos aditivos o compuestos bioactivos (aceites esenciales, polifenoles, antioxidantes…) muestran capacidad para reducir las emisiones de gases. Su potencial efecto modulador de la microbiota o sobre la digestibilidad de los nutrientes podrían explicar estos efectos.

Por lo tanto, la relación entre la alimentación, la composición de las excretas y las emisiones de gases derivadas es evidente, aunque su interpretación, especialmente en el caso de los efectos de la fibra y la grasa, es compleja y sujeta a numerosas interacciones. Factores como el tipo/composición de estos nutrientes, su interacción con otros nutrientes de la dieta y la incapacidad, a menudo, de separar los efectos de cada nutriente son al-

gunos de los responsables de esta complejidad. Es necesario, por lo tanto, profundizar en el conocimiento de esta relación, prestando especial atención a las interacciones entre nutrientes y a los procesos físico-químicos y microbiológicos que desencadenan estas emisiones, con el objetivo de poder sumar nuevas estrategias alimentarias basadas en la composición química de las dietas para reducir el impacto ambiental de la ganadería.

Estrategias de alimentación para mitigar el impacto ambiental de la ganadería intensiva

A nivel legal, la adopción de medidas nutricionales para mitigar el impacto ambiental de la ganadería intensiva de cerdos y aves es ya una realidad, a través de la publicación de la Decisión de Ejecución de la Comisión Europea 2017/302 por la que se establecen las conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) en el marco de la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo (DOUE, 2017). Esta Decisión obliga a que el sector adopte estrategias entre las que se incluyen la reducción de los niveles de proteína y la utilización de aditivos en piensos para mejorar la eficiencia de utilización de los nutrientes. Esta publicación es el principio de un previsible recorrido legal que se endurecerá en el futuro.

En base a los conocimientos científicos actuales y la tecnología disponible, en este apartado se destacan algunas de las estrategias de alimentación más relevantes que pueden contribuir a mitigar el impacto ambiental de la ganadería intensiva. Estas se basan fundamentalmente en: 1) reducir el impacto ambiental de la fabricación de piensos; 2) reducir la excreción de nutrientes; 3) mejorar la salud de los animales.

Reducción del impacto ambiental de la fabricación de piensos

Tal y como ya se ha comentado, la elección de las materias primas que forman parte de los piensos incide directamente en la sostenibilidad económica, ambiental y social de la ganadería. En la actualidad, los piensos se formulan obedeciendo principalmente a criterios productivos y económicos. Otros aspectos ambientales y sociales no son habitualmente contemplados en la toma de decisiones a la hora de formular piensos. Sin embargo, ya son numerosos los trabajos científicos que aportan información sobre el impacto ambiental de una gran variedad de materias primas utilizadas en piensos a través del cálculo del LCA (Wilfart *et al*., 2016; Mackenzie *et al*., 2016; Garcia-Launay *et al*., 2018), por lo que la posibilidad de incluir esta información en las matrices de formulación está cada vez más cerca. Disponer de estas bases de datos es el primer paso para poder formular con criterios ambientales. Sin embargo, en estos mismos trabajos se destaca la importancia de estandarizar las metodologías de cálculo de LCA y adaptar los cálculos a las circunstancias de cada país para aumentar su fiabilidad y precisión.

Los resultados de algunos de los trabajos más completos en este sentido permiten clasificar los ingredientes en varios grupos según su impacto ambiental (Wilfart *et al*., 2016): 1) Alto impacto: incluye ingredientes de origen industrial como los AA sintéticos, vitaminas y el aceite de soja. El nivel de inclusión de estos ingredientes en los piensos es bajo, y también lo es el margen de sustitución por otros con menor impacto; 2) Bajo impacto: incluye subproductos provenientes directamente del campo o de las industrias. Debido a la baja necesidad de inputs que tiene el sistema para su producción (son productos secundarios derivados de otras producciones principales), su impacto ambiental en los pien-

sos puede ser menor, especialmente si se trata de subproductos de proximidad, es decir, producidos cerca de las fábricas de pienso y explotaciones. Son, por lo tanto, materias primas con las que se podría reducir el impacto ambiental de los piensos; 3) Impacto variable: en este grupo se sitúan la mayor parte de los ingredientes habituales en los piensos de porcino y aves, tales como los cereales y las oleaginosas. El impacto de estas materias primas depende de las prácticas de cultivo (fertilización, riego…) en el lugar de origen, disponibilidad local y contenido en nutrientes, entre otros factores.

Con esta información, *a priori*, las mejores opciones para reducir el impacto ambiental de los piensos son la utilización de subproductos (en sustitución de otras materias primas más contaminantes) y la elección de cereales y oleaginosas con menor impacto ambiental, o incluso su sustitución por materias primas alternativas más sostenibles. En el caso de los cereales, conocer bien las características de cada cultivo es esencial ya que pequeñas sustituciones entre cereales pueden mejorar sustancialmente la sostenibilidad ambiental de los piensos sin diferencias notables en parámetros nutricionales y, en ocasiones, apenas variaciones en precio del pienso (van der Werf *et al.*, 2005). Con respecto a las oleaginosas, como ya se ha comentado, debido a la necesidad de importación y su relación con la deforestación, el uso de soja puede incrementar el impacto ambiental de los piensos. En Europa, estrategias como la optimización de la fertilización de los cultivos, el uso de ingredientes producidos a nivel local, el uso de trigo *vs.* maíz y la sustitución de soja por otras materias primas proteicas locales como la harina de colza pueden mejorar la huella ambiental de la fabricación de piensos (van der Werf *et al*., 2005; Garcia-Launay *et al.*, 2018; Tallentire *et al*., 2018). Además, a nivel general se establece que cuanto mayor sea la variedad de materias primas disponibles, mayor será la capacidad de cada región para aumentar la sostenibilidad de los piensos (Tallentire *et al*., 2017).

Merece la pena destacar que, en el caso de los AA sintéticos, su inclusión en los piensos de porcino y aves permite reducir el nivel de PB y, con ello, la excreción de N y emisión de NH_3, si afectar a los rendimientos productivos (Kebreab *et al*., 2016). Por todo ello, a pesar de ser ingredientes de alto impacto, su uso contribuye a mejorar su sostenibilidad de la ganadería.

En lo que respecta a la utilización de subproductos, su valorización en alimentación animal forma parte del concepto de "Economía Circular" basado en el reciclaje de materiales con el fin de cerrar los ciclos de nutrientes, que promueve la Comisión Europea con fines medioambientales y económicos en su Plan de Acción para la Economía Circular. Tanto por su condición de producto secundario a una actividad principal como por su carácter generalmente local, su aprovechamiento en alimentación animal contribuye a la reducción del impacto ambiental de los piensos (Schader *et al*., 2015; Wilfart *et al*., 2016; Salemdeeb *et al*., 2017; Lassaletta *et al*., 2019) y el aumento del desarrollo local de la ganadería, además de ser una vía de eliminación de "residuos" para las industrias. Otro aspecto importante de los subproductos es que generalmente no compiten con alimentación humana, lo que les confiere ventajas sociales y económicas (Schader *et al.*, 2015; Lassaletta *et al*., 2019) frente a los cereales y la soja, por ejemplo, quienes pueden ser ingredientes principales en la dieta humana.

España, por su tradición agrícola, es una gran productora de subproductos agroindustriales procedentes de la industria agroalimentaria y potencialmente utilizables en alimentación animal como la pulpa de aceituna, pulpa cítrica, bagazo de cerveza, subproductos del vino y del procesado de cereales. Además, es tam-

bién relevante la producción de subproductos procedentes de la industria energética (producción de biocombustibles) como la harina/torta de colza o girasol y los granos secos de destilería (DDGS), aunque la disponibilidad de éste último en Europa es baja, que principalmente aportan proteína en los piensos y raciones. En el afán de reducir la dependencia por la soja y aliviar el déficit proteico de la UE, se está potenciando el cultivo de otras oleaginosas como camelina (Ferrer *et al*., 2019a) o de leguminosas grano como fuentes proteicas alternativas. También en este sentido, se está trabajando con otras fuentes de proteína alternativas en la UE como la harina de insectos, microalgas o los aislados de proteína microbiana que pueden llegar a convertirse en fuentes de proteína sostenibles en la UE a corto-medio plazo (Tallentire *et al*., 2018; revisado por Pinotti *et al*., 2019).

Pese a sus ventajas medioambientales, existen todavía importantes limitaciones de carácter nutricional y logístico, que impiden el uso óptimo y generalizado de algunos subproductos en piensos de aves y porcino como son: 1) un conocimiento insuficiente de su valor nutricional; 2) la elevada variabilidad en su composición; 3) su generalmente elevado contenido en fibra y la presencia de factores antinutricionales (FAN) que pueden afectar a la digestibilidad de los nutrientes; 4) la limitada disponibilidad de algunos subproductos debido a su estacionalidad o baja producción (por ejemplo en el caso de las nuevas fuentes de proteína) y 5) la necesidad de transformación o adecuación de muchos de ellos para ser utilizados por las fábricas de pienso (ej. deshidratación, peletización…). En términos prácticos, para poder utilizar subproductos agroindustriales con garantías es fundamental conocer con precisión su valor nutricional y el nivel óptimo de inclusión en piensos ya que, por su naturaleza fibrosa, su inclusión a niveles no óptimos podría reducir la digestibilidad de los nutrientes, y comprometer sus ventajas ambientales (Beccaccia *et al*., 2015a; Ferrer *et al*., 2018a; Ferrer *et al*., 2020).

Por lo tanto, aunque la información existente para poder formular piensos con criterios de sostenibilidad es cada vez mayor, este campo aún requiere un importante esfuerzo a nivel de investigación y tecnología para conseguir una implementación práctica con garantías. Por otro lado, existen cada vez más evidencias (la crisis del COVID-19 la más reciente) que nos recuerdan que el mercado de las materias primas puede ser muy volátil y que poder contar con materias primas producidas a nivel local y, prácticamente, sin competencias en alimentación humana como los subproductos puede ser parte del futuro de la alimentación animal. Por lo tanto, es de esperar que su uso se vea incrementado en los próximos años.

Reducción de la excreción de nutrientes

En general, el riesgo ambiental de las deyecciones ganaderas es mayor a medida que su volumen y contenido en nutrientes es más elevado. Para minimizar este riesgo es necesario optimizar el aporte y el uso de los nutrientes dentro de los diferentes sistemas ganaderos, ya sea mediante un mayor ajuste a las necesidades reales de los animales o un aumento de la digestibilidad de los nutrientes, tal y como se describe a continuación.

Ajuste del aporte de nutrientes a las necesidades reales de los animales: alimentación de precisión

La alimentación de precisión es un concepto que está ganando importancia en la producción de porcino y aves debido a su vinculación con un aumento de la eficiencia y bienestar animal y la reducción de los costes de alimentación e impacto ambiental (Andretta *et al*., 2016; Zuidhof *et al*., 2017; revisado por Pomar y Remus, 2019). El objetivo de la

alimentación de precisión es mejorar el ajuste de los aportes nutricionales a las necesidades reales de los animales. En general, en los actuales sistemas de alimentación se proporciona el mismo pienso a todos los animales de la misma condición (fase fisiológica) durante largos períodos de tiempo (por ejemplo, más de 3 meses en cerdas gestantes, 30 días en cerdos de cebo, 10-15 días en pollos broiler o varios meses en gallinas ponedoras). Sin embargo, las necesidades reales de nutrientes de los animales pueden cambiar casi diariamente en algunas fases fisiológicas ya que son enormemente dependientes del nº parto, peso y sexo, entre otros (revisado por Solà-Oriol y Gasa, 2017). Cuanto mejor sea el ajuste de los aportes nutricionales a las necesidades reales de los animales menor será la cantidad de nutrientes excretados y el impacto ambiental de las deyecciones. A modo de ejemplo, estudios recientes indican que la adaptación diaria individual de las dietas a las necesidades en cerdos de cebo reduce la ingesta de lisina en más del 25 %, los costes de alimentación en más del 10 % por animal, la excreción de N y P en un 30 % y 14 %, respectivamente (Andretta *et al*., 2016). Además, este tipo de alimentación tiene otras consecuencias ambientales como son la reducción del impacto sobre el cambio climático y el potencial de eutrofización y acidificación del medio en un 6 % y un 5 %, respectivamente (Andretta *et al*., 2018). La aplicación práctica de la alimentación de precisión en granjas comerciales requiere: 1) conocer de manera precisa las necesidades reales de los animales y sus variaciones en función de la edad, fase fisiológica, peso, sexo, línea genética, tipo de alojamiento, condiciones ambientales, condiciones sanitarias, entre otros; 2) conocer de manera precisa el valor nutricional de los ingredientes utilizados en los piensos; 3) fabricar piensos de manera precisa acorde a la composición real las materias primas; 4) disponer de equipos de medición a tiempo real para monitorizar el peso y consumo de los animales, así como las condiciones ambientales de las naves (temperatura, humedad, gases); 5) disponer de sistemas de alimentación que permitan individualizar la alimentación (por animal o por grupo).

En este sentido, las tablas de necesidades y recomendaciones nutricionales publicadas por organismos como National Research Council (NRC), the Central Bureau for Livestock Feeding (CVB) y la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA), son cada vez más precisas y ya tienen en cuenta factores como la genética y la fase de producción para establecer recomendaciones, aunque otros factores importantes como el número de parto o el sexo aún no se contemplan. Así mismo, como resultado de un importante esfuerzo realizado por la comunidad científica en los últimos años, la disponibilidad de datos de valor nutricional de materias primas en forma de nutrientes digestibles verdaderos (energía neta, digestibilidad ileal estandarizada para AA y minerales) es cada vez mayor, lo que aumenta la precisión en la formulación de raciones. En cuanto a la tecnología que acompaña a la fabricación de los piensos y los sistemas de alimentación de precisión, a nivel de la industria de fabricación de piensos es ya posible implementar medidas de análisis rápido de materias primas mediante tecnología NIR online, para un mayor ajuste de las formulaciones al valor real de los nutrientes de cada materia prima. Igualmente, el desarrollo de sistemas de alimentación individualizada para todas las fases de crecimiento en aves y porcino está siendo importante en la actualidad, aunque éstos todavía no están plenamente disponible a nivel comercial. Por todo ello, la alimentación de precisión está cada vez más cerca de ser una realidad en las explotaciones de porcino y aves.

Sin embargo, aunque la implementación de los sistemas de alimentación individualizada permitirá avanzar en la puesta en práctica de

la nutrición de precisión, los expertos indican que el fin último para una verdadera alimentación de precisión es la nutrición personalizada (Zuidhof *et al*., 2017; revisado por Pomar y Remus, 2019). Para hacerla posible, el futuro de la alimentación de precisión requerirá la búsqueda de biomarcadores del perfil metabólico y microbiota intestinal que permitan evaluar, de manera personalizada, el balance nutricional, eficiencia y bienestar de los animales y ajustar los aportes nutricionales a cada caso.

Incremento de la digestibilidad de los piensos

Hoy por hoy no es posible formular piensos 100 % aprovechables por los animales, pero si es posible adoptar medidas para maximizar su biodisponibilidad y reducir la presencia de nutrientes en las heces y orina. Entre estas medidas se encuentran: 1) formular piensos con materias primas más digestibles y 2) aumentar la digestibilidad de las materias primas y piensos mediante el uso de tecnología.

1) Digestibilidad intrínseca de las materias primas: La digestibilidad de los diferentes nutrientes puede ser muy variable según la materia prima de la que se trate. Lógicamente, una mayor digestibilidad de las materias primas implica una mayor digestibilidad del pienso y un menor volumen de excretas, nutrientes excretados y potencial contaminante asociado. En general, las materias primas con un mayor contenido en fibra y/o FAN o que han sido sometidas a tratamientos por calor, como ocurre con algunos subproductos agroindustriales, pueden presentar una menor digestibilidad de sus nutrientes y aumentar el volumen de excretas (Jarret *et al*., 2012; Beccaccia *et al*. 2015a; Ferrer *et al*., 2018a), reduciendo así la ventaja ambiental que les confiere el hecho de ser subproductos. Sin embargo, esto no es siempre así y depende de la materia prima en cuestión. A modo de ejemplo, estudios recientes en nuestro grupo de investigación (Beccaccia *et al*., 2015a; Ferrer *et al*., 2018a; Ferrer *et al*., 2018b) indican que la inclusión de subproductos fibrosos como la pulpa de aceituna o la pulpa cítrica a niveles elevados (20-50 %) en piensos de porcino reducen las emisiones de NH_3/L de purín. A estos niveles de inclusión, la pulpa de aceituna reduce de manera significativa la digestibilidad de los nutrientes y aumenta el volumen de excretas (Ferrer *et al*., 2018a). Sin embargo, la pulpa cítrica apenas modifica el volumen de excretas, probablemente por el tipo de fibra que contiene (soluble y fermentable). Por lo tanto, a nivel global, la ventaja ambiental de la reducción de las emisiones de NH_3 será únicamente real para el caso de la pulpa cítrica. En este sentido, muchos de los trabajos que relacionan la alimentación y las emisiones de gases de las excretas obvian el dato de la digestibilidad y cantidad de excreta, que es fundamental para interpretar el éxito de una estrategia de alimentación para reducir el impacto ambiental.

Por lo tanto, es importante señalar que más allá de únicamente considerar su origen y método de obtención, conocer la digestibilidad de las materias primas y sus efectos sobre el pienso es clave para estimar su verdadera implicación en la sostenibilidad global de un pienso.

2) Mejora de la digestibilidad mediante tecnología: pretratamientos y uso de enzimas: La aplicación de determinadas condiciones de molienda (martillos o rodillos), tratamientos de deshidratación o hidrotérmicos (peletización, extrusión, expansión…) o incluso biológicos de las materias primas pueden mejorar su contenido en nutrientes digestibles para porcino y aves, especialmente interesante cuando se trata de materias primas fibrosas (revisado por de Vries *et al*., 2012; Rojas y Stein, 2017; Kiarie y Mills, 2019 y Olukomaiya *et al*., 2019). Igualmente, el uso de enzimas exógenas y otros aditivos constituye una estrategia tecnológica ya habitual hoy en día para mejorar la utilización digestiva de los nutrientes del pienso (revisado por Rojas y Stein, 2017 y Raza *et al*., 2019).

En cuanto a la molienda, es bien conocido que la reducción del tamaño de partícula de los ingredientes mejora la digestibilidad de sus nutrientes (revisado por Amerah *et al*., 2007; Vukmirovi *et al*., 2017 y Kiarie y Mills, 2019). Sin embargo, una excesiva presencia de partículas finas puede ser perjudicial para la salud digestiva en porcino y aves. En general, se consideran óptimos tamaños de partícula entre 500-1600 µm en porcino y entre 600-900 µm en broilers (revisado por Amerah *et al*., 2007 y Vukmirovi *et al*., 2017), aunque esto puede variar según la forma de presentación del pienso. En aves, sin embargo, es cada vez más evidente que por su fisiología digestiva, estimular la actividad de la molleja con presentaciones más groseras puede tener beneficios a nivel de digestibilidad de nutrientes y reducción de emisiones de NH_3 (Kheravii *et al*., 2017; Wang-Li *et al*., 2020). En cuanto a los tratamientos hidrotérmicos, la peletización de los piensos ofrece innumerables ventajas en relación a la higienización del pienso, la ingestión y la digestibilidad de la energía de los piensos (revisado por Vukmirovi *et al*., 2017 y Kiarie y Mills, 2019). Tratamientos más agresivos como son la expansión o la extrusión pueden promover la solubilización de la fibra y mejorar su digestibilidad (revisado por Rojas y Stein, 2017). Sin embargo, además de que en la mayoría de ocasiones no son justificables en términos económicos y medioambientales, estos tratamientos pueden perjudicar la digestibilidad de otros nutrientes como la PB y AA y aumentar la viscosidad de la digesta, aspecto fundamental para la digestibilidad de los nutrientes en las aves (Almeida *et al*., 2013; revisado por de Vries *et al*., 2012).

Al margen de los tratamientos más convencionales, en los últimos años están ganando protagonismo los tratamientos biológicos como la biotransformación mediante fermentación sólida de materias primas, también especialmente interesante en aquellas más fibrosas y proteicas (revisado por Ajila *et al*., 2012 y Olukomaiya *et al*., 2019). Se trata de un proceso sencillo en el que un material orgánico es fermentado sin presencia de líquido. Entre sus ventajas más importantes se encuentra el aumento del contenido y disponibilidad de la proteína principalmente y, en ocasiones, también el aumento del contenido lipídico de las materias primas (Ahmed *et al*., 2014; Aljuobori *et al*., 2017). Además, esta tecnología reduce el contenido lignocelulósico (fibra) de las materias primas y es capaz de aumentar de la biodisponibilidad de los nutrientes y reducir el contenido en factores antinutricionales como el ácido fítico, polifenoles y taninos (Shi *et al*., 2017). Todas estas características la hacen ideal para el tratamiento y mejora del valor nutricional de subproductos fibrosos como la pulpa de manzana, cítrica o el bagazo de cerveza, aunque también se utiliza en otras materias primas proteicas como la harina de soja o las leguminosas grano (revisado por Olukomaiya *et al*., 2019).

Por otro lado, el uso de aditivos como las enzimas exógenas para mejorar la digestibilidad de los piensos está ya muy extendido en alimentación de porcino y aves. Aunque la función principal de las enzimas es tratar de mejorar la digestibilidad de los nutrientes de los piensos mediante hidrólisis directa, también se les atribuyen funciones como mejorar la palatabilidad de los piensos, reducir la viscosidad intestinal, modificar el lugar de digestión de algunos nutrientes y modular las poblaciones microbianas del intestino (revisado por Ajila *et al*., 2012; Cowieson y Roos, 2016 y Raza *et al*., 2019). Entre las más utilizadas hoy en día se encuentran las fitasas, amilasas, β-glucanasas y xylanasas, que contribuyen a mejorar la digestibilidad del P de los cereales, almidón y fibra, respectivamente.

La efectividad de las fitasas se ha ido incrementando con el tiempo. Las nuevas generaciones de fitasas disponibles a nivel comercial

son capaces de reemplazar hasta 2,0 g/kg de P inorgánico del fosfato monocálcico o bicálcico utilizado en piensos de aves, cuando se utilizan a dosis de entre 250 FTU/kg y 1000 FTU/kg de pienso (Dersjant-Li *et al*., 2020). Además, la mayoría de fitasas presentan demostrados efectos extra fosfóricos, tales como un incremento de la digestibilidad del Ca, energía, PB y AA, lo que contribuye a reducir la cantidad de estos nutrientes en las excretas. El efecto de las carbohidrasas sobre la digestibilidad de los nutrientes es, sin embargo, menos consistente. Su uso en dietas de aves que incluyen cereales, en especial trigo y cebada, es ya rutinario para reducir la viscosidad provocada por los β-glucanos y arabinoxilanos de los cereales y aumentar su digestibilidad. En porcino, sin embargo, los resultados publicados hasta el momento en la bibliografía son menos consistentes. Las principales razones que explicarían la falta de solidez de los resultados podrían ser la edad de los animales, la composición del pienso base o la eficacia de las diferentes enzimas, entre otras (revisado por Rojas y Stein, 2017; Kiarie y Mills, 2019). Tal y como sugieren algunos trabajos de revisión (de Vries *et al*., 2012 y Rojas y Stein, 2017), el uso de enzimas en combinación con los pretratamientos hidrotérmicos puede potenciar la efectividad de ambas tecnologías mejorando la digestibilidad de la fibra (entre 1,5 y 6 veces más) y reduciendo la viscosidad de la digesta (entre 3 y 4 veces más) en comparación con únicamente el uso de enzimas. Es posible que los tratamientos térmicos realicen modificaciones en la pared celular de los ingredientes y mejoren la accesibilidad de los enzimas a los polisacáridos no amiláceos de la matriz. Otros trabajos van más allá y sugieren que las carbohidrasas son efectivas, pero para garantizar un óptimo funcionamiento es necesario conocer de manera precisa la composición en carbohidratos (a partir de técnicas de cromatografía, por ejemplo) del pienso o materias primas y adaptar el tipo o combinación de enzimas al sustrato a degradar (Jaworski *et al*., 2015). Este aspecto es sobre todo importante en materias primas fibrosas como los subproductos, en los que la matriz de carbohidratos puede ser muy compleja y difícil de abordar adecuadamente con las carbohidrasas convencionales. En este sentido, la inclusión de otras carbohidrasas como pectinasas, mannanasas y -galactosidasas en los complejos enzimáticos puede ser de interés de cara a ampliar su efectividad en estas materias primas (revisado por Menezes-Blackburn y Greiner, 2015).

Las proteasas, sin embargo, son enzimas relativamente nuevas en formato mono-enzima. Su disponibilidad en el mercado y uso en piensos es todavía bajo, a pesar de que sus efectos sobre la digestibilidad de los AA y reducción de la excreción de N son prometedores en aves y porcino (Cowieson *et al*., 2020; Yu *et al*., 2020). Un aumento en la precisión y especificidad de los complejos de carbohidrasas y el desarrollo y registro de nuevas proteasas parecen ser algunas de las tareas pendientes de la industria y la comunidad científica para los próximos años.

En definitiva, el desarrollo tecnológico alrededor de la mejora del aprovechamiento de los nutrientes en los sectores del porcino y aves se está convirtiendo en una pieza clave para mejorar la sostenibilidad de los piensos, especialmente cuando se utilizan materias primas fibrosas como los subproductos, que se espera cobren cada vez más importancia en los piensos.

Mejora de la salud gastrointestinal

La alimentación es un factor clave en la salud gastrointestinal de los animales y esta, a su vez, está directamente relacionada con la salud general, metabolismo y eficiencia productiva de los animales (revisado por Celi *et al*., 2017). Por lo tanto, la implementación de

estrategias nutricionales que garanticen una óptima salud gastrointestinal tendrá también efectos positivos sobre la sostenibilidad de la ganadería.

En términos de salud gastrointestinal, la microbiota representa el compromiso entre la funcionalidad de la barrera gastrointestinal, la síntesis de nutrientes beneficiosos, la obtención de energía a partir de componentes de la dieta y los efectos nocivos de la inflamación y enfermedad (revisado por Celi *et al*., 2017). La composición de la microbiota y los metabolitos producidos por las bacterias son vitales para el mantenimiento de una óptima salud intestinal. Algunas de las estrategias alimentarias que contribuyen a mantener o mejorar la salud intestinal de los animales son: 1) utilización de materias primas de calidad y adecuadas a cada tipo animal para asegurar un aprovechamiento óptimo de los nutrientes; 2) incorporación de fuentes de fibra en los piensos; 3) utilización de aditivos y compuestos bioactivos y 4) utilización de alimentos fermentados, entre otras. Una adecuada selección de ingredientes acorde a la edad de los animales y una adaptación de los nutrientes aportados a las necesidades reales de los animales mediante alimentación de precisión es fundamental para garantizar una salud digestiva óptima. En este sentido, un exceso en el aporte de nutrientes en la dieta o una reducción de la digestibilidad de estos nutrientes puede provocar disbiosis e inflamación intestinal (revisado por Oviedo-Rondón, 2019). Numerosos estudios avalan, por ejemplo, que la presencia de PB en el tracto gastrointestinal puede provocar este tipo de problemas en cerdos y aves (Drew *et al*., 2004; Heo *et al.*, 2010). Por otro lado, el contenido en fibra de los alimentos está recibiendo en estos últimos años una elevada atención debido a su potencial efecto beneficioso sobre la salud intestinal (revisado por Celi *et al*., 2017 y Mahmood y Guo, 2020). Este efecto se basa, principalmente, en un efecto prebiótico que estimula el crecimiento de las bacterias comensales como las bifidobacterias o lactobacillus y previene la colonización de patógenos oportunistas como las enterobacterias como resultado de su fermentación (Moset *et al*., 2015; Kheravii *et al.*, 2017).

Por lo tanto, la fibra es capaz de modular el microbioma intestinal, mejorando la salud digestiva de los animales. Sin embargo, estos efectos pueden ser diferentes según el tipo de fibra ya que su composición condiciona el grado y lugar de fermentación. Para entender sus efectos y optimizar el uso funcional de la fibra es necesario conocer el impacto de la forma física, tipo y cantidad de fibra sobre la salud digestiva, así como su posible influencia sobre la actividad hepática y cerebral, como ya se ha descrito en algunos estudios (revisado por Mahmood y Guo, 2020).

Por otro lado, el uso de aditivos como los probióticos, ácidos y enzimas exógenos, así como la presencia de compuestos bioactivos (alcaloides, ácidos grasos esenciales, glicósidos, fenoles, taninos, péptidos y saponinas) en los piensos son capaces de modular las poblaciones microbianas en el tracto gastrointestinal (revisado por Kiarie *et al*., 2013; Romero *et al*., 2018; Ferrer *et al.*, 2019b) y mejorar la salud intestinal de los animales. En el caso concreto de las enzimas exógenas, su efecto modulador de la microbiota se ha descrito recientemente, junto con su consideración como posible alternativa a los antibióticos (revisado por Kiarie *et al*., 2013) por su capacidad de liberar nutrientes (sustratos) de los piensos que favorezcan poblaciones específicas de bacterias. Además, las enzimas son capaces de trasladar el lugar de la digestión a segmentos intestinales anteriores donde producirán oligosacáridos fermentables con un efecto beneficioso en el pH intestinal y la proliferación de enterocitos. Por su parte, los compuestos bioactivos identificados en algunas materias primas, como los

subproductos provenientes del procesado de frutas y verduras o incluso aislados de estos compuestos, son también capaces de modular la microbiota intestinal promoviendo las bacterias beneficiosas, el sistema inmune y la activación de numerosos genes relacionados con la salud (revisado por Kiarie *et al*., 2013; Romero *et al*., 2018; revisado por Oviedo-Rondón, 2019).

Por lo tanto, aunque la mayoría de estas estrategias se han desarrollado con la finalidad de minimizar el uso de antimicrobianos en el actual escenario europeo, algunos estudios demuestran ya como sus comentados efectos positivos sobre la salud intestinal repercuten directamente sobre la digestibilidad de los nutrientes, eficiencia y emisiones de gases contaminantes (Jeong *et al.*, 2019; Shabani *et al*., 2019; Liu *et al.*, 2020) y, en consecuencia, sobre la sostenibilidad ambiental de las explotaciones.

Conclusiones

La alimentación animal juega un papel clave en la sostenibilidad de la ganadería. La formulación de piensos sostenibles con el medio ambiente y la implementación de medidas para reducir el volumen de las deyecciones y la excreción de nutrientes se reconocen como estrategias viables para mitigar el impacto ambiental de la producción intensiva de porcino y aves. Estos sectores ya aplican de manera habitual medidas como la reducción del contenido en proteína de los piensos o el uso de aditivos para incrementar la digestibilidad de los piensos y salud de los animales. Sin embargo, otras medidas como la formulación con criterios ambientales o la implementación de los sistemas de alimentación de precisión se encuentran aún en fase de desarrollo y validación para ser utilizadas a nivel comercial. Probablemente, el éxito global de la alimentación como medida de mitigación del impacto ambiental de la ganadería radique en el uso de varias estrategias conjuntamente y el desarrollo de herramientas que integren información relativa al coste ambiental de las materias primas, la digestibilidad de los nutrientes, los potenciales de emisión de gases contaminantes a partir de las excretas y la productividad/eficiencia de los animales. Para ello, es fundamental continuar con los esfuerzos dedicados a la estandarización de las metodologías de cálculo de la huella ambiental y el avance en el conocimiento en la relación entre la alimentación, salud, eficiencia e impacto ambiental de la ganadería.

Referencias bibliográficas

Ahmed A, Zulkifli I, Farjam AS, Abdullah N, Liang JB, Awad EA (2014). Effect of solid state fermentation on nutrient content and ileal amino acids digestibility of canola meal in broiler chickens. Italian Journal of Animal Science 13: 3293. https://doi.org/10.4081/ijas.2014.3293

Ajila CM, Brar SK, Verma M, Tyagi RD, Godbout S, Valéro JR (2012). Bio-processing of agro-byproducts to animal feed. Critical Reviews in Biotechnology 32(4): 382-400. https://doi.org/10.3109/07388551.2012.659172

Aljuobori A, Idrus Z, Soleimani AF, Abdullah N, Juan Boo L (2017). Response of broiler chickens to dietary inclusion of fermented canola meal under heat stress condition. Italian Journal of Animal Science 16: 546e51. https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1292830

Almeida FN, Htoo JK, Thomson J, Stein HH (2013). Amino acid digestibility of heat damaged distillers dried grains with solubles fed to pigs. Journal of Animal Science and Biotechnology 4(1): 44. https://doi: 10.1186/2049-1891-4-44

Amerah AM, Ravindran V, Lentle RG, Thomas DG (2007). Feed particle size: Implications on the digestion and performance of poultry. World's Poultry Science Journal 63: 439-55. https://doi.org/10.1017/S0043933907001560

Andretta I, Pomar C, Rivest J, Pomar J, Radünz J (2016). Precision feeding can significantly reduce lysine intake and nitrogen excretion without compromising the performance of growing pigs. Animal 10: 1137-1147. https://doi.org/10.1017/S1751731115003067

Andretta I, Hauschild L, Kipper M, Pires PGS, Pomar C (2018). Environmental impacts of precision feeding programs applied in pig production. Animal 12(9): 1990-1998. http://dx.doi.org/10.1017/S1751731117003159

Antezana W, Calvet S, Beccaccia A, Ferrer P, de Blas C, García-Rebollar P, Cerisuelo A (2015). Effects of nutrition on digestion efficiency and gaseous emissions from slurry in growing pigs: III. Influence of varying the dietary level of calcium soap of palm fatty acids distillate with or without orange pulp supplementation. Animal Feed Science and Technology 209: 128-136. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.07.022

Beccaccia A, Calvet S, Cerisuelo A, Ferrer P, García-Rebollar P, de Blas C (2015a). Effects of nutrition on digestion efficiency and gaseous emissions from slurry in growing-finishing pigs. I. Influence of the inclusion of two levels of orange pulp and carob meal in isofibrous diets. Animal Feed Science and Technology 208: 158-169. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.07.008

Beccaccia A, Cerisuelo A, Calvet S, Ferrer P, Estellés F, de Blas C, García-Rebollar P (2015b). Effects of nutrition on digestion efficiency and gaseous emissions from slurry in growing pigs: II. Effect of protein source in practical diets. Animal Feed Science and Technology 209: 137-144. http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.07.021

BOE, (1996). Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. Boletín Oficial del Estado, núm. 61, de 11 de marzo de 1996, pp. 9734-9737.

Canh TT, Sutton AL, Aarnink AJA, Verstegen AWA, Schrama JW, Bakker GCM (1998). Dietary carbohydrates alter the fecal composition and pH and the ammonia emission from slurry of growing pigs. Journal of Animal Science 76: 1887-1895. https://doi.org/10.2527/1998.7671887x

Celi P, Cowieson AJ, Fru-Nji F, Steinert RE, Kluenter AM, Verlhac V (2017). Gastrointestinal functionality in animal nutrition and health: New opportunities for sustainable animal production. Animal Feed Science and Technology 234: 88-100. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.09.012

Comisión Europea (2020). EU+UK feed protein balance sheet – 2019-20. Disponible en: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming-fisheries/farming/documents/eu-uk-feed-protein-balance-sheet_2019-2020_en.pdf (consultado: 27 octubre 2020).

Cowieson AJ, Roos FF (2016). Toward optimal value creation through the application of exogenous mono-component protease in the diets of non-ruminants. Animal Feed Science and Technology 221: 331-340. http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.04.015

Cowieson AJ, Bhuiyan MM, Sorbara JOB, Pappenberger G, Pedersen MB, Choct M (2020). Contribution of individual broilers to variation in amino acid digestibility in soybean meal and the efficacy of an exogenous monocomponent protease. Poultry Science 99: 1075-1083. http://dx.doi.org/10.1016/j.psj.2019.10.001

Dersjant-Li Y, Archer G, Stiewert AM, Brown AA, Sobotik EB, Jasek A, Marchal L, Bello A, Sorg RA, Christensen T, Kim HS, Mejldal R, Nikolaev I, Pricelius S, Haaning S, Sørensen JF, de Kreij A, Sewalt V (2020). Functionality of a next generation biosynthetic bacterial 6-phytase in enhancing phosphorus availability to broilers fed a corn-soybean meal-based diet. Animal Feed Science and Technology 264: 114481. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114481

De Vries S, Pustjens A, Schols HA, Hendriks WH, Gerrits W (2012). Improving digestive utilization of fiber-rich feedstuffs in pigs and poultry by processing and enzyme technologies: A review. Animal Feed Science and Technology 178: 123-138. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.10.004

DOUE (2016). Directiva (UE) 2016/2284 del Parlamento Europeo y del Consejo de 14 de diciembre de 2016 relativa a la reducción de las emisiones nacionales de determinados contaminantes atmosféricos, por la que se modifica la Directiva

2003/35/CE y se deroga la Directiva 2001/81/CE. Diario Oficial de la Unión Europea L344, de 17 de febrero de 2016, pp. 1-31.

DOUE (2017). Decisión de Ejecución (UE) 2017/302 de la Comisión, de 15 de febrero de 2017, por la que se establecen las conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) en el marco de la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo respecto a la cría intensiva de aves de corral o de cerdos. Documento Oficial de la Unión Europea L43, de 21 de febrero de 2017, pp. 231-279.

Drew MD, Syed NA, Goldade BG, Laarveld B, Van Kessel AG (2004). Effects of dietary protein source and level on intestinal populations of *Clostridium perfringens* in broiler chickens. Poultry Science 83: 414-420. https://doi.org/10.1093/ps/83.3.414

FAO (2014). Towards a concept of sustainable animal diets: report based on the collated results of a survey of stakeholder views. FAO Animal Production and Health reports 7, Rome, Italia. 81 pp. Disponible en: http://www.fao.org/3/a-i4146e.pdf (consultado el 15 abril 2020).

FEFAC (2016). Vision on animal feed industry: A knowledge driven, reliable partner of a competitive livestock sector. Disponible en: http://www.fefac.eu/files/67547.pdf (consultado el 30 marzo 2020).

Ferguson NS, Gates RS, Taraba JL, Cantor AH, Pescatore AJ, Ford MJ, Burnham DJ (1998). The effect of dietary crude protein on growth, ammonia concentration, and litter composition in broilers. Poultry Science 77: 1481-1487. https://doi.org/10.1093/ps/77.10.1481

Ferrer P, García-Rebollar P, Cerisuelo A, Ibáñez MA, Rodríguez CA, Calvet S, de Blas C (2018a). Nutritional value of crude and partially defatted olive cake in finishing pigs and effects on nitrogen balance and gaseous emissions. Animal Feed Science and Technology 236: 131-140. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.12.014

Ferrer P, Calvet S, García-Rebollar P, de Blas C, Piquer O, Moset V, Cerisuelo A (2018b). Does the source of citrus pulp affect digestion in pigs? Advances in Animal Biosciences 9(S2): 482.

Ferrer P, Piquer O, Gómez EA, Gasa J, Cano JL, Cerisuelo A (2019a). Valor nutricional de los subproductos de *Camelina sativa* en porcino: resultados preliminares. XVIII Jornadas sobre Producción Animal, 7-8 de mayo, Zaragoza, España, pp. 239-241.

Ferrer P, Calvet S, Roca M, Cambra-López M, Cerisuelo A (2019b). Efecto de la inclusión de pulpa de naranja sobre los rendimientos productivos, los metabolitos fecales y el microbioma intestinal en cerdos de engorde. XVIII Jornadas sobre Producción Animal, 7-8 de mayo, Zaragoza, España, pp. 242-244.

Ferrer P, Calvet S, García-Rebollar P, de Blas C, Jiménez-Belenguer AI, Hernández P, Piquer O, Cerisuelo A (2020). Partially defatted olive cake in finishing pig diets: implications on performance, faecal microbiota, carcass quality, slurry composition and gas emission. Animal 14(2): 426-434. https://doi.org/10.1017/S1751731119002040

Garcia-Launay F, Dusart L, Espagnol S, Laisse-Redoux S, Gaudré D, Méda B, Wilfart A (2018). Multiobjective formulation is an effective method to reduce environmental impacts of livestock feeds. British Journal of Nutrition 120: 1298-1309. https://doi.org/10.1017/S0007114518002672

Heo JM, Kim JC, Hansen CF, Mullan BP, Hampson DJ, Pluske JR (2010). Feeding a diet with a decreased protein content reduces both nitrogen content in the gastrointestinal tract and post-weaning diarrhoea, but does not affect apparent nitrogen digestibility in weaner pigs challenged with an enterotoxigenic strain of *Escherichia coli*. Animal Feed Science and Technology 160: 148-159. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.07.005

Hernández F, Martínez S, López C, Megías MD, López M, Madrid J (2011). Effect of dietary crude protein levels in a commercial range, on the nitrogen balance, ammonia emission and pollutant characteristics of slurry in fattening pigs. Animal 5(8): 1290-1298. https://doi.org/10.1017/S1751731111000115

Jarret G, Cozannet P, Martinez J, Dourmad JY (2011). Effect of different quality wheat dried distiller's grain solubles (DDGS) in pig diets on composition of excreta and methane production from faeces and slurry. Livestock Science 140(1-3): 275-282. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.04.006

Jarret G, Cerisuelo A, Peu P, Martinez J, Dourmad JY (2012). Impact of pig diets with different fibre contents on the composition of excreta and their gaseous emission and anaerobic digestion. Agriculture, Ecosystems and Environment 160: 51-58. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.05.029

Jaworski NW, Lærke HN, Bach Knudsen KE, Stein HH (2015). Carbohydrate composition and *in vitro* digestibility of dry matter and nonstarch polysaccharides in corn, sorghum, and wheat and coproducts from these grains. Journal of Animal Science 93: 1103-1113. https://doi.org/10.2527/jas.2014-8147

Jeong YD, Ko HS, Hosseindoust A, Choi YH, Chae BJ, Yu DJ, Cho ES, Cho KH, Shim SM, Ra CS, Choi JW, Jang A, Kim YI, Kim JS (2019). *Lactobacillus*-based fermentation product and lactose level in the feed for weanling pigs: Effects on intestinal morphology, microbiota, gas emission, and targeted intestinal coliforms. Livestock Science 227: 90-96. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.06.018

Kiarie E, Romero LF, Nyachoti CM (2013). The role of added feed enzymes in promoting gut health in swine and poultry. Nutrition Research Reviews 26(1): 71-88. https://doi.org/10.1017/S0954422413000048

Kiarie EG, Mills A (2019). Role of feed processing on gut health and function in pigs and poultry: conundrum of optimal particle size and hydrothermal regimens. Frontiers in Veterinary Sciences 6: 19. https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00019

Kebreab E, Liedke A, Caro D, Deimling S, Binder M, Finkbeiner M (2016). Environmental impact of using specialty feed ingredients in swine and poultry production: A life cycle assessment. Journal of Animal Science 94: 2664-2681. https://doi.org/10.2527/jas.2015-9036

Kheravii SK, Swick RA, Choct M, Wu SB (2017). Coarse particle inclusion and lignocellulose-rich fiber addition in feed benefit performance and health of broiler chickens. Poultry Science 96: 3272-3281. http://dx.doi.org/10.3382/ps/pex123

UNESCO (2017). La UNESCO Avanza La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Disponible en: https://es.unesco.org/creativity/sites/creativity/files/247785sp_1_1_1.compressed.pdf (consultado el 25 agosto 2020).

Lassaletta L, Estellés F, Beusen AHW, Bouwman L, Calvet S, van Grinsven HJM, Doelman JC, Stehfest E, Uwizeye A, Westhoek H (2019). Future global pig production systems according to the Shared Socioeconomic Pathways. Science of The Total Environment 665: 739-751. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.079

Leek ABG, Beattie V, O'Doherty J (2004). The effects of dietary oil inclusion and oil source on apparent digestibility, faecal volatile fatty acid concentration and manure ammonia emission. Animal science 79: 155-164. https://doi.org/10.1017/S135772980005462X

Leinonen I, Williams AG, Wiseman J, Guy J, Kyriazakis I (2012). Predicting the environmental impacts of chicken systems in the United Kingdom through a life cycle assessment: Egg production systems. Poultry Science 91(1): 26-40. https://doi.org/10.3382/ps.2011-01635

Leip A, Billen, G, Garnier J, Grizzetti B, Lassaletta L, Reis S, Simpson D, Sutton MA, de Vries W, Weiss F, Westhoek H (2015). Impacts of European livestock production: nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity. Environmental Research Letters 10: 115004. https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/11/115004

Lemme A, Hiller P, Klahsen M, Taube V, Stegemann J, Simon I (2019). Reduction of dietary protein in broiler diets not only reduces n-emissions but is also accompanied by several further benefits. Journal of Applied Poultry Research 28: 867-880. https://doi.org/10.3382/japr/pfz045

Li W, Li QF, Powers W, Karcher D, Angel R, Applegate TJ (2014). Effects of distillers dried grains with solubles and mineral sources on gaseous emissions. Journal of Applied Poultry Research 23: 41-50. https://doi.org/10.3382/japr.2013-00802

Lin L, Xiu-dong L, Xu-gang L (2017). Nutritional strategies for reducing nitrogen, phosphorus and trace mineral excretions of livestock and poultry. Journal of Integrative Agriculture 16(12): 2815-2833. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61701-5

Liu X, Kim SH, Kim IH (2020). Effects of the combination of multistrain probiotics and *Castanea crenata* shell extract on growth performance, nutrient digestibility, fecal microbial shedding, meat quality, noxious gas emissions, and blood parameters in finishing pigs. Livestock Science 240: 104185. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104185

Mackenzie SG, Leinonen I, Ferguson N, Kyriazakis I (2016). Towards a methodology to formulate sustainable diets for livestock: accounting for environmental impact in diet formulation. British Journal of Nutrition 115: 1860-1874. https://doi.org/10.1017/S0007114516000763

Mahmood T, Guo Y (2020). Dietary fiber and chicken microbiome interaction: Where will it lead to? Animal Nutrition 6: 1-8. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2019.11.004

MAPA (2018). Datos de producción de piensos 2018 CNCAA – Informe interno. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/alimentacion-animal/2018-informedatosdeproducciondepiensosenespana2018_tcm30-512133.pdf (consultado el 11 marzo 2020).

McAuliffe GA, Takahashi T, Mogensen L, Hermansen JE, Sage CL, Chapman DV, Lee MRF (2017). Environmental trade-offs of pig production systems under varied operational efficiencies. Journal of cleaner production 165: 1163-1173. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.191

Menezes-Blackburn D, Greiner R (2015). Enzymes Used in Animal Feed: Leading Technologies and Forthcoming Developments. En: Functional Polymers in Food Science (Ed. Cirillo G, Gianfranco Spizzirri UG, Lemma F), pp. 47-73. Publisher: Scrivener Publishing. https://doi.org/10.1002/9781119108580.ch4

MITECO (2019). Sistema Español de Inventario de Emisiones. Inventario 1990-2017. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/ (Consultado el 20 julio 2019).

Moset V, Piquer O, Cervera MC, Fernandez C, Hernández P, Cerisuelo A (2015). Ensiled citrus pulp as a by-product feedstuff for finishing pigs: nutritional value and effects on intestinal microflora and carcass quality. Spanish Journal of Agricultural Research 13(3): e0607. http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2015133-6717

Nijdam D, Rood T, Westhoek H (2012). The price of protein: Review of land use and carbon footprints from life cycle assessments of animal food products and their substitutes. Food Policy 37: 760-770. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.08.002

Olukomaiya O, Fernando C, Mereddy R, Li X, Sultanbawa Y (2019). Solid-state fermented plant protein sources in the diets of broiler chickens: A review. Animal Nutrition 5: 319-330. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2019.05.005

O'Shea CJ, Lynch B, Lynch MB, Callan JJ, O'Doherty JV (2009). Ammonia emissions and dry matter of separated pig manure fractions as affected by crude protein concentration and sugar beet pulp inclusion of finishing pig diets. Agriculture, Ecosystems & Environment 131(3-4): 154-160. https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.01.019

Oviedo-Rondón EO (2019). Holistic view of intestinal health in poultry. Animal Feed Science and Technology 250: 1-8. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.01.009

Pinotti L, Giromini C, Ottoboni M, Tretola M, Marchis D (2019). Review: Insects and former food stuffs for upgrading food waste biomasses/streams to feed ingredients for farm animals. Animal 13(7): 1365-1375. https://doi.org/10.1017/S1751731118003622

Pomar C, Remus A (2019). Precision pig feeding: a breakthrough toward sustainability. Animal Frontiers 9(2): 52-59. https://doi.org/10.1093/af/vfz006

Portejoie S, Dourmad JY, Martínez J, Lebreton Y (2004). Effect of lowering dietary crude protein on nitrogen excretion, manure composition and ammonia emission from fattening pigs. Livestock Production Science 91(1-2): 45-55. https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.06.013

Raza A, Bashir S, Tabassum R (2019). An update on carbohydrases: growth performance and intestinal health of poultry. Heliyon 5: e01437. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01437

Reza A, Balcells J, Morazan H, Alvarez-Rodriguez J, Babot D, De la Fuente G (2018). The impact of reducing dietary crude protein and increasing total dietary fiber on hindgut fermentation, the methanogen community and gas emission in growing pigs. Animal Feed Science and Technology 245: 54-66. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.09.005

Roberts SA, Xin H, Kerr BJ, Russell JR, Bregendahl K (2007). Effects of dietary fiber and reduced crude protein on ammonia emission from laying-hen manure. Poultry Science 86: 1625-1632. https://doi.org/10.1093/ps/86.8.1625

Rojas OJ, Stein HH (2017). Processing of ingredients and diets and effects on nutritional value for pigs. Journal of Animal Science and Biotechnology 8: 48. https://doi.org/10.1186/s40104-017-0177-1

Romero C, Medina E, Brenes M (2018). New by products rich in bioactive substances from the olive oil mill processing. Journal of the Science of Food and Agriculture 98(1): 225-230. https://doi.org/10.1002/jsfa.8460

Rubayet-Bostami ABM, Mun HS, Kim GI, Seilsuth S, Yang CJ (2017). Evaluation of dietary fat sources on growth performance, excreta microbiology and noxious gas emissions in Ross broilers. African Journal of Agricultural Research 12(23): 1980-1992. https://doi.org/10.5897/AJAR2017.12373

Salemdeeb R, Ermgassen EKH, Kim MH, Balmford A, Al-Tabbaa A (2017). Environmental and health impacts of using food waste as animal feed: a comparative analysis of food waste management options. Journal of Cleaner Production 140: 871-880. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.049

Sánchez-Martín L, Beccaccia A, de Blas C, Sanz-Cobeña A, García-Rebollar P, Estellés F, Marsden A, Chadwick D, Vallejo A (2017). Diet management to effectively abate N_2O emissions from surface applied pig slurry. Agriculture Ecosystems & Environment 239: 1-11. https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.007

Sajeev EPM, Amon B, Ammon C, Zollitsch W, Winiwarter W (2018). Evaluating the potential of dietary crude protein manipulation in reducing ammonia emissions from cattle and pig manure: A meta-analysis. Nutrient Cycling in Agroecosystems 110(1): 161-175. https://doi.org/10.1007/s10705-017-9893-3

Schader C, Muller A, Scialabba NEH, Hecht J, Isensee A, Erb KH, Smith P, Makkar HPS, Klocke P, Leiber F, Schwegler P, Stolze M, Niggli U (2015). Impacts of feeding less food-competing feedstuffs to livestock on global food system sustainability. Journal of the Royal Society Interface 12: 20150891. https://doi.org/10.1098/rsif.2015.0891

Shabani A, Jazi V, Ashayerizadeh A, Barekatain R (2019). Inclusion of fish waste silage in broiler diets affects gut microflora, cecal short-chain fatty acids, digestive enzyme activity, nutrient digestibility, and excreta gas emission. Poultry Science 98: 4909-4918. http://dx.doi.org/doi:10.3382/ps/pez244

Shi C, Zhang Y, Lu Z, Wang Y (2017). Solid-state fermentation of corn-soybean meal mixed feed with *Bacillus subtilis* and *Enterococcus faecium* for degrading antinutritional factors and enhancing nutritional value. Journal of Animal Science and Biotechnology 8: 50. https://doi.org/10.1186/s40104-017-0184-2

Solà-Oriol D, Gasa J (2017). Feeding strategies in pig production: Sows and their piglets. Animal Feed Science and Technology 233: 34-52. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.07.018

Tallentire CW, Mackenzie SG, Kyriazakis I (2017). Environmental impact trade-offs in diet formulation for broiler production systems in the UK and USA. Agricultural Systems 154: 145-156. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.03.018

Tallentire CW, Mackenzie SG, Kyriazakis I (2018). Can novel ingredients replace soybeans and reduce the environmental burdens of European livestock systems in the future? Journal of Cleaner Production 187: 338-347. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.212

Torres-Pitarch A, Moset V, Ferrer P, Cambra-López M, Hernández P, Coma J, Pascual M, Serrano P, Cerisuelo A (2014). The inclusion of rapeseed meal in fattening pig diets, as a partial

replacer of soybean meal, alters nutrient digestion, faecal composition and biochemical methane potential from faeces. Animal Feed Science and Technology 198: 215-223. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.09.017

van der Werf HMG, Petit J, Sanders J (2005). The environmental impacts of the production of concentrated feed: The case of pig feed in Bretagne. Agricultural Systems 83: 153-177. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.03.005

van Emous RA, Winkel A, Aarnink AJA (2019). Effects of dietary crude protein levels on ammonia emission, litter and manure composition, N losses, and water intake in broiler breeders. Poultry Science 98: 6618-6625. http://dx.doi.org/10.3382/ps/pez508

Vukmirovi D, olovi R, Rakita S, Brlek T, uragi O, Solà-Oriol D (2017). Importance of feed structure (particle size) and feed form (mash *vs.* pellets) in pig nutrition – A review. Animal Feed Science and Technology 233: 133-144. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.06.016

Wang-Li L, Xu Y, Shivkumar AP, Williams M, Brake J (2020). Effect of dietary coarse corn inclusion on broiler live performance, litter characteristics, and ammonia emission. Poultry Science 99: 869-878. https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.10.010

Wilfart A, Espagnol S, Dauguet S, Tailleur A, Gac A, Garcia-Launay F (2016). ECOALIM: a dataset of environmental impacts of feed ingredients used in French animal production. PLoS ONE 11(12): e0167343. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167343

Wu-Haan W, Powers W, Angel R, Applegate TJ (2010). The use of distillers dried grains plus solubles as a feed ingredient on air emissions and performance from laying hens. Poultry Science 89: 1355-1359. https://doi.org/10.3382/ps.2009-00471

Yu J, Yu G, Yu B, Zhang Y, He J, Zheng P, Mao X, Luo J, Huang Z, Luo Y, Yan H, Wang Q, Wang H, Chen D (2020). Dietary protease improves growth performance and nutrient digestibility in weaned piglets fed diets with different levels of soybean meal. Livestock Science 241: 104179. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104179

Yusrizal Y, Angel R, Adrizal A, Wanto BE, Fakhri S, Yatno Y (2013). Feeding native laying hens diets containing palm kernel meal with or without enzyme supplementations. 2. Excreta nitrogen, ammonia, and microbial counts. Journal of Applied Poultry Research 22: 269-278. https://doi.org/10.3382/japr.2012-00633

Zuidhof MJ, Fedorak MV, Ouellette CA, Wenger II (2017). Precision feeding: Innovative management of broiler breeder feed intake and flock uniformity. Poultry Science 96: 2254-2263. http://dx.doi.org/10.3382/ps/pex013

(Aceptado para publicación el 29 de octubre de 2020)

PREMIOS DE PRENSA AGRARIA 2020 DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

La Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA) acordó en Asamblea General celebrada en mayo de 1983, instaurar un premio anual de Prensa Agraria, con el objetivo de hacer destacar aquel artículo de los publicados en ITEA que reúna las mejores características técnicas, científicas y de valor divulgativo, y que refleje a juicio del jurado, el espíritu fundacional de AIDA de hacer de transmisor de conocimientos hacia el profesional, técnico o empresario agrario. Se concederá un premio, pudiendo quedar desierto.

Los premios se regirán de acuerdo a las siguientes

BASES

1. Podran concursar todos los artículos que versen sobre cualquier tema técnico-económico-agrario.
2. Los artículos que podrán acceder al premio serán todos aquellos que se publiquen en ITEA en el año 2020. Consecuentemente, los originales deberán ser enviados de acuerdo con las normas de ITEA y aprobados por su Comité de Redacción.
3. El jurado estará constituido por las siguientes personas:
   a) Presidencia de AIDA, que presidirá el jurado.
   b) Dirección de la revista ITEA, que actuará de Secretario.
   c) Dirección del CITA (Gobierno de Aragón).
   d) Dirección del Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza.
   e) Dirección de la Estación Experimental de Aula Dei.
   f) Dirección del Instituto Pirenaico de Ecología.
4. El premio será anual y tendrá una dotación económica.
5. Las deliberaciones del jurado serán secretas, y su fallo inapelable.
6. El fallo del jurado se dará a conocer en la revista ITEA, y la entrega del premio se realizará con motivo de la celebración de las Jornadas de Estudio de AIDA.

XIX JORNADAS SOBRE PRODUCCIÓN ANIMAL

ON LINE

1 y 2 de Junio de 2021



Desde sus inicios, en 1985, estas Jornadas han pretendido crear un foro dinámico de intercambio multidisciplinar de los avances científico-técnicos de interés para los profesionales ligados a la Producción Animal. En esta edición, y debido a la situación impuesta por el COVID-19, nos proponemos mantener el foro, pero en una **versión on-line**.

La inscripción da derecho a un acceso a todas las salas en las que se presentarán las comunicaciones en directo, a la sala virtual de posters con chat y formulario de preguntas, y acceso posterior a las grabaciones de las sesiones.

Desde el Comité organizador queremos animarte a asistir y a enviar tus trabajos sobre cualquier tema de interés en el campo de la Producción Animal, que permita avanzar hacia modelos de producción animal más sostenibles, desde una perspectiva medioambiental, económica y social. Uno de los pilares de las jornadas sigue siendo el fomento de la incorporación de los jóvenes investigadores con los premios a las mejores comunicaciones en cada una de las secciones.

El programa definitivo, así como otros aspectos organizativos, se publicarán en la página web de AIDA (https://www.aida-itea.org/index.php/jornadas-aida/jornadas-2021).

Secretaría administrativa: Joaquín Moreno
Avda. Montañana 930, 50059 Zaragoza
Tel.: 976 716 305. Fax: 976 716 335
Correo electrónico: administracion@aida-itea.org

Comité Organizador

M. Blanco, I. Casasús, M. Joy, M. Salillas, A. Sanz

Comité Científico

Secretaría de las Jornadas: **D. Villalba**

Coordinadores de secciones
Calidad de los productos: **G. Ripoll**
Genética: **R. Pena**
Nutrición-Alimentación: **M.A. Latorre – S. Lobón**
Reproducción: **J. Yániz**
Sanidad y Bienestar: **I. Blanco-Penedo**
Sistemas Ganaderos-Economía y Gestión: **P. Gaspar**

Inscripción

https://www.aida-itea.org/index.php/jornadas-aida/jornadas-2021/inscripcion

Instrucciones para los autores

https://www.aida-itea.org/index.php/jornadas-aida/jornadas-2021/instrucciones-autores

Atención, nuevas normas

Plazos de envío

Comunicaciones originales
1 de febrero 2021

Inscripción y comunicaciones corregidas
1 de marzo 2021

Cuotas

	Antes 15/3/2021	Después 15/3/2021
Socios de AIDA	75€ 0€ *	125€ 50€*
No socios	100€ 75€ *	150€ 125€*

*** Estudiante con acreditación posgrado**

Premio Jóvenes investigadores

Un premio de 100€ por sección, para investigadores <35 años no doctores que presenten oralmente un trabajo en calidad de primer autor

cita · ia2 Instituto Universitario de Investigación Mixto Agroalimentario de Aragón Universidad Zaragoza · GOBIERNO DE ARAGON · aida-itea.org

Si desea Vd. pertenecer a la Asociación debe rellenar esta ficha de inscripción y la siguiente hoja sobre Protección de datos.

INSCRIPCIÓN EN AIDA

Si desea Vd. pertenecer a la Asociación rellene la ficha de inscripción y envíela a la siguiente dirección:
Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA). Avenida Montañana, 930, 50059 Zaragoza.

Si elige como forma de pago la domiciliación bancaria adjunte a esta hoja de inscripción el impreso de domiciliación sellado por su banco.

También puede hacer una transferencia a la cuenta de AIDA (Caixabank, Ag. Zuera (Zaragoza), España, nº ES70 2100 8687 2702 0001 2107) por el importe de la couta anual. En ese caso, adjunte un comprobante de la transferencia.

Apellidos:		Nombre:
NIF:		
Dirección Postal:		
Teléfono:	Fax:	e-mail:
Empresa:		
Área en que desarrolla su actividad profesional:		

En _____ , a ___ de _____ de 20__

Firma:

FORMA DE PAGO (COUTA ANUAL: 50 EUROS)

	Cargo a cuenta corriente (rellenar la domiciliación bancaria)
	Transferencia a la cuenta de AIDA ES70 2100 8687 2702 0001 2107 (adjuntar comprobante)

DOMICILIACION BANCARIA

Sr. Director del Banco/Caja

Muy Sr. mío,

Ruego a Vd. se sirva adeudar en la siguiente cuenta corriente (IBAN: 24 caracteres)

que mantengo en esa oficina, el recibo anual que será presentado por la **Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA).**

Atentamente,

En _____ , a ___ de _____ de 20__ Firmado:	Sello de la Entidad:

PROTECCIÓN DE DATOS

ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO, de ahora en adelante AIDA, le informa de que los datos facilitados durante su relación con la Asociación serán tratados para gestionar el alta de socio, así como para las gestiones administrativas de la Asociación. La base legal para el tratamiento de sus datos es la relación contractual y su consentimiento. Sus datos podrán ser cedidos a las entidades que sea necesarias para el cumplimiento de nuestras obligaciones legales, y si así lo autoriza, a las empresas colaboradoras de la Asociación. Tiene derecho a acceder, rectificar, suprimir, oponerse al tratamiento de sus datos, así como retirar el consentimiento prestado y pedir su portabilidad.

AUTORIZACIONES

- ❑ * – Autoriza a que AIDA le envíe información a través de medios postales y/o electrónicos (correo electrónico, SMS, etc.) sobre noticias de la asociación, así como información de servicios de sus patrocinadores y/o colaboradores.
- – Autoriza a que AIDA pueda facilitar sus datos de contacto a las empresas patrocinadoras o colaboradoras con fines comerciales. ❑ Sí ❑ No *

* Debe responder a estar cuestiones obligatoriamente.

Por último, en aras a dar cumplimiento al Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos, y siguiendo las Recomendaciones e Instrucciones emitidas por la Agencia Española de Protección de Datos (A.E.P.D.),

SE INFORMA

- Los datos de carácter personal solicitados y facilitados por usted, son incorporados un fichero de titularidad privada cuyo responsable y único destinatario es AIDA, con domicilio en Avenida Montañana, no 930, 50059 - Zaragoza.
- Solo serán solicitados aquellos datos estrictamente necesarios para prestar adecuadamente los servicios solicitados, pudiendo ser necesario recoger datos de contacto de terceros, tales como representantes legales, tutores, o personas a cargo designadas por los mismos.
- Todos los datos recogidos cuentan con el compromiso de confidencialidad, con las medidas de seguridad establecidas legalmente, y bajo ningún concepto son cedidos o tratados por terceras personas, físicas o jurídicas, sin el previo consentimiento del socio, tutor o representante legal, salvo en aquellos casos en los que fuere imprescindible para la correcta prestación del servicio.
- Una vez finalizada la relación entre la Asociación y el socio, los datos seguirán archivados y conservados mientras sean necesarios para dar cumplimiento a las obligaciones legales o, en su defecto, serán devueltos íntegramente al socio (o autorizado legal) o suprimidos si así se solicita por su parte.
- Los datos que facilito serán incluidos en el Tratamiento denominado Socios de AIDA, con la finalidad de gestión del alta de socio, la gestión del servicio contratado, pago de cuotas, contacto, etc., y todas las gestiones relacionadas con los socios y manifiesto mi consentimiento.
- Tiene derecho a acceder a sus datos personales, a solicitar su rectificación, cancelación y oposición, indicándolo por escrito a AIDA con domicilio en Avenida Montañana, no 930, 50059 – Zaragoza, o al correo electrónico de la Asociación: administracion@aidaitea.org.
- Los datos personales serán cedidos por AIDA a las entidades que prestan servicios a la misma siempre que sea estrictamente necesario para llevar a cabo los servicios ofrecidos por la Asociación. Igualmente, sus datos serán cedidos si existe una obligación legal.

Nombre y apellidos del Socio:

DNI:

Representante legal (si lo hubiere):

DNI:

En _____ , a ___ de _____de 20___

FIRMA DEL SOCIO:

NORMAS PARA LOS AUTORES (actualizado marzo de 2020)

La revista ITEA es una publicación internacional indexada en las bases de datos de revistas científicas. La revista se publica en español en 4 números (marzo, junio, septiembre y diciembre) por año. De acuerdo con los fines de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA), ITEA publica artículos que hagan referencia a la Producción Vegetal, Producción Animal y Economía Agroalimentaria. Se aceptan contribuciones en formato de nota técnica, artículo de revisión o artículo de investigación. El envío de un artículo implicará que el mismo no haya sido publicado o enviado para publicar en cualquier otro medio de difusión o idioma y que todos los coautores aprueben dicha publicación. Los derechos sobre todos los artículos o ilustraciones publicados serán propiedad de ITEA, que deberá recibir por escrito la cesión o copyright, una vez aceptado el artículo. La publicación de un artículo en ITEA no implica responsabilidad o acuerdo de ésta con lo expuesto, significando solamente que el Comité de Redacción lo considera de suficiente interés para ser publicado.

A partir del 1 de marzo de 2019, para publicar un artículo en la revista ITEA es necesario que al menos uno de los autores sea socio de AIDA, o en su caso los autores del artículo deberán abonar la cantidad de 50 euros cuando el artículo sea aceptado para su publicación en la revista ITEA. Puede consultar cómo hacerse socio de AIDA en http://www.aidaitea.org/index.php/sobre-nosotros/hacerse-socio.

1. Envío de manuscritos y evaluación

Los manuscritos originales se escribirá en español. Se recomienda la revisión del manual "Cómo traducir y redactar textos científicos en español" (https://www.esteve.org/libros/cuaderno-traducir-textoscientificos/) Los manuscritos se enviarán a través de la página web de AIDA (http://www.aidaitea.org/index.php/revista/revista-envio). Para ello, los autores deberán registrarse en la aplicación, y seguir las indicaciones pertinentes. El manuscrito se enviará como un único documento Word, incluyendo las tablas y figuras al final del mismo. Los autores deberán incluir en archivo independiente una carta de presentación en la que figure el título, los autores y un listado con 4 potenciales revisores (nombre completo, dirección postal y correo electrónico), que no deberán estar en conflicto de intereses con los autores o el contenido de manuscrito, en cuyo caso el Comité Editorial podrá negarse a colaborar con dichos revisores.

Los manuscritos que no cumplan las normas para autores serán devueltos para su rectificación. El editor correspondiente remitirá el manuscrito a como mínimo 2 revisores que conocerán la identidad de los autores, no así al contrario. Una vez aceptados por el editor, los manuscritos serán revisados por el editor técnico.

Los autores deberán modificar el manuscrito teniendo en cuenta las modificaciones sugeridas por los editores y revisores. La decisión final se comunicará a los autores, que, en caso de solicitarse, deberán modificar el artículo en el plazo de 1 mes desde su comunicación, antes de que sea aceptado definitivamente. Los autores deberán enviar el manuscrito corregido indicando los cambios realizados (por ejemplo, con la función de control de cambios activada), y deberán adjuntar una carta de respuesta a los evaluadores y editores con los cambios realizados. En caso de desacuerdo, los autores deberán justificar al editor debidamente su opinión. Una vez recibidas las pruebas de imprenta del manuscrito, los autores deberán devolver dicho manuscrito corregido en el plazo de 1 semana. Si el editor no recibe una respuesta por parte de los autores tras 1 mes el artículo será rechazado.

2. Tipos de manuscritos

En la revista ITEA se contemplan tres tipos de manuscritos. Los autores deberán expresar qué tipo de formato han escogido:

– **Los artículos de investigación** tendrán una extensión máxima de 30 páginas con el formato indicado en el siguiente punto. Los apartados de los que constarán son: Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión (o bien, Resultados y Discusión de forma conjunta), Conclusiones y Referencias bibliográficas (ver especificaciones en los siguientes apartados), tablas y figuras.

Los artículos de investigación de la sección de Producción Vegetal deben contener suficientes resultados para que las conclusiones sean robustas. Para ello, como norma general, será necesario repetir el mismo ensayo dos veces en momentos o campañas diferentes. Se considerará aceptable realizar el mismo ensayo sobre dos variedades o en dos situaciones o localidades diferentes. En los ensayos de eficacia sobre malas hierbas, insectos, hongos u otros organismos, una posibilidad es obtener la dosis adecuada para el control del organismo en estudio en un ensayo de dosis-respuesta y que esta dosis sea probada de nuevo en otro ensayo, es decir, sin volver a repetir toda la batería de dosis ensayadas previamente. Los ensayos constarán de suficientes repeticiones (mínimo tres). Las condiciones ambientales deberán escribirse de manera que permitan llevar a cabo la repetición del ensayo. La mayoría de ensayos necesitarán un análisis estadístico que refuerce los resultados. En ese caso conviene que se indiquen los resultados de dicho análisis, o al menos la tabla de resultados del anova o del análisis estadístico que se realiza.

– **Las notas técnicas,** referidas a trabajos experimentales de extensión reducida, no excederán de 2000 palabras, incluidas Tablas y/o Figuras.

– **Las revisiones bibliográficas** serán una evaluación crítica de una temática que exponga los resultados de otros trabajos, el estado actual de los conocimientos en esa temática y tratará de identificar nuevas conclusiones y áreas de investigación futuras. La extensión máxima será de 35 páginas. Los apartados de los que constarán son: Introducción, seguida de los apartados que consideren oportunos los autores, Conclusiones y Bibliografía; tablas y figuras si los autores lo consideran oportuno. En caso de copia literal de una tabla o figura de otro artículo, es responsabilidad del autor del manuscrito tener el permiso expreso del autor de la tabla o figura.

3. Preparación del manuscrito

Todos los manuscritos se presentarán en hojas de tamaño DIN A4 con márgenes de 2,5 cm y numeración de líneas continua. Se utilizará interlineado doble, fuente Times New Roman tamaño 12 (también en tablas y figuras). Las referencias bibliográficas, tablas y figuras se presentarán al final del documento en hojas separadas (una hoja por tabla y/o figura).

Todos los manuscritos incluirán, en la primera página:

Título: será lo más conciso posible. No incluirá fórmulas químicas (excepto símbolos químicos para indicar isótopos) y se evitarán las abreviaturas. El formato del título será en negrita y formato tipo oración.

Autores: apellido de los autores precedido de las iniciales del nombre, e indicando con un asterisco el autor para correspondencia. Los autores penúltimo y último irán separa-

dos por una "y". En caso de que pertenezcan a distintas instituciones, señalar a cada autor con números superíndices diferentes. Si un autor desea aparecer con dos apellidos, éstos deberán unirse con un guión.

En el caso de un artículo con varios autores, el autor para correspondencia garantizará que el resto de autores están de acuerdo con el contenido del artículo y el orden de autoría. En caso de que haya habido cambios en la autoría durante la evaluación del manuscrito, el autor para correspondencia garantizará que todos los autores implicados en alguna fase del proceso de evaluación están de acuerdo con la autoría final. Una vez que un manuscrito está aceptado no se podrán modificar los autores.

Dirección postal profesional de los autores. Si se desea indicar la dirección actual, deberá escribirse con una letra minúscula como superíndice.

Correo electrónico del autor a quien se va a dirigir la correspondencia.

Ejemplo:

Alternativas al penoxsulam para control de *Echinochloa* spp. y ciperáceas en cultivo de arroz en el nordeste de España

G. Pardo[1*], A. Marí[1], S. Fernández-Cavada[2], C. García-Floria[3], S. Hernández[4], C. Zaragoza[1] y A. Cirujeda[1]

*autor para correspondencia: gpardos@aragon.es

El manuscrito incluirá a continuación:

Resumen, que deberá tener un máximo de 250 palabras, e incluirá brevemente los objetivos del trabajo, la metodología empleada, los resultados más relevantes y las conclusiones. Se evitará el uso de abreviaturas.

Palabras clave, un máximo de 6, evitando las ya incluidas en el título.

En inglés: Título del artículo, Resumen, Palabras clave

4. Apartados del manuscrito

El formato de títulos de los apartados será en negrita, el del primer sub-apartado en negrita y cursiva, y el siguiente nivel en cursiva.

- **Introducción**: deberá explicar la finalidad del artículo. El tema se expondrá de la manera más concisa posible, indicando al final los objetivos del trabajo.
- **Material y métodos**: deberá aportar la información necesaria que permita la réplica del trabajo, incluyendo el nombre del fabricante de productos o infraestructuras utilizadas. Los manuscritos deberán incluir una descripción clara y concisa del diseño experimental y de los análisis estadísticos realizados. Se indicará el número de individuos/muestras, valores medios y medidas de variabilidad iniciales.
- **Resultados**: los resultados se presentarán en Tablas y Figuras siempre que sea posible. No se repetirá en el texto la información recogida en las Figuras y Tablas. Se recomienda presentar el valor de significación para que el lector pueda disponer de información más detallada. Puede redactarse de forma conjunta con el apartado de discusión.
- **Discusión**: deberá interpretar los resultados obtenidos, teniendo en cuenta además otros trabajos publicados. Se recomienda utilizar un máximo de 4 referencias para apoyar una afirmación en la discusión, exceptuando en las revisiones.
- **Conclusiones**: a las que se han llegado, así como las posibles implicaciones prácticas que de ellas puedan derivarse (aproximadamente 200 palabras).
- **Agradecimientos**: deberá mencionarse el apoyo prestado por personas, asociaciones, instituciones y/o fuentes de financiación del trabajo realizado.
- **Referencias bibliográficas**: sólo se citarán aquellas referencias relacionadas con el trabajo o que contribuyan a la comprensión del texto. Como máximo se podrán utilizar 40 citas en los artículos de investigación, y 60 en las revisiones bibliográficas. En el manuscrito, se mantendrá el orden cronológico en caso de citar varios autores. Las **citas en el texto** deben hacerse siguiendo los siguientes ejemplos:

  *un autor (Padilla, 1974)

  *dos autores (Vallace y Raleigh, 1967)

  *más de 3 autores: (Vergara *et al.*, 1994)

  *mismos autores con varios trabajos (Martín *et al*., 1971 y 1979)

  *autores con trabajos del mismo año: Prache *et al*. (2009a,b)

  *Si la cita forma parte del texto: "como indicaban Gómez *et al*. (1969)"

  *Leyes y reglamentos: (BOE, 2005) o BOE(2005) si forma parte del texto

Los nombres de entidades u organismos que figuren como autores, por ejemplo Dirección General de la Producción Agraria (DGPA), deberán citarse completos en el texto la primera vez.

Al final del trabajo se referenciarán en orden alfabético, por autor, todas las citas utilizadas en el texto. En caso de más de una referencia de un mismo autor principal, se mantendrá el orden cronológico entre ellas. Se podrán citar trabajos "en prensa", siempre que hayan sido aceptados para su publicación. En casos excepcionales, se aceptarán menciones como "Comunicación personal" o "Resultados no publicados", aunque no constarán entre las referencias bibliográficas. Se indican a continuación ejemplos de **referencias bibliográficas**:

Artículo

Blanc F, Bocquier F, Agabriel J, D'Hour P, Chilliard Y(2006). Adaptative abilities of the females and sustainabilityof ruminant livestock systems. A review. AnimalResearch 55: 489-510. https://doi.org/10.1051/animres:2006040.

Capítulo de libro

Verlander JW (2003). Renal physiology. En: Textbook of Veterinary Physiology (Ed. Cunningham JG), pp. 430-467. W.B. the Saunders Company, an Elsevier imprint.

Libro

AOAC (1999). Official Methods of Analysis, 16th. Ed. AOAC International, MD, EE. UU. 1141 pp.

Acta de congreso

Misztal I (2013). Present and future of genomic selection at the commercial level. Book of Abstracts of the 64th Annual Meeting of the EAAP, 20-30 de agosto, Nantes, Francia, pp. 100. https://doi.org/.3920/978-90-8686-782-0.

Fuente electrónica

FAOSTAT (2011). Food and Agriculture Organization statistical database. Disponible en:
http://faostat.fao.org/default.aspx
(Consultado: 30 enero 2012).

Documento oficial

MARM (2009). Anuario de estadística agroalimentaria y pesquera 2007. Subsecretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente, Medio rural y Marino, 937 pp.

Leyes / Reglamentos

BOE (2005). Real Decreto 368/2005, de 8 de abril, por el que se regula el control oficial del rendimiento lechero para la evaluación genética en las especies bovina, ovina y caprina. Boletín Oficial del Estado, núm. 97, de 23 de abril de 2005, pp. 13918-13937

Indicar la URL del DOI, en las referencias que dispongan del mismo, al final del resto de datos de la referencia. Ejemplo: Albaladejo-García JA, Martínez-Paz JM, Colino J (2018). Evaluación financiera de la viabilidad del uso del agua desalada en la agricultura de invernadero del Campo de Níjar (Almería, España). ITEA-Información Técnica Económica Agraria 114(4): 398-414. https://doi.org/10.12706/itea.2018.024.

- **Tablas y Figuras**: su número se reducirá al mínimo necesario, y los datos no deberán ser presentados al mismo tiempo en forma de tabla y de figura. Se recomienda un tamaño de 8 o 16 cm. Las tablas y figuras llevarán numeración diferente y deberán estar citadas en el texto. Sus encabezamientos deberán redactarse de modo que el sentido de la ilustración pueda comprenderse sin necesidad de acudir al texto. Los encabezamientos y pies de figuras deberán aparecer en español e inglés (en cursiva).

Para el diseño de las tablas sólo se usarán filas y columnas, no se usarán tabulaciones ni saltos de línea. No se utilizarán líneas verticales entre columnas ni horizontales entre filas. Sólo se separarán con líneas horizontales los títulos.

Ejemplo de tabla:

Tabla 3. Tarjetas de productos hipotéticos expuestos a los encuestados

Table 3. Hypothetical products cards shown to those surveyed

Nº Tarjeta	Precio €/kg	Tipo de carne	Origen	Sistema
1	22	Lechal	Nacional	Convencional
2	22	Cebo	Extranjero	Ecológico
3	18	Lechal	CLM	Ecológico
4	18	Ternasco	Extranjero	Convencional

Fuente: Diaz *et al.* (2013)

Las figuras se presentarán con la mayor calidad posible. Se podrán presentar en blanco y negro o en color. Los dibujos, gráficos, mapas y fotografías se incluirán como figuras. Para mayor claridad se recomienda el uso, en primer lugar, de líneas continuas; en segundo lugar, de puntos; y en último lugar, de rayas. Se recomienda el uso de símbolos □, ■, ○, ●, Δ, ▲, , ♦, +, y ×. No utilizar líneas de división horizontales en el gráfico. Incluir barras de error cuando no entorpezcan la interpretación de la figura. En los ejes figurarán las unidades de las medidas referidas (entre paréntesis o separadas por coma). El número de la figura y su leyenda se indicarán en la parte inferior de la misma. Si las figuras se confeccionan con un programa distinto de los del paquete Office deberán ser de una calidad de 300 píxeles por pulgada o superior o escalable. Se enviarán las fotografías por separado como archivos de imagen (jpg, tiff o similar) con una resolución final de al menos 300 píxeles por pulgada.5.

5. Normas de estilo

- Se aplicará el Sistema Internacional de Unidades.
- Los decimales se indicarán en español con una coma (,) y en inglés con un punto (.).
- Las abreviaturas se definirán la primera vez que se citen en el texto.
- Las frases no podrán comenzar con una abreviatura o un número.
- Los nombres de hormonas o productos químicos comenzarán con minúsculas (sulfato de metilo, en vez de Sulfato de Metilo).
- Las fórmulas químicas se nombrarán según las normas IUPAC (p. ej. H_2SO_4 en vez de SO_4H_2) y los nombres comerciales comenzarán con mayúscula (p.ej. Foligón). En el caso de iones, debe indicarse el signo (p. ej. NO_3^-, SO_4^{2-})
- Los nombres científicos de organismos vivos (botánicos, microbiológicos o zoológicos) deberán incluir en su primera cita la denominación completa de género, especie y del autor. En siguientes apariciones se abreviará el género con la inicial del mismo y se mantendrá el nombre de la especie. Ejemplo: *Papaver rhoeas* L. y posteriormente, *P. rhoeas*.
- Los nombres latinos de géneros, especies y variedades se indicarán en cursiva y los nombres de cultivares entre comillas simples (p. ej. 'Sugar Baby').
- Las llamadas en nota a pie de página o cuadro deberán ser las menos posibles y, en todo caso, se indicarán mediante números correlativos entre paréntesis (p. ej. (1), (2), evitando el uso de asteriscos, letras o cualquier otro signo).
- Los niveles de significación estadística no necesitan explicación (* = P<0,05; ** = P<0,01; ***= P<0,001; NS = no significativo).

Volumen 116
Número 5
Diciembre 2020

itea

información técnica económica agraria

www.aida-itea.org

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

