



Instituto Nacional de  
Tecnología Agropecuaria

Secretaría de Agricultura,  
Ganadería y Pesca



Ministerio de Economía  
Argentina

Con el patrocinio de



Ministerio Federal  
de Alimentación  
y Agricultura

en virtud de un acuerdo  
del Bundestag alemán



## Diálogo Argentino - Alemán sobre Innovaciones Agropecuarias Sustentables

### Informe político

## Digitalización para una ganadería sostenible

en nombre de **IAK Agrar Consulting GmbH**

**Prof. UZ Dr. nat. techn. Barbara Amon**

**Mayo de 2023**

Implementado por:

**GFA**  
CONSULTING GROUP  
General Agent BMEL  
Berlin Office

**IAK**   
AGRAR CONSULTING

**AFC**  
AGRICULTURE & FINANCE  
CONSULTANTS

### **Excención de responsabilidad:**

Este informe se publica bajo la responsabilidad del Diálogo Argentino-Alemán sobre Innovaciones Agropecuarias Sustentables, financiado por el Ministerio Federal de Alimentación y Agricultura de Alemania (BMEL). Las opiniones, conclusiones, sugerencias o recomendaciones aquí expresadas son de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista del BMEL, ni de los socios ejecutores del proyecto.

### **Publicado por:**

Diálogo Argentino-Alemán sobre Innovaciones Agropecuarias Sustentables

Reimpresión o reproducción de cualquier tipo sólo con la autorización del editor.

## Índice

<b>1 Introducción - Sostenibilidad de los sistemas agrarios .....</b>	<b>3</b>
<b>2 La cría de animales como componente de una bioeconomía circular para la seguridad alimentaria y nutricional mundial con escaso impacto medioambiental negativo - visión general de los documentos básicos .....</b>	<b>5</b>
<b>4 El papel de la ganadería en una economía circular basada en la biotecnología<sup>9</sup></b>	
<b>4.1 Antecedentes .....</b>	<b>9</b>
<b>4.2 Ganadería para la valorización de la biomasa de paisajes marginales</b>	<b>10</b>
<b>4.3 Gestión de tierras con alto contenido en carbono .....</b>	<b>12</b>
<b>5 Integración de la producción agrícola y ganadera .....</b>	<b>13</b>
<b>6 Agricultura y protección del clima / neutralidad climática .....</b>	<b>15</b>
<b>6.1 Propuestas para la neutralidad climática - Alemania .....</b>	<b>15</b>
<b>7 Digitalización en la ganadería .....</b>	<b>16</b>
<b>7.1 Ganadería de precisión (PLF): ¿Qué es la PLF y por qué la necesitamos para la ganadería del futuro? .....</b>	<b>16</b>
<b>7.2 Estrategia de digitalización del Ministerio Federal de Alimentación y Agricultura .....</b>	<b>20</b>
<b>7.3 Tecnología disponible actualmente para la digitalización en ganadería .....</b>	<b>21</b>
<b>8 Conclusiones y recomendaciones de actuación .....</b>	<b>30</b>
<b>Literatura .....</b>	<b>32</b>

## **Prólogo**

Con el proyecto "Diálogo Argentino-Alemán sobre Innovaciones Agropecuarias Sustentables", Alemania y Argentina manifiestan su interés en trabajar conjuntamente por una agricultura sostenible. Mediante el intercambio de conocimientos y experiencias se pretende fomentar las innovaciones en la agricultura argentina, contribuyendo así a la protección del clima y del medio ambiente. El proyecto subraya asimismo la voluntad de ambos países de abordar conjuntamente los retos bilaterales y globales de la política agrícola y la aplicación de prácticas innovadoras en el contexto del desarrollo sostenible. El proyecto se basa en más de 20 años de experiencia con iniciativas similares del Ministerio Federal de Alimentación y Agricultura de Alemania (BMEL) en varios países de África, Asia, Europa del Este y América Latina.

La digitalización de la agricultura es uno de los temas abordados por el diálogo. Los distintos subsectores se encuentran en diferentes fases de desarrollo en el ámbito de la digitalización. Como introducción al diálogo entre Argentina y Alemania sobre la digitalización de la ganadería, este informe ofrece una visión de las principales tendencias del sector, las posibles aplicaciones digitales que pueden mejorar la sanidad animal y el potencial de las herramientas digitales para mejorar la sostenibilidad del sector.

Con el policy brief "Digitalización para una ganadería sostenible", queremos contribuir a un diálogo a largo plazo entre Alemania y Argentina con el objetivo de desarrollar soluciones conjuntas para el sector.

Buenos Aires, 23 de junio de 2023

Marnix Doorn

Jefe de Equipo

## 1 Introducción - Sostenibilidad de los sistemas agrícolas

La agricultura y la nutrición son componentes centrales e indispensables del desarrollo sostenible. Publicaciones recientes de la FAO<sup>1</sup> demuestran la importancia de la agricultura y la nutrición para los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU<sup>2</sup> y describen el papel especial de la ganadería en la consecución de estos objetivos. El aumento de la población mundial y los esfuerzos para proteger el clima están provocando un enorme incremento de las demandas cualitativas y cuantitativas de productos y producción agrícolas. La demanda de alimentos de alta calidad, tanto de origen animal como vegetal, es cada vez mayor. La evolución hacia sistemas bioeconómicos que producen alimentos, piensos y materias primas a partir de fuentes renovables también está planteando exigencias cada vez mayores a la producción agrícola. La agricultura es responsable de una serie de servicios ecosistémicos indispensables. La agricultura tiene una importancia inmensa en todos los ámbitos fundamentales de la vida. Esto es especialmente evidente a la luz de las tendencias demográficas mundiales y de la necesidad de pasar a fuentes renovables de energía y materias primas.

La creciente demanda se satisface intensificando la producción. En su forma actual, esta intensificación provoca una serie de daños medioambientales, en gran parte debidos a las elevadas pérdidas de nutrientes, la falta de utilización eficaz del nitrógeno y los ciclos abiertos de materiales. Hay que encontrar la manera de proporcionar nutrientes suficientes para aumentar la producción y, al mismo tiempo, mantener bajas las pérdidas. El momento de hacerlo es ahora mismo, ya que nos encontramos en la cúspide de posibilidades inimaginables. Los avances tecnológicos, la robótica, el desarrollo de sensores, la digitalización, la ciencia de los datos y las tecnologías de análisis genético de alta presión y alto rendimiento están abriendo opciones totalmente nuevas para una gestión de la tierra sostenible y basada en la naturaleza, adaptada a cada lugar, altamente eficiente y productiva.

La cría de animales es un componente indispensable de los sistemas agrarios sostenibles y orientados al ciclo<sup>3</sup>. En el ámbito de la cría de animales, los problemas más urgentes son actualmente la emisión de compuestos nitrogenados y gases de efecto invernadero, la propagación de gérmenes resistentes a los antibióticos y la relación entre el bienestar animal y la protección del medio ambiente. Para ello es necesario, por un lado, medir, modelizar y reducir las emisiones (NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, bioaerosoles, PM). Para ello se utilizan mediciones en las explotaciones, modelización mecanicista con simulaciones CFD y el uso de modelos cinéticos de reacción, así como la caracterización biofísica de los aerosoles y la modelización numérica de sus procesos de transmisión. Por otro lado, es necesario investigar la interacción entre el ganado y el medio ambiente. Las reacciones individuales de adaptación de los animales deben registrarse y evaluarse mediante tecnología de

<sup>1</sup>Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; <http://www.fao.org/home/en/>

<sup>2</sup> <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>

<sup>3</sup> Van Zanten HHE, Herrero M, Hal OV, et al. (2018) Definición de un límite terrestre para el consumo ganadero sostenible. *Glob Change Biol* 24:4185-4194. <https://doi.org/10.1111/gcb.14321>; FAO (2018). *Ganadería mundial: Transformar el sector ganadero a través de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Roma. 222 pp. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO



## **Digitalización para una ganadería sostenible**

sensores. Entre ellas figuran el rendimiento, la vitalidad, las enfermedades y el comportamiento, que pueden registrarse con sensores y evaluarse con métodos modernos de ciencia de datos. Las soluciones deben aumentar el bienestar animal, reducir el impacto ambiental negativo de los sistemas de cría de animales y permitir una producción económica y eficiente.

## **2 La cría de animales como componente de una bioeconomía circular para la seguridad alimentaria y nutricional mundial con escaso impacto medioambiental negativo: una visión general de los documentos básicos**

La sostenibilidad de los sistemas alimentarios prevista en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas se enfrenta actualmente a numerosos desafíos en ámbitos interrelacionados: seguridad alimentaria y nutricional sostenible, medios de vida y crecimiento, vulnerabilidad climática, y resiliencia y uso de los recursos naturales (EU-C, 2020b; FAO, 2017c, 2018c; Pradhan et al., 2017; Wezel et al., 2020). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) estima que 800 millones de personas se verán afectadas por el hambre crónica, 2.000 millones de personas se verán afectadas por deficiencias de micronutrientes y más de 650 millones de personas se verán afectadas por la malnutrición en 2030. Cada año mueren 6 millones de niños antes de cumplir los cinco años y 202 millones de personas están desempleadas (FAO, 2017a, 2018a). Los Objetivos de Desarrollo Sostenible proporcionan el marco para encontrar soluciones a los desafíos actuales y se espera que la agricultura, incluida la ganadería, desempeñe un papel central en la implementación de la sostenibilidad en una bioeconomía circular (FAO 2017a, 2018a). Una bioeconomía circular pretende minimizar la explotación de recursos, promover prácticas regenerativas, evitar la pérdida de recursos naturales y fomentar la reutilización y el reciclaje de subproductos, pérdidas o residuos inevitables (Muscat et al., 2021). En Europa, el sector ganadero contribuye significativamente a la producción económica. Su valor representa el 40 % de la actividad agrícola total (ATF, 2021). Las proyecciones muestran que es probable que aumente la demanda de alimentos de mayor valor (más carne, frutas y verduras en comparación con los cereales) debido a una población mundial que se espera que alcance los 10 000 millones de personas con mayores ingresos en 2050 (FAO, 2017b, 2018a). Por lo tanto, aumentará la demanda de alimentos de mayor calidad, especialmente proteínas y micronutrientes. Los productos animales proporcionan una nutrición proteica de muy alta calidad, micronutrientes importantes (vitaminas B12, A, B3, B6 y D, zinc, selenio, calcio, fósforo y hierro) y diversos componentes bioactivos. Los sistemas ganaderos también proporcionan servicios ecosistémicos, como el mantenimiento de praderas y la gestión de zonas de baja fertilidad. El estiércol mejora la productividad de los cultivos. Los animales pueden reciclar los flujos secundarios de biomasa procedentes de la producción de cultivos y de la industria alimentaria para producir alimentos de alta calidad.

Como se prevé que la demanda de productos animales siga aumentando, la presión sobre los recursos de la tierra seguirá creciendo. Se prevé que los sistemas de producción serán más intensivos en la próxima década, con aumentos de producción de hasta el 14% en



## **Digitalización para una ganadería sostenible**

ganado y el 84% en cultivos. Se espera que los rebaños más grandes contribuyan al crecimiento del sector ganadero, especialmente en los países emergentes y de renta baja, gracias a la alimentación intensiva, la mejora genética y la gestión de los rebaños. Como resultado, las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la producción ganadera intensiva, que ya representan alrededor del 81-86% de las emisiones de gases de efecto invernadero de la agricultura, se convertirán en un reto cada vez mayor. El sector es también la fuente de más del 80 % de las emisiones agrícolas de nitrógeno en las aguas europeas y del 90 % de las emisiones de amoníaco (ATF, 2021). Las cadenas de suministro ganaderas son responsables por sí solas de alrededor de 7,1 Gt CO<sub>2</sub> eq/año de las emisiones totales de GEI. Las mayores empresas cárnicas y lácteas del mundo podrían ser responsables de hasta 1 Gt CO<sub>2</sub> eq/año (14%). Las estimaciones también sugieren alrededor de 1,7 Gt CO<sub>2</sub> eq/año causadas por los pequeños agricultores, principalmente en los países en desarrollo (Leahy et al., 2020). Casi un tercio de la producción mundial de alimentos y más de un tercio de la producción ganadera podrían verse obligadas a abandonar su espacio climático actual en 2081-2100 si no podemos limitar el calentamiento a 1,5-2 °C (Kummu et al., 2021).

Al mismo tiempo, el cambio climático está afectando cada vez más al sector, provocando un descenso de los rendimientos y de los medios de subsistencia rurales, al tiempo que exacerba las desigualdades entre las regiones del mundo (Mirzabaev et al., 2021). La actual proporción mundial de la agricultura en la producción total y el empleo está disminuyendo, y el crecimiento del rendimiento se ha ralentizado. Una proporción cada vez mayor de explotaciones más pequeñas están abandonando la agricultura para encontrar oportunidades de empleo fuera de la agricultura, lo que provoca un aumento de los flujos migratorios (FAO, 2017b). Las proyecciones muestran nuevas repercusiones del cambio climático en la producción ganadera, con efectos directos en el bienestar, el crecimiento, la reproducción y la salud de los animales, e indirectos en la productividad de los pastos, los cultivos forrajeros y los piensos (Wreford y Topp, 2020). La capacidad de carga de los pastos y la capacidad de amortiguación de los sistemas agropastorales y pastorales también podrían reducirse, lo que afectaría significativamente a la productividad ganadera (Nardone et al., 2010). Los sectores ganadero y avícola se consideran cada vez más un riesgo para la salud pública, especialmente en lo que respecta a las enfermedades zoonóticas (GBS2020, 2020). Las plagas y enfermedades transfronterizas se propagan con mayor rapidez. Algunas bacterias son resistentes a los antibióticos (se utilizan unas 60 000 toneladas de antibióticos al año), los recursos naturales se degradan y la biodiversidad se pierde cada vez más (FAO, 2017c, 2018c, 2020). La creciente frecuencia de sequías, inundaciones, incendios forestales y nuevas plagas son otros signos de que nuestro sistema alimentario está amenazado (EU-C, 2020b). Al mismo tiempo, solo se cosecha alrededor del 25 % de la biomasa producida anualmente, lo que deja sin utilizar grandes cantidades de residuos de cultivos y subproductos agroindustriales (FAO, 2017c, 2018c, 2020). Por otro lado, la producción de alimentos/piensos, la fermentación entérica, los residuos animales y el cambio en el uso de la tierra causan emisiones de GEI (FAO, 2017a, 2018a, 2020). Además, las pérdidas y desperdicios de alimentos representan alrededor del 30 % de la producción agrícola, lo que también provoca daños ambientales, por no mencionar los aspectos económicos y sociales.





## **Digitalización para una ganadería sostenible**

El sector agrario debe contribuir a los esfuerzos para lograr emisiones netas negativas a finales de siglo, a fin de mantener el calentamiento global por debajo de 1,5 °C y mitigar los efectos negativos del cambio climático. Utilizando un escenario que limita de forma rentable el calentamiento global a 1,5 °C en todos los sectores, los resultados sugieren pérdidas globales de calorías alimentarias que oscilan entre 110 y 285 kcal per cápita al día en 2050, dependiendo de las elasticidades de demanda utilizadas (Frank et al., 2017). Influir en los patrones dietéticos a través de una mayor concienciación sobre el vínculo entre la nutrición y la salud humana podría ser una vía para modificar la demanda de productos animales (Leahy et al., 2020). Frank et al. (2017) señalan que el impacto en la seguridad alimentaria de los países no incluidos en el Anexo I será mayor si deciden no contribuir a las acciones de mitigación mientras otros países continúan sus esfuerzos por reducir las emisiones de GEI para cumplir el objetivo climático mundial que si participan en un acuerdo global, ya que las acciones de mitigación ineficientes aumentan el coste de la producción agrícola y, por tanto, los precios de los alimentos.

En relación con el derecho humano a una alimentación adecuada y a dietas sostenibles y saludables, el sector ganadero puede desempeñar un papel clave a la hora de abordar directa o indirectamente muchos de estos desafíos mundiales (BMEL, 2020; ATF, 2019; EU-C, 2020a; FAO, 2018b). El ganado puede proporcionar valiosos servicios ecosistémicos de regulación y apoyo a través de su interacción directa con la tierra, la vegetación, el suelo y el hábitat. Contribuyen a aumentar la productividad de los cultivos a través del estiércol de granja y la tracción animal. Los nutrientes totales procedentes del estiércol de granja superan a los nutrientes de los fertilizantes sintéticos.

La ganadería también podría contribuir a añadir valor a los flujos secundarios de biomasa procedentes de los sistemas alimentarios. El ganado puede utilizar numerosos flujos secundarios de biomasa: Pastizales de zonas marginadas, residuos de cultivos de tierras de cultivo, subproductos de la industria de transformación de alimentos y residuos/residuos alimentarios de fases anteriores del sistema alimentario para producir productos de alta calidad (Dou, 2018; Zanten, 2015). Se estima que hasta el 80% de la alimentación animal podría producirse a partir de estos componentes (Mottet, 2017). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) lidera los esfuerzos para cuantificar las pérdidas y el desperdicio de alimentos con el fin de desarrollar medidas adecuadas para reducir estas pérdidas y las emisiones asociadas a nivel mundial. Por ejemplo, las estadísticas de la FAO en 2016 mostraron que las pérdidas y el desperdicio de alimentos anuales a nivel mundial ascienden a aproximadamente el 30 % de la producción de cereales, el 40-50 % de los cultivos de raíces, frutas y verduras, el 20 % de las semillas oleaginosas, la carne y los productos lácteos, y el 35 % del pescado. Junto con el despilfarro de recursos y el impacto medioambiental, suponen un coste de unos 143.000 millones de euros al año sólo en Europa (Teigiserova D.A., 2020). Los responsables políticos y la opinión pública reconocen cada vez más que este despilfarro de los sistemas alimentarios es un problema urgente, y la cría de animales podría contribuir a solucionarlo.

Aunque el sector ganadero es un gran consumidor de recursos agrícolas y una fuente de contaminación, también ofrece una serie de oportunidades que son fundamentales para la sostenibilidad de los sistemas alimentarios y la transición hacia una economía más circular. Entre ellas se incluyen la conversión de flujos marginales de biomasa en productos de alto





## **Digitalización para una ganadería sostenible**

valor, la conservación del carbono del suelo, los paisajes/biodiversidad y la integración con la producción de cultivos. Sin embargo, con la creciente intensificación, especialización y separación espacial de la ganadería y la producción de cultivos, han surgido desequilibrios cada vez mayores (EIP-Agri, 2017). A menudo, los animales no se alimentan predominantemente de biomasa que no es utilizable por los seres humanos, o de piensos cultivados en tierras inadecuadas para los cultivos, y muchos sistemas están optimizados para un único objetivo de eficiencia de la producción en un paradigma económico lineal (ATF, 2019; EIP-Agri, 2017).

Los límites globales, los recursos limitados y los desafíos globales como el cambio climático, la degradación de la tierra y los ecosistemas y una población creciente requieren un cambio de paradigma de los enfoques lineales al uso circular y altamente eficiente de los recursos (EU-C, 2018). Los sistemas agrícolas y alimentarios, incluidos los ganaderos, no son una excepción: hay que buscar nuevas formas de producción y consumo que respeten los límites ecológicos de nuestro planeta (ATF, 2019; EU-C, 2019). Se necesitan soluciones adaptadas localmente para aprovechar el potencial de la bioeconomía y reforzar la resiliencia de los suministros alimentarios locales y regionales, al tiempo que se utilizan los recursos naturales de forma sostenible. Es necesario explorar los límites ecológicos a diferentes escalas espaciales. La base de conocimientos y la comprensión de áreas específicas de la bioeconomía deben basarse en la recopilación de más datos, la generación de mejor información y el análisis sistémico, lo que conduce a servicios de asesoramiento adaptados para la toma de decisiones de gestión sostenible para el sector primario y el fortalecimiento de las comunidades locales (EU-C, 2018, 2019, 2020c).

Esto requiere procesos transformadores basados en enfoques sistémicos para integrar eficazmente la ganadería en la economía circular (ATF, 2019; EIP-Agri, 2017; EU-C, 2018; FAO, 2017a, 2018a). Se necesita una mejor comprensión de las interacciones entre los diferentes componentes de los sistemas alimentarios para maximizar los cobeneficios y acelerar la transformación de todo el sistema (EU-C, 2020c). Conceptos como la intensificación sostenible, la agroecología, la agrosilvicultura, la agricultura climáticamente inteligente, la agricultura basada en la naturaleza y la agricultura de conservación son pertinentes (FAO, 2017a, 2018a, 2020; Pretty et al., 2018). Ayudarán a (re)conectar la ganadería y la producción de cultivos para optimizar el uso de la biomasa residual para la producción de alimentos, incluidos los enfoques en cascada y de reciclaje, de modo que haya poca pérdida, pero la biomasa se transforme y actualice (EU-C, 2018; FACCE-JPI, 2020; GBS2020, 2020). De este modo, el carbono, los nutrientes y el agua se reutilizan/reciclan, lo que se traduce en menos residuos y emisiones y en una menor dependencia de los fertilizantes minerales nitrogenados, al tiempo que se conserva el fósforo (ATF, 2019; EU-C, 2018; FACCE-JPI, 2020; FAO, 2018a, 2019b, 2020; GBS2020, 2020).

También es necesario actuar para apoyar los enfoques de Una sola salud, minimizar el uso de antibióticos, promover el diálogo entre múltiples partes interesadas, fortalecer los organismos reguladores, promover la mejora de las prácticas de producción y aumentar la atención al bienestar animal (FAO, 2018a, 2019a). Esto requiere una cooperación internacional más coherente para reducir las desigualdades entre los países y dentro de ellos y lograr sistemas alimentarios sostenibles coordinados y organizados verticalmente y



## **Digitalización para una ganadería sostenible**

respaldados por inversiones responsables (FACCE-JPI, 2020; FAO, 2017b, 2018a). La comprensión de la diversidad y la complejidad de los sistemas agrícolas y alimentarios, incluidos los desafíos de las partes interesadas y los equilibrios de género, facilitaría la transición de una bioeconomía lineal a una circular (FAO, 2018a, 2019b). Es necesario reforzar los enfoques de modelización integrados que utilizan evaluaciones multicriterio, mejores evaluaciones del ciclo de vida y herramientas de análisis de políticas (FACCE-JPI, 2020).

La necesidad de lograr la sostenibilidad es también un fuerte incentivo para modernizar la economía y los sistemas de producción, al tiempo que se crean empleos verdes, altamente cualificados y locales (ATF, 2019; EU-C, 2018, 2019). Reformar los mercados alimentarios e incentivar modelos de consumo sostenibles, promover el consumo responsable y la transformación de los mercados, y facilitar el cambio a una dieta saludable al tiempo que se reduce el desperdicio de alimentos son pasos necesarios a nivel de los consumidores, que constituyen el vínculo crucial para una dieta humana más sostenible y un medio ambiente más saludable (EU-C, 2020c). Aumentar la economía circular y la eficiencia de los recursos de los sistemas alimentarios es especialmente necesario en la ganadería, que actualmente tiene importantes repercusiones medioambientales (EU-C, 2020b, 2020c). Este sector tiene el potencial de abordar los retos actuales y contribuir a la mitigación del cambio climático (es decir, el objetivo de neutralidad climática de la UE para 2050), al tiempo que promueve los servicios ecosistémicos, sin olvidar la conservación y restauración de la biodiversidad y los paisajes (ATF, 2019, 2021).

## **4 El papel de la ganadería en una economía circular basada en la biotecnología**

### **4.1 Antecedentes**

El paradigma de la economía circular pretende sostener el crecimiento económico y el bienestar ecológico mediante una gestión más eficaz de los recursos naturales y la minimización de los residuos. El concepto propone alejarse de la concepción lineal del final de la vida útil del sistema alimentario, en el que las personas utilizan productos de alto valor (de origen vegetal o animal) y producen residuos (Korhonen, 2018). Esto es necesario para lograr la sostenibilidad, ya que la demanda mundial de energía y materiales aumenta con el rápido crecimiento de la población (Teigiserova y Thomsen, 2020). Al mismo tiempo, enormes cantidades de alimentos, casi un tercio de la producción mundial para consumo humano, se pierden o desperdician (Gustavsson & Sonesson, 2011). En este contexto, la cuantificación es de gran importancia para desarrollar medidas adecuadas para reducir el desperdicio de alimentos y las emisiones relacionadas. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) lidera este tipo de iniciativas a nivel mundial. Por ejemplo, las estadísticas de la FAO en 2016 mostraron que las pérdidas y el desperdicio de alimentos anuales a nivel mundial ascienden a aproximadamente el 30 % de la producción de cereales, el 40-50 % de los cultivos de raíces, frutas y verduras, el 20 % de las semillas oleaginosas, la carne y los productos lácteos, y el 35 % del pescado (FAO, 2016). Junto con el despilfarro de recursos y el impacto medioambiental, solo a Europa le cuestan alrededor de 143 000 millones de euros al año (Teigiserova y Thomsen,



## **Digitalización para una ganadería sostenible**

2020; véase también el capítulo 2 de este informe). Los responsables políticos y la opinión pública reconocen cada vez más que este despilfarro de los sistemas alimentarios es un problema acuciante. Sin embargo, la demanda de alimentos sigue ejerciendo una presión cada vez mayor sobre los sistemas agrícolas y alimentarios, incluidos los bosques, lo que provoca más emisiones de gases de efecto invernadero, en particular emisiones de carbono derivadas del cambio en el uso de la tierra y la pérdida de biodiversidad (Van Zanten, 2018). La ganadería, el sistema de uso de la tierra agrícola más grande del mundo, es una prueba de esta tendencia observada. Los pastos permanentes y las praderas cubren aproximadamente una cuarta parte de la superficie terrestre de la Tierra y representan alrededor del 70% de las tierras agrícolas. Además, alrededor de un tercio del grano producido en todo el mundo se destina a la ganadería. Los hábitos alimentarios contribuyen significativamente a este fenómeno. Las estimaciones muestran que alimentar a los humanos con más de un tercio (9-23 g) de sus necesidades diarias de proteínas procedentes del ganado podría llevar a una creciente competencia por la comida entre humanos y animales. Las plantas comestibles para los humanos se destinarían a alimentar a los animales o los pastizales actuales o las tierras no cultivadas (como los bosques) se convertirían para la producción de cultivos (Van Zanten, 2018). Los pastos suelen establecerse en tierras marginales y una gestión inadecuada de los pastos conduce a la degradación de la tierra y contribuye a la pérdida de biodiversidad.

Por lo tanto, es necesario un cambio de mentalidad para añadir valor a los flujos de residuos de biomasa mediante la reutilización y/o el reciclaje de los residuos generados en el sistema. El sistema de agricultura, alimentación y residuos comprende los subsistemas de producción de cultivos, cría de animales, industria de transformación de alimentos/piensos, consumo y gestión de residuos. Aunque la producción ganadera es un gran consumidor de recursos agrícolas y una fuente de contaminación, también ofrece una serie de palancas y oportunidades que son fundamentales para la sostenibilidad de los sistemas alimentarios y la transición hacia una economía más circular. Entre ellas figuran la conversión de flujos marginales de biomasa en productos de alto valor, la conservación del carbono del suelo, los paisajes/biodiversidad y la integración con la producción de cultivos. Todo ello puede lograrse si se adoptan estrategias regionales flexibles para una mayor eficiencia y una economía circular.

### **4.2 Ganadería para valorizar la biomasa de paisajes marginales**

La ganadería es la mayor forma de uso del suelo en la Tierra, ya que ocupa el 30% de la tierra disponible. Sin embargo, es una importante fuente de sustento para más de 1.300 millones de personas y contribuye al 40% del PIB agrícola a nivel mundial (Smith et al., 2013). Las prácticas agrícolas actuales están ejerciendo una presión sobre los recursos de la Tierra hasta el punto de que existe el riesgo de que se produzcan daños importantes (Fernández-Mena et al., 2020). El sector ganadero compite con otros sistemas de uso del suelo por la tierra, el agua y la energía fósil. Las recientes tendencias de crecimiento de la población y la consiguiente demanda de alimentos de alta calidad siguen ejerciendo presión sobre los sistemas ganaderos para que mejoren su producción. Por lo tanto, hay que replantearse a fondo el papel y los conceptos de la ganadería y aprovechar mejor los



## **Digitalización para una ganadería sostenible**

escasos recursos de tierras. Las tierras marginales se consideran desde hace tiempo una forma de alimentar de forma sostenible al ganado, especialmente a los rumiantes. Las tierras marginales se han definido generalmente como aquellas que no se utilizan con fines agrícolas y, por tanto, no producen beneficios. Inicialmente, la definición se limitaba a la clasificación de las tierras utilizadas para la producción de cultivos, pero posteriormente se revisó para incluir otras formas de uso de la tierra, incluido el uso para la conservación de tierras seminaturales (Dale et al., 2010; Gopalakrishnan et al., 2011; Dauber et al., 2012), que se centra en la viabilidad económica y hace hincapié en la rentabilidad de la producción, pero también incluye las condiciones medioambientales, las técnicas de cultivo, las políticas agrarias y las condiciones macroeconómicas y jurídicas. Por lo tanto, desde una perspectiva agronómica, las tierras marginales pueden entenderse como tierras de cultivo no utilizadas o en barbecho, tierras de cultivo abandonadas y pastos abandonados (Gopalakrishnan et al., 2011). Desde una perspectiva económica, las tierras marginales incluyen aquellas que no son capaces de generar más valor del que se invierte en ellas. Entre ellas se incluyen las zonas con bajos índices de productividad del suelo en términos de sequía, humedad y duración del periodo vegetativo. También se clasifican como marginales las zonas con suelos poco profundos o pedregosos, suelos ácidos o salinos, suelos con deficiencias de nutrientes u otras condiciones químicas desfavorables. Esto también se aplica a la topografía, incluidos los suelos muy erosionables, inclinados y/o inaccesibles para los seres humanos o su maquinaria (Dale et al., 2010; Gopalakrishnan et al., 2011). La distribución espacial y la cuantificación de las tierras marginales no es coherente en todas las regiones, países y organizaciones. Campbell et al. (2008) estiman que existen aproximadamente entre 384 y 471 millones de hectáreas de tierras marginales en todo el mundo. Otros investigadores clasificaron alrededor de 1.600 millones de hectáreas de tierras como marginales a nivel mundial, debido principalmente a las limitaciones de temperatura. Kang et al. (2013) indicaron que las tierras marginales mundiales representan alrededor del 36% de las tierras agrícolas y ascienden a 1.300 millones de ha. La mayor parte de estas tierras no aptas para el cultivo se utilizan para la producción ganadera mediante pastos permanentes y praderas. Se calcula que alrededor del 70 % de las tierras del mundo se utilizan para la producción ganadera, principalmente como pastos y para la producción de cultivos forrajeros (van Zanten et al., 2015). Entre las tierras marginales, las tierras áridas representan unos 20,2 millones de km<sup>2</sup>, de los cuales el 74 % de los pastizales se encuentran en tierras áridas (Fu et al., 2021). La vegetación de estas tierras suele ser de mala calidad, las propiedades del suelo están por debajo de los requisitos de producción de cultivos y el terreno no es apto para el uso humano (Gopalakrishnan et al., 2011).

La producción ganadera, especialmente la de rumiantes, es una opción valiosa para mejorar estas zonas al convertir la biomasa (a menudo de mala calidad) de los pastos permanentes y las praderas en productos de alto valor, contribuyendo así a la seguridad alimentaria sostenible (van Zanten et al., 2015). Los rumiantes son capaces de descomponer el material vegetal fibroso gracias a una serie de microbios del rumen. Por lo tanto, los rumiantes pueden pastar en zonas marginales, como laderas de montañas o pastizales húmedos de baja altitud. Esto ayuda a utilizar las tierras agrícolas para la producción de alimentos (Eisler et al., 2014). La FAO estima que alrededor de 360 millones de bovinos y más de 600 millones de ovinos y caprinos dependen de las tierras de pastoreo en todo el mundo. Para más de 100 millones de personas que viven en zonas áridas, son



## **Digitalización para una ganadería sostenible**

la única fuente de sustento. También son una fuente de alimentos para al menos 800 millones de personas que padecen inseguridad alimentaria en todo el mundo (Smith et al., 2013).

El uso de tierras marginales para cultivos productores de bioenergía es cada vez más importante, ya que en el futuro la ganadería debería tender a limitarse a la utilización de subproductos/coprodutos y residuos alimentarios para apoyar los sistemas alimentarios. No debe subestimarse el papel crucial de la producción ganadera a nivel local en el apoyo a los sistemas agrícolas a pequeña escala, especialmente en los países en desarrollo.

### **4.3 Gestión de tierras con alto contenido en carbono**

El ganado contribuye a casi dos tercios de las emisiones procedentes de la ganadería, ya sea a través de actividades directas como los procesos metabólicos o indirectamente a través de actividades a lo largo de la cadena de suministro. Por otra parte, el ganado desempeña un papel en la regulación de los flujos de nutrientes, especialmente en las zonas de pastoreo, que se consideran zonas con un alto contenido de carbono. Los paisajes basados en pastizales con poblaciones dominantes de especies naturales de gramíneas, arbustos y árboles para alimentar a los rumiantes desempeñan un papel regulador en el mantenimiento de las reservas de carbono en estas zonas. Por lo tanto, proporcionan un fuerte impulso para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a través del secuestro potencial de carbono en los pastizales. Se ha comprobado que los pastizales no contribuyen al calentamiento global (FAO, 2019b). Whish et al. (2016) describen el potencial de secuestro de carbono significativamente mayor de los pastizales en Australia en comparación con las tierras de cultivo. Villanueva-López et al. (2015), destacando el papel de los pastizales en el almacenamiento de carbono, informan de que no hay diferencia entre los sistemas agrícolas basados en pastos y los que tienen árboles. Ambos desempeñan un papel importante en el almacenamiento de carbono. Además, el bioma de los pastizales es el mayor sistema de uso de la tierra del mundo, ya que cubre hasta el 40% (59 millones de km<sup>2</sup>) de la superficie y almacena entre el 10 y el 30% (245 Gt) del carbono orgánico del suelo mundial (Zhou, et al., 2019).

La optimización de la gestión de los pastizales podría aumentar el carbono orgánico del suelo (SOC) (FAO, 2019c). Las prácticas de gestión como la fertilización con abonos orgánicos (abonos de granja) no solo aumentan la biomasa vegetal, sino que también mejoran el SOC y la retención de SOC (12-15% de retención a largo plazo). El sobrepastoreo, por el contrario, podría tener un impacto negativo sobre el SOC, aunque los resultados al respecto no son consistentes. Una gestión más intensiva aumenta las emisiones de N<sub>2</sub>O debido a una mayor rotación del nitrógeno y a la fertilización de los pastos. Sin embargo, incluso en este caso, las complejas interacciones entre el pastoreo, la aportación de carbono al suelo y los procesos de descomposición podrían provocar un aumento o una disminución del SOC (Chang et al., 2021). En ello podrían influir los cambios en la gestión ganadera de los pastizales, la estabilidad del carbono acumulado en el suelo y la capacidad del suelo para almacenar más carbono en el futuro (Chang et al., 2021).



## 5 Integración de la producción agrícola y ganadera

La producción vegetal y la ganadería en Europa se han intensificado, especializado y separado espacialmente en el curso de la revolución verde (ATF, 2021). El proceso de intensificación ha ido acompañado de la estandarización de la cría de animales y de los sistemas de cultivo a todos los niveles y de la sobreexplotación de los recursos no renovables para responder a las limitaciones políticas y económicas (Lemaire et al., 2014). El paradigma de la intensificación ha reportado beneficios socioeconómicos a los agricultores, aumentando su escala de producción y la especialización de la mano de obra (EIP-Agri, 2017; Schut et al., 2021). La especialización también ha contribuido a reducir los precios de los alimentos y a mejorar el acceso a la nutrición de gran parte de la población. Sin embargo, también ha tenido un impacto negativo en el medio ambiente. Se han documentado consecuencias como la contaminación del agua debido a un exceso de estiércol agrícola en determinadas zonas y una gran dependencia de recursos minerales y piensos externos, la pérdida de biodiversidad y una menor resistencia a los cambios inducidos por el cambio climático. Estos impactos negativos están relacionados en parte con la separación de la producción agrícola y ganadera tanto a nivel de explotación como regional.

La transformación de los sistemas agrarios que ha tenido lugar en el último siglo ha favorecido la disociación de la producción agrícola y ganadera (Garrett et al., 2017). Varios factores contribuyeron a esta transformación: la creciente disponibilidad de fertilizantes minerales y piensos baratos, los elevados precios y subvenciones, la estabilidad de los precios de los productos y de los ingresos, y la creciente competencia económica entre zonas de producción, que llevó a algunas zonas a especializarse (Schut et al., 2021). Las especializaciones regionales beneficiaron a la creciente industria de servicios, ya que surgieron nuevos servicios de control de enfermedades, trabajo de campo, suministro de concentrados de alta calidad y servicios veterinarios, entre otros, que animaron a los ganaderos a especializarse aún más (Schut et al., 2021). Los avances tecnológicos en la producción agrícola y ganadera, el ordeño mecanizado y los fertilizantes sintéticos también fomentaron el proceso de especialización para aumentar la eficiencia, al tiempo que se reducía el número de explotaciones mixtas (Schut et al., 2021). Esta tendencia es más pronunciada en Europa Occidental, con explotaciones más grandes, mientras que Europa Oriental, con explotaciones más pequeñas, tiende hacia sistemas de explotación mixtos (Schut et al., 2021).

Sin embargo, la especialización se enfrenta hoy en día a numerosos retos provocados por la creciente volatilidad del mercado debido a la retirada de las políticas de intervención en el mercado, lo que supone un riesgo para los ingresos de los productores. En segundo lugar, las prácticas de producción de las explotaciones especializadas plantean graves problemas sociales y económicos. Contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero, a la contaminación del agua y del aire, a la salinización y a la pérdida de biodiversidad (ATF, 2019; Garrett et al., 2017; Ghimire et al., 2021; Schut et al., 2021). Debido a la especialización y la intensificación, las explotaciones dependen en gran medida de fertilizantes minerales y pesticidas que amplían los ciclos de nutrientes, especialmente el carbono, el nitrógeno y el fósforo. Como resultado, luchan por mantener el contenido de





## **Digitalización para una ganadería sostenible**

materia orgánica, lo que da lugar a un bajo C orgánico y reduce la fertilidad del suelo, mientras que las explotaciones ganaderas acumulan P en el suelo (ATF, 2019; EIP-Agri, 2017; Schut et al., 2021). La simplificación de las rotaciones de cultivos y la gestión intensiva de los pastizales con un uso excesivo de plaguicidas han provocado una pérdida de biodiversidad y de hábitats de vida silvestre (ATF, 2019).

La intensificación de la ganadería también ha agravado los problemas de salud y bienestar de los animales (Leenstra et al. 2013). Además, la sobreproducción local de estiércol líquido en explotaciones especializadas de aves de corral y cerdos constituye un grave problema medioambiental, entre otras cosas por el riesgo de eutrofización. Debido a la disponibilidad de fertilizantes de bajo coste, el estiércol de granja ya no se considera un recurso valioso para los cultivos herbáceos (ATF, 2019).

La elevada productividad actual de los sistemas agrarios europeos es el resultado de la especialización y la intensificación y proporciona beneficios socioeconómicos al agricultor (EIP-Agri, 2017; Schut et al., 2021). Otras ventajas de la especialización son la escala de las explotaciones, la dimensión social con una fuerte dependencia de la mano de obra familiar durante todo el año y la competencia por la tierra, en la que las grandes explotaciones tienden a aumentar sus tierras a expensas de las más pequeñas (Schut et al., 2021).

La Directiva sobre nitratos de la UE regula la carga ganadera por superficie y la aplicación de estiércol agrícola por hectárea. En Brasil, las políticas agrícolas pretenden integrar la producción agrícola, la ganadera y la forestal (Garrett et al., 2017). La UE ha decidido reforzar los vínculos entre la ganadería y la producción de cultivos y ha establecido prioridades de investigación e innovación con este fin (ATF, 2019; EIP-Agri, 2017). A través de la estrategia "De la granja a la mesa", la UE aspira a la transición hacia sistemas de producción ganadera justos, saludables y resilientes, y se propone reducir los costes de producción, mejorar la gestión del suelo, la calidad del agua y la biodiversidad, y reducir el uso de fertilizantes, pesticidas y emisiones de gases de efecto invernadero en beneficio de los agricultores y los ciudadanos.

La mejora del acceso a las herramientas TIC para su uso en la agricultura de precisión y la ciencia de los datos, debería ayudar a alcanzar los objetivos fijados (EU-C, 2020b). Esto debería conducir a una mayor capacidad para considerar las repercusiones medioambientales, sociales y económicas de las prácticas e innovaciones propuestas. El Pacto Verde de la UE se compromete a tomar medidas para restaurar los ecosistemas naturales, promover el uso sostenible de los recursos y mejorar la salud humana. El acuerdo aboga por la transformación digital para acelerar el cambio en el sector agrícola y por una consideración adecuada de las compensaciones entre los objetivos económicos, medioambientales y sociales. Diversos instrumentos políticos como la regulación, la normalización, la innovación y el diálogo sirven para reforzar este compromiso. Este compromiso se refleja en la propuesta de la Comisión de la UE de aumentar de forma responsable el objetivo de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la UE hasta al menos el 50% para 2030 y hacia el 55% en comparación con los niveles de 1990 (EU-C, 2019). Muchos países europeos han promulgado recientemente legislación

climática que establece por primera vez objetivos vinculantes de reducción de emisiones de GEI para el sector agrícola. La estrategia sobre el metano exige equilibrar tecnologías, mercados y dietas cambiantes para crear oportunidades de negocio sostenibles para los agricultores (EU-C, 2020a). El éxito de la reintegración de los sistemas agrarios exige alejarse de los planteamientos y conceptos tradicionales.

La Unión Europea apoya la introducción e integración de la agrosilvicultura en los sistemas agrícolas en el marco de la Política Agrícola Común (PAC). El término "agrosilvicultura" se utiliza para los sistemas en los que coexisten árboles y agricultura en tierras "forestales" o "agrícolas" para beneficiarse de las interacciones medioambientales y económicas resultantes. La PAC (2014-2020) establece objetivos para el establecimiento de superficies agroforestales, pero los programas aún no se han anunciado o no han sido suficientemente asumidos por los agricultores en varios países o regiones (en 2018 solo se ha ejecutado el 1,5 % de la superficie total prevista) (Burgess et al., 2018). La superficie total de agrosilvicultura en la UE-27 se estima en 15,4 millones de hectáreas, lo que representa el 3,6 % de la superficie territorial o el 8,8 % de la superficie agrícola utilizada.

## **6 Agricultura y protección del clima / neutralidad climática**

### **6.1 Propuestas para la neutralidad climática - Alemania**

En Alemania, se consideran necesarios tres ámbitos de actuación principales para lograr la neutralidad climática en el sector agrícola (Grethe et al. 2021):

1. Mejorar la eficiencia del nitrógeno
2. Reducir el consumo y la producción de productos animales
3. La rehumidificación de las turberas

Estos ámbitos de actuación tienen un potencial de reducción especialmente elevado, abordarlos tiene sentido desde el punto de vista económico y también aportan grandes contribuciones en otras dimensiones de la sostenibilidad. Los autores calculan que estas medidas pueden conducir a una reducción de las emisiones de GEI procedentes de la agricultura y del uso de las tierras agrícolas en Alemania de más de 100 millones de toneladas anuales en la actualidad a menos de 50 millones de toneladas anuales en 2045. En concreto, se recomienda lo siguiente para ello:

1. Mejorar la eficacia de la fertilización con nitrógeno.

Para 2030, los excedentes de N deberán reducirse a 70 kg N/ha, lo que supondrá una reducción de GEI de 3,5 millones de t CO<sub>2</sub> eq. anuales. Al mismo tiempo, se ahorrará otro millón de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> procedentes de la producción de fertilizantes minerales. Para 2045, los excedentes de N deberán reducirse también en 50 kg N/ha, con lo que se ahorrarán otros 1,5 millones de t CO<sub>2</sub> -equ. en la agricultura y se logrará un ahorro adicional en la producción de fertilizantes minerales. Para alcanzar este objetivo, se

propone un balance de flujo de materiales fiable, transparente y verificable para las explotaciones individuales y un impuesto sobre el N (50 céntimos/kg N).

2. Reducir el consumo y la producción de productos animales y cambiar la composición de su consumo.

Los productos animales, sobre todo la carne de vacuno, emiten muchos más gases de efecto invernadero que los productos vegetales. Una dieta con menos productos animales y más productos vegetales puede reducir significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub>. Si se redujera el consumo de productos animales en un 30%, en Alemania podrían ahorrarse unos 14 millones de t de CO<sub>2</sub> -equ. Esto se aplica bajo la premisa de que la reducción del consumo vaya acompañada de una reducción equivalente de la cría de animales. El estudio de Grethe et al. (2021) señala las considerables sinergias con otros objetivos de sostenibilidad. Los autores sugieren apoyar la transformación hacia una dieta más basada en plantas a través de la información, la educación, la restauración colectiva pública, una etiqueta climática gubernamental e incentivos de precios.

3. La rehumidificación de las turberas

Las turberas y pantanos de uso agrícola cubren algo menos del 7 % de las tierras agrícolas de Alemania. Los suelos de turberas drenados causan alrededor del 40% de las emisiones totales de GEI de la agricultura en Alemania. La rehumidificación de los suelos de turberas podría ahorrar más de 30 millones de t de CO<sub>2</sub> -equ. al año. En la actualidad sigue siendo objeto de debate si la rehumectación extensiva tiene éxito y si este potencial es alcanzable.

La estrategia alemana parte de la base de que se tomarán medidas dentro de Alemania: menores pérdidas de nitrógeno, menor consumo de alimentos de origen animal y, por tanto, reducción de la producción, y rehumectación de las turberas.

## **7 Digitalización en la ganadería**

### **7.1 Ganadería de precisión (PLF): ¿Qué es la PLF y por qué la necesitamos para la ganadería del futuro?**

Sobre la digitalización en la cría de animales, la Dra. Sabine Goetz ofrece un excelente resumen en el sitio web de EurA AG<sup>4</sup> :

"Debido al creciente tamaño de la cabaña ganadera, la escasez cada vez mayor de trabajadores cualificados, los elevados requisitos de calidad y las exigencias de mayor transparencia a lo largo de la cadena de valor, la ganadería se encuentra atrapada entre las prioridades contrapuestas del bienestar animal, la ecología, la economía y la sociedad. Cada vez más, el trabajo de los ganaderos no sólo es objeto de debate en la sociedad, sino también de críticas en relación con la cuestión de cómo debería ser en el futuro la ganadería

---

<sup>4</sup> <https://www.eura-ag.com/blog/digitalisierung-die-zukunft-der-tierhaltung>, recuperado el 14.05.2023



## **Digitalización para una ganadería sostenible**

en Alemania respetuosa con el bienestar animal. Además de las exigencias de mayor bienestar y salud animal, es importante producir alimentos de alta calidad de forma que se conserven los recursos y sea económicamente viable en condiciones de trabajo aceptables. Parece deseable una expansión de la agricultura ecológica, en la que la reducción de las necesidades energéticas es otra cuestión central en la producción de alimentos.

Hace 100 años, la agricultura de alta tecnología que conocemos hoy era impensable. Las soluciones digitales, como la maquinaria agrícola de funcionamiento autónomo, los sistemas automatizados de retirada de estiércol y ordeño, así como los robots de alimentación, están revolucionando la ganadería y prometen importantes avances hacia la sostenibilidad. Además, se pretende aumentar la transparencia de los procedimientos de producción y transformación y mejorar las condiciones de trabajo gracias a una mayor flexibilidad. Ahora se trata de aprovechar y seguir ampliando las posibilidades, al parecer ilimitadas, que abre la digitalización en la agricultura.

En el futuro, la robótica y la tecnología de sensores, con ayuda de la inteligencia artificial, serán indispensables en el cuidado individual y basado en las necesidades de los animales. En la actualidad, los podómetros, collares electrónicos y crotales pueden registrar con precisión el comportamiento (rumia, ingesta de alimento, tumbarse, etc.) de cada vaca y extraer conclusiones sobre su estado de salud. Las desviaciones en el comportamiento diario se comunican inmediatamente al ganadero por SMS para que pueda tomar medidas de gestión en una fase temprana. Esta forma de seguimiento y análisis individual de los animales, también llamada Ganadería de Precisión (PLF), ya se está aplicando en muchos ámbitos de la ganadería. La ganadería de precisión consiste en la aplicación de principios y técnicas de procedimiento para supervisar, modelizar y controlar automáticamente la producción animal. Se trata de la supervisión continua y automática de indicadores clave del rendimiento ganadero, como la salud/bienestar de los animales, la productividad y el impacto medioambiental, mediante sensores, sistemas autónomos, drones, robótica y telemática. Como en todos los ámbitos de la digitalización, la recopilación de big data para la optimización de algoritmos es el medio central para derivar y generar información.

A pesar del enorme potencial de las soluciones digitales, la ganadería es uno de los sectores menos digitalizados del mundo. En Alemania, los sistemas digitales se utilizan actualmente en la mitad de las explotaciones, distinguiendo entre distintos ámbitos:

- Conexión en red de máquinas, dispositivos, sensores, animales y usuarios mediante la comunicación a través de IoT.
- Ampliación de los sistemas de información mediante datos de sensores, para la representación de una operación virtual
- Sistemas de asistencia técnica para la agregación de datos y la derivación de información que sirvan para proporcionar un apoyo sólido a la toma de decisiones y la resolución de problemas.
- Ejecución autónoma de tareas por sistemas ciberfísicos (por ejemplo, modelos de predicción)
- El grado de digitalización de la ganadería también depende del tipo de animal y de las condiciones de cría.



## **Digitalización para una ganadería sostenible**

También es importante que, en el curso de la digitalización de la agricultura, las explotaciones individuales no queden excluidas de los procesos de transformación debido a su tamaño (por ejemplo, pequeñas explotaciones, explotaciones familiares, agricultura secundaria), orientación (por ejemplo, ecológica, convencional) o dirección de la producción (por ejemplo, cultivos herbáceos, producción ganadera, acuicultura), sino que también puedan beneficiarse de la automatización.

La digitalización de la ganadería y la ganadería de precisión permiten recopilar, almacenar, vincular y evaluar datos complejos sobre las explotaciones y la producción, lo que puede optimizar de forma sostenible el bienestar y la salud de los animales, así como los procesos de trabajo agrícolas, y posibilitar las comparaciones entre explotaciones en términos de eficiencia de los recursos y transparencia a lo largo de la cadena de valor. La digitalización como clave de la sostenibilidad y la eficiencia de los recursos".

Ilan Halachmi escribió en 2015 sobre la ganadería de precisión (PLF): "La tecnología de la ganadería de precisión (PLF) es una realidad. La PLF es una combinación del desarrollo de herramientas para detectar parámetros animales (sensores) y procesos de toma de decisiones a nivel de granja. También tiene el potencial de ayudar a los proveedores de piensos, minoristas de alimentación y otros agentes de la cadena de suministro a tomar mejores decisiones. El reto actual de la PLF es integrar la tecnología en la mayoría de las explotaciones, no sólo en las pioneras. La Asociación Europea de Producción Animal reúne investigaciones centradas en la evaluación en tiempo real de la combinación del desarrollo de sensores, la industria, la genética animal, la nutrición animal y la salud animal. Lo singular de este enfoque interdisciplinario es que científicos de ciencias animales, ingenieros, empresas y organizaciones agrarias trabajan juntos, combinando sus puntos fuertes y sus puntos de vista".

Las tecnologías PLF pueden ayudar a satisfacer la creciente demanda mundial de productos animales y, al mismo tiempo, ser más sostenibles. El consumo de productos animales como carne, leche y huevos se ha estabilizado en los países del primer mundo, pero se está disparando en los países en desarrollo. La agricultura tendrá que aumentar la producción para satisfacer la demanda, lo que abre la puerta a una mayor automatización e innovación tecnológica, una agricultura más intensiva y sostenible y aplicaciones de ganadería de precisión (PLF).

PLF proporciona tecnologías para supervisar cada componente de los procesos biológicos en la cría de animales con el fin de lograr una mayor eficacia de los distintos componentes del equilibrio energético metabólico en la conversión de los piensos en productos animales. Los sistemas PLF ofrecen un seguimiento y una gestión en tiempo real para alertar inmediatamente cuando los parámetros de los animales se salen de la norma, lo que permite al ganadero tomar medidas inmediatas. El control y la mejora continuos y totalmente automatizados de la salud, el bienestar, el rendimiento y el impacto medioambiental de los animales se convierten en una realidad. Esto se consigue mediante el uso de cámaras, micrófonos, sensores, etc. El PLF parte de la base de que, mediante la supervisión continua de los animales, los ganaderos podrán detectar y controlar la salud y el bienestar de sus animales en cualquier punto del proceso de producción (Berckmans





## **Digitalización para una ganadería sostenible**

2015). La PLF utiliza tecnologías automatizadas y mecanizadas para perfeccionar procesos, procedimientos o recopilar información para la gestión de las explotaciones lecheras. Las tecnologías de ganadería lechera de precisión ofrecen enormes oportunidades para mejorar la gestión individual de los animales en las explotaciones lecheras (Bewley et al. 2015).

En el futuro, será cada vez más importante aumentar la eficiencia de la producción: más productos animales con menos ingesta de pienso y, en consecuencia, con menos aplicación de estiércol, menos emisiones, menos infecciones y menos pérdidas.

Los indicadores precoces de problemas médicos, que utilizan sensores para alertar a los propietarios de animales de compañía de que necesitan cuidados especiales en una fase temprana, están en alza. Las tecnologías vestibles dominan el mercado. En los sistemas de menor valor por animal, como ovejas, cabras, cerdos, aves de corral y peces, prevalecerá un sensor, por ejemplo una cámara o un robot por rebaño/escuela, en lugar de un sensor por animal. Los sensores PLF generan enormes cantidades de datos y muchas partes interesadas se benefician de los datos PLF. En la actualidad, no existen normas para compartir los datos de los sensores, lo que limita el uso de sensores comerciales. Las tecnologías que proporcionan datos precisos pueden mejorar las operaciones bien gestionadas. Es fundamental desarrollar métodos para transformar los datos en soluciones procesables (Halachmi et al. 2018).

En el área de la alimentación, por ejemplo, hay varias oportunidades sin explotar para mejorar la gestión, como la alimentación multimal, el ajuste de la composición de la dieta, la regulación del apetito, la absorción postruminal de nutrientes, y la energía y el metabolismo celular para mejorar la eficiencia de conversión de alimentos en el ganado (Kenny et al., 2018).

Una forma importante de mejorar la eficiencia de la producción animal es reducir el número de problemas sanitarios, ya que éstos siempre provocan pérdidas de producción. El bienestar animal está estrechamente ligado a la salud de los animales, ya que los animales estresados necesitan energía alimentaria para hacer frente al estrés, y ésta ya no está disponible para la productividad. Además, los animales estresados tienen un sistema inmunitario debilitado, lo que aumenta el riesgo de infecciones.

Un ejemplo de tecnología PLF es un análisis automático con cámara para detectar cojeras en vacas lecheras (Viazzi et al., 2013). La cojera es un importante problema de salud y bienestar en las vacas lecheras modernas, que puede afectar gravemente hasta un 25 %. En la literatura se describen más de 200 posibles causas. Se trata de reconocer los primeros signos de cojera lo antes posible para iniciar el tratamiento de inmediato. Una cámara filma a cada vaca cada vez que sale del robot de ordeño. La puntuación de la marcha se determina mediante un algoritmo que realiza un análisis de la marcha basado en el vídeo. Gracias al análisis de imágenes y al cálculo de los parámetros del modelo a partir de la información de las imágenes, se ha podido desarrollar un algoritmo para la detección automática de problemas de cojera en vacas lecheras. Este tipo de técnicas permiten realizar un seguimiento frecuente y totalmente automatizado de cada vaca, algo que a





## **Digitalización para una ganadería sostenible**

menudo está fuera del alcance del ganadero. En cuanto cambian los parámetros calculados de la marcha de cada animal, el ganadero recibe un aviso.

## **7.2 Estrategia de digitalización del Ministerio Federal de Alimentación y Agricultura**

La estrategia de digitalización del BMEL alemán a partir de 2022 (BMEL 2022) establece:

"El término digitalización tiene dos significados. Por un lado, se entiende como la transferencia de información del almacenamiento analógico al digital. Por otro, describe la automatización de procesos y modelos empresariales mediante la interconexión de tecnología digital, información y personas. Con la ayuda de las aplicaciones digitales, hoy en día pueden optimizarse no solo las fases individuales de los procesos, sino cadenas de valor enteras. La digitalización afecta a todos los ámbitos de la sociedad y las industrias y da lugar a nuevos modelos de negocio. Ayuda -también en el sector agrícola- a recopilar, procesar y evaluar sistemáticamente cantidades cada vez mayores de datos.

Para aprovechar al máximo las nuevas tecnologías digitales y los volúmenes de datos resultantes, también está aumentando la importancia del uso de la inteligencia artificial (IA). Las tecnologías de IA ayudan a las personas, por ejemplo en la planificación y el control cooperativos de máquinas en estructuras complejas como la agricultura. Su uso ayuda a conservar recursos y a simplificar procesos de trabajo complejos. Entre otras cosas, esto ayuda a que la agricultura sea más sostenible, a promover el bienestar de los animales y a combatir el desperdicio de alimentos.

Los beneficios de la digitalización son enormes, pero las consecuencias de la transformación digital aún no son previsibles en todos los ámbitos. Lo que está claro es que las tecnologías digitales traerán consigo cambios significativos, oportunidades y retos para una amplia gama de sectores. Además de una mayor flexibilidad en los procesos de trabajo, habrá procesos de trabajo nuevos y rediseñados. También cambiará el ritmo de los flujos y procesos de trabajo. Porque la digitalización trae consigo una enorme dinámica y aceleración, gracias a tiempos de transmisión cada vez más cortos, mayores capacidades de transmisión de datos y un procesamiento de datos más rápido".

La estrategia de digitalización del BMEL abarca los ámbitos de la tecnología de sensores, la robótica, la automatización, la inteligencia artificial y los macrodatos. El origen de los datos y su soberanía son aspectos importantes que aún no se han aclarado del todo. En el ámbito de los establos, el BMEL señala tecnologías automatizadas como robots de ordeño, limpiadores de rejillas, sistemas de ventilación o comederos automáticos, que ya se utilizan ampliamente. Además, existe un control de la salud y el comportamiento con sensores y cámaras, que aún está en fase de desarrollo.

En la agricultura pueden distinguirse distintas etapas de digitalización. En la primera, sólo se utiliza un producto "digital". La siguiente etapa es un producto más inteligente: por ejemplo, un tractor con varios controles digitales. La tercera etapa describe un producto inteligente conectado en red. Aquí, el tractor está conectado en red con la ayuda de programas de gestión que pueden recibir y procesar diversos datos. El nivel 4 de digitalización describe un sistema de producción conectado en red digitalmente. En este



## **Digitalización para una ganadería sostenible**

caso, no sólo se conecta el tractor individual, sino también el equipo necesario en función del sistema de producción o de la fase de trabajo. El nivel más alto de digitalización describe un sistema de sistemas en el que los distintos sistemas se comunican entre sí (BMEL 2022).

El BMEL ve las oportunidades de la digitalización en la optimización de los procesos de trabajo, la adquisición de información precisa, la optimización de la gestión, la mejora de la productividad y la mejora de la eficiencia económica. Entre los riesgos, se mencionan la posible reducción de la competitividad de las empresas de tecnología agrícola más pequeñas, la soberanía de los datos, la seguridad de los datos, la necesidad constante de formación continua, el aumento de las exigencias laborales y la posible aceleración del cambio estructural hacia explotaciones más grandes.

### **7.3 Tecnología disponible actualmente para la digitalización en ganadería**

La estrategia de digitalización del BMEL a partir de 2022 describe que los componentes autónomos, pero también los sistemas completamente automatizados, ya están muy extendidos en los establos. "Se trata de robots de ordeño, limpiadores de rejillas, sistemas de ventilación o comederos automáticos. Los sistemas automáticos de ordeño utilizados hoy en día en el establo determinan la cantidad de leche de cada vaca y son capaces de evaluar el estado general de salud, por ejemplo, a partir de los ingredientes de la leche. De este modo, las enfermedades pueden detectarse más rápidamente y tratarse con eficacia. La detección precoz de enfermedades contribuye al bienestar animal, reduce los costes de tratamiento y mejora la rentabilidad de la explotación. Los robots también se utilizan ya para la alimentación básica, la limpieza de las zonas de paseo y el movimiento de las vallas de los pastos. Cada vez se automatizan más tareas en el establo en beneficio de los animales. Además, los datos de proceso de los sistemas técnicos del establo (por ejemplo, sistema de ordeño, alimentación y ventilación), así como los datos específicos de los animales (por ejemplo, movimiento, alimentación y actividad animal, vocalización) pueden registrarse ahora con un gran número de sensores. El animal individual pasa a primer plano en diversos planteamientos de control de la salud y el comportamiento. Los sensores permiten obtener información cada vez más detallada sobre los animales".

En las actas de la conferencia de 2021 "Smart Barning - Digitalisation in Farm Animal Husbandry" de la Sociedad Internacional de Ganadería, Kathrin Asseburg y Andreas Pelzer ofrecen una visión general de la ganadería lechera asistida por sensores: "En los últimos años, los sensores se han utilizado principalmente en el proceso de ordeño. Registran el flujo de leche, el tiempo de ordeño, la cantidad de leche y controlan procesos durante el ordeño como el control de la estimulación, la pulsación, así como el post-ordeño y la retirada automática. Además, ahora también pueden analizar el color o los ingredientes de la leche y proporcionar al ganadero la información correspondiente sobre las vacas. Resulta evidente que el uso actual es ya tan diverso que la información correspondiente, que se recopila en torno al animal 24 horas al día, 7 días a la semana, también debe evaluarse de forma inteligente y dirigida. Por regla general, deben utilizarse distintas fuentes de datos para la toma de decisiones. Cuanto más holísticamente se vea y se procese un sistema o

una acción, más éxito tendrá una aplicación orientada a la producción de los diferentes procesos o decisiones.

Incluso antes del parto, los sensores informan al ganadero del comienzo del parto. Por ejemplo, la temperatura corporal de la vaca se mide mediante un bolo ruminal: cuando se rompe la bolsa amniótica, la temperatura cambia. En ese momento, el sistema combina los datos de sensores y no sensores en la unidad de control para poder generar la indicación "parto". Otra posibilidad es detectar el inicio del parto mediante un sensor de posición colocado en la región púbica externa del animal. En este caso, el sensor detecta cuando ésta se ensancha y envía al ganadero la indicación del inicio del parto. Los respondedores se utilizan desde hace varios años para la identificación sin contacto del ganado. Ya los llevan los terneros para recibir su ración diaria de leche en los comederos automáticos. En esta fase de la vida, los sistemas individuales tienen la opción de proporcionar al ganadero señales visuales sencillas adicionales sobre los animales llamativos. Las luces de colores de los respondedores señalan automáticamente a los terneros que pueden no haber bebido lo suficiente o que están inusualmente inactivos. Además, esta información está disponible en los dispositivos finales, como PC, tableta o smartphone.

Los simples respondedores para la identificación sin contacto de los animales han sido sustituidos hace tiempo por respondedores que utilizan sensores para registrar la masticación de los animales adultos. Además, los tiempos de actividad se registran con sensores de aceleración, que calculan la actividad de un animal evaluando los tiempos de inactividad. De ahí se pueden derivar parámetros fisiológicos. La vigilancia del celo, por ejemplo, se controla de este modo mediante sensores. El sensor registra un aumento de la actividad del animal durante el periodo de celo y, además, los datos no procedentes del sensor del ordenador se utilizan para asignar el periodo de lactación actual a través del día de lactación actual. Con ayuda de estos datos, se comprueba si puede haber celo. Si los datos coinciden, se genera la indicación "celo". En conexión con los sistemas de localización y seguimiento, es posible determinar la ubicación exacta de la vaca en el establo. Esto ahorra al ganadero, en particular, la búsqueda, a menudo larga, de los animales para medidas rutinarias, como la inseminación o los exámenes de preñez. La información y documentación sobre el paradero de las vacas también proporciona al ganadero los horarios diarios de comida, reposo y parada de los animales. Estos datos se utilizan para crear un patrón de comportamiento de cada animal. Si se producen desviaciones de este patrón de comportamiento, el ganadero es informado y puede reaccionar en consecuencia. Una gran parte de los establos lecheros disponen de tecnología de ventilación y refrigeración para proteger a las vacas de las altas temperaturas en verano. Evitar el estrés térmico significa actuar antes de que se produzca. Para ello, se instalan sensores en las instalaciones técnicas que registran continuamente los cambios climáticos. Los principales datos registrados son la temperatura y la humedad. A partir de los datos climáticos registrados se generan señales que controlan los equipos de refrigeración y ventilación. La iluminación de los establos lecheros también puede controlarse mediante sensores. Dependiendo de la disponibilidad y la intensidad de la luz



## **Digitalización para una ganadería sostenible**

diurna, se enciende o se apaga. Con el inicio de la lactación de una vaca, los sensores de la tecnología de ordeño registran diariamente muchos datos diferentes de cada animal. Se pueden medir los parámetros de calidad de la leche y sus componentes (por ejemplo, el contenido de proteínas, grasa y células): Los contenidos de proteínas, grasa y células, la temperatura de la leche y la conductividad) pueden medirse con diferentes sensores."

Stachowicz et al. (2021) informan en las actas de la misma conferencia sobre los sistemas de cercados virtuales - alta tecnología en la gestión de pastos: "El uso de cercados es un componente básico de la gestión actual de pastos en Europa y en muchos otros países del mundo. Pero no siempre ha sido así. Las primeras formas de ganadería productiva fueron el pastoreo nómada, una forma muy dinámica y flexible de gestión de los pastos. Más tarde se recurrió cada vez más a las vallas, que limitaban la flexibilidad. Sólo la cerca eléctrica volvió a cambiar algo esta situación, ya que permite una reubicación más fácil. Con el avance de la digitalización, está surgiendo una nueva solución en el ámbito del vallado, que de nuevo permite un ajuste más flexible. El siguiente paso tecnológico es la llamada valla virtual. En este caso, se proporciona una infraestructura para cercar zonas de pastoreo sin una barrera física. Los sistemas se desarrollan y patentan desde hace 50 años. La patente más antigua se registró en 1971 y describe la llamada Valla Invisible, que hoy en día se encuentra sobre todo en los jardines de los dueños de perros y gatos, pero también se utiliza a pequeña escala con las vacas. Este sistema se basa en un cable de inducción con un campo electromagnético de baja potencia que rodea la zona de pastoreo. El desarrollo más reciente nos lleva a los sistemas de cercados virtuales basados en GPS, que están disponibles comercialmente para vacas, ovejas y cabras desde hace unos años. Actualmente se pueden adquirir tres sistemas de vallado virtual basados en GPS para el ganado, el "eShepherd™" de Agersens (Melbourne, Australia), "Vence" del fabricante del mismo nombre (San Diego, California) y "Nofence Grazing Technology" de la empresa Nofence AS (Batnfjordsøra, Noruega). El sistema de valla virtual de Nofence consiste en un collar con GPS integrado, que permite seguir al animal acoplándolo a una aplicación para smartphone. Para utilizar el sistema, primero se define una zona de pastoreo virtual a través de la aplicación. Junto a la zona de pastoreo hay tres zonas fronterizas, una detrás de otra, cada una con una profundidad de unos 3 m. Las zonas fronterizas están situadas fuera de la zona de pastoreo. Dado que las zonas limítrofes se encuentran fuera de la zona de pastoreo vallada, no es necesario delimitar una zona de pastoreo adicional para ellas. En cuanto un animal con collar activado entra en la primera zona fronteriza, suena una señal acústica como advertencia. La señal acústica consiste en una escala de tonos creciente, que se emite entre 5 y 20 segundos dentro de la primera zona fronteriza, en función de la velocidad del animal. Debido a la señal acústica de advertencia, el efecto de la valla virtual es predecible para el animal y, por tanto, comparable a la advertencia visual de una valla eléctrica. Si un animal cruza el límite virtual previamente definido y llega al final de la primera zona delimitada, se emite un impulso eléctrico a través del collar. Si el animal sigue su camino, la secuencia de impulsos acústicos y eléctricos se repite en las dos zonas siguientes. Una vez atravesadas las tres zonas límite, las señales de advertencia y los impulsos eléctricos del collar GPS se desactivan automáticamente y el ganadero recibe una



## **Digitalización para una ganadería sostenible**

notificación por teléfono móvil. Una vez desactivado el sistema, el ganadero puede consultar la información sobre el ID del collar y, por tanto, la ubicación de la vaca a través de la aplicación. Cuando el animal vuelve a los pastos, el sistema se reactiva.

La ventaja de una valla virtual es su gran potencial para flexibilizar de nuevo la gestión de los pastos sin aumentar significativamente el tiempo de trabajo necesario. Una valla virtual puede instalarse automáticamente en muy poco tiempo, lo que permite métodos nuevos y muy flexibles de gestión de los pastos. Es especialmente adecuada para lugares marginales o de difícil acceso y para grandes superficies, donde la construcción de vallas es especialmente costosa y requiere mucha mano de obra. Las vallas virtuales también pueden ofrecer ventajas significativas en términos de protección de la fauna y el ganado. Un sistema de valla virtual no tiene barreras, lo que permite a la fauna silvestre atravesar su hábitat sin restricciones. Esto puede evitar accidentes, prevenir lesiones y evitar la caída de piezas de caza. Especialmente en el caso de especies en peligro de extinción, como el urogallo, las vallas virtuales podrían tener un efecto positivo en la población. También para los animales de pastoreo, el riesgo de lesiones puede reducirse con una valla virtual. Especialmente en situaciones peligrosas, entre las que se incluyen cada vez más fenómenos meteorológicos extremos (por ejemplo, inundaciones, incendios, corrimientos de tierra), una valla virtual permite a los animales escapar sin obstáculos. Además, los sistemas de vallas virtuales tienen una energía de impulso considerablemente menor que las vallas eléctricas convencionales, que pueden funcionar con hasta 5 julios. Además, con los cercados virtuales, el impulso eléctrico puede aplicarse de forma controlada en las partes del cuerpo menos sensibles al dolor. En cambio, con las cercas eléctricas convencionales, el primer contacto suele producirse con un impulso de corriente en la región boca-nariz, especialmente sensible.

La llegada de las vallas virtuales no sólo aporta ventajas, sino también nuevos retos. Para que funcionen correctamente, el posicionamiento de los animales debe ser preciso. Un posicionamiento impreciso puede repercutir negativamente en el éxito del aprendizaje de los animales y, posiblemente, hacer que éstos reciban impulsos de corriente incluso dentro de la zona de pastoreo especificada. Para evitarlo, el terreno debe seleccionarse con la precisión adecuada a la hora de definir los límites de los pastos, ya que los edificios, los árboles altos o las pendientes pronunciadas, en particular, pueden dificultar la transmisión de la señal. Además, para el sistema no-fence debe tenerse en cuenta la cobertura de telefonía móvil con un estándar actual de 2 G. Otro reto importante es la alimentación eléctrica de los collares GPS. Ésta se realiza manualmente mediante pilas recambiables, a las que se suministra energía adicionalmente a través de dos paneles solares instalados permanentemente en el collar. La duración de la batería depende en gran medida de la calidad de la cobertura de telefonía móvil o de la transmisión de la señal, así como de la frecuencia de las actualizaciones de la posición de los animales. Esto último ocurre con mayor frecuencia cuanto mayor es la actividad del animal y cuanto menor es la distancia entre el animal y el límite virtual de la valla. Esto significa que el suministro de energía debe garantizarse cargando las baterías a intervalos variables. Además, se necesitan estrategias





## **Digitalización para una ganadería sostenible**

en relación con la señalización adecuada de las zonas de pasto virtualmente cercadas. Especialmente en las zonas migratorias, hay que concienciar a la gente de que no entre en los pastos y, por tanto, del posible contacto con las vacas y, en el caso de los pequeños rumiantes, con los perros guardianes. Además, el uso de un collar eléctrico plantea problemas de bienestar animal. Un aspecto importante es el estrés que pueden experimentar los animales al utilizar una valla virtual. Esto depende en gran medida de la capacidad, así como de la rapidez, de los animales para aprender el sistema de vallado virtual y poder evitar así los estímulos electrónicos. Por consiguiente, los sistemas de cercados virtuales aún no están aprobados en todos los países.

Las primeras investigaciones sobre vallas virtuales en vacas lecheras en Australia demostraron que los animales aprenden el concepto de valla virtual y permanecen en la zona vallada virtualmente (Langworthy et al. 2021). Además, se demostró que el bienestar de las vacas no se ve afectado en comparación con una valla eléctrica (Verdon et al. 2021). Sin embargo, el estado de los conocimientos sobre los sistemas de cercados virtuales aún está en pañales. En los estudios publicados hasta ahora, las vacas no fueron entrenadas activamente. Por lo tanto, sigue pendiente la cuestión de si el aprendizaje de un sistema de vallado virtual puede facilitarse al principio mediante el uso simultáneo de señales visuales, como una cinta de señalización en el suelo o una valla erigida. La viabilidad de este tipo de aprendizaje también es aún incierta, ya que podría ser necesario un aprendizaje repetido y, por tanto, menos practicable, especialmente tras fases de alojamiento más largas, como el periodo de alimentación invernal. Además, faltan estudios sobre los efectos a largo plazo de las vallas virtuales en el bienestar de los animales. Por último, es necesario aclarar si los sistemas de cercados virtuales son adecuados para diferentes razas, clases de edad, sistemas de pastoreo y regiones, por ejemplo, y cuáles son. Varios institutos de investigación investigan actualmente esta nueva tecnología. Agroscope, el centro federal de competencia para la investigación agrícola, tiene previsto realizar este año un ensayo en el que se examinarán con más detalle algunas de estas cuestiones. Suiza es uno de los países donde actualmente no están permitidas las vallas virtuales.

Las vallas virtuales constituyen un interesante enfoque tecnológico para optimizar la gestión de los pastos y, en particular, favorecer la conservación de la fauna y la biodiversidad. Especialmente en la agricultura de montaña, como ocurre en la región D-A-CH, las vallas virtuales pueden servir de apoyo a la agricultura y preservar así nuestro paisaje cultural. Queda por ver cómo se demostrarán en la práctica las vallas virtuales y si se podrán superar a largo plazo las preocupaciones por el bienestar de los animales. Los primeros resultados de la investigación bibliográfica sobre vallas virtuales son positivos. Agroscope también llevará a cabo un ensayo este año sobre el tema del éxito del aprendizaje y el bienestar de las vacas en el contexto de las vallas virtuales."

Se puede encontrar más bibliografía en las actas "PRECISION LIVESTOCK FARMING '22" - 10<sup>th</sup> European Conference on Precision Livestock Farming: Lebreton, C. Allain, C. Charpentier, M. D'Introno, A. Fischer, W. Lonis, E. Nicolas, A. Hilibert: "¿Son adecuados los





## **Digitalización para una ganadería sostenible**

sensores GPS y la clasificación basada en la densidad para garantizar la trazabilidad de las vacas lecheras en los pastos? T. Chamberlain, S. Kodam, J. M. Wilkinson, J. Rivero, A. Mead: "Grazing behaviour of cows can be predicted from accelerometer data using LoRaWAN to track activity in real time on commercial dairy farms" y J. Plum, I. Dufrasne, B. Quoitin, S. Mahmoudi, F. Lebeau: "Development and evaluation of an autonomous and automatic monitoring system for grazing cattle".

En el Instituto Leibniz de Ingeniería Agrícola y Bioeconomía (ATB) también se están llevando a cabo numerosos proyectos de investigación sobre el tema de la "digitalización en la ganadería". En los proyectos "DigiMuh" (prevención individualizada y de cría del estrés térmico mediante digitalización en la cría de vacas lecheras) y "KAMI" (inteligencia artificial para el registro de la respiración en vacas lecheras) y MediCow (evaluación individualizada del riesgo de mastitis en la cría de vacas lecheras mediante sensores, digitalización e inteligencia artificial), la atención se centra en el bienestar animal, la salud y la prevención del estrés térmico.

DigiMuh: En el marco de la ganadería de precisión (PLF), ya se utilizan con éxito sistemas de sensores específicos para animales con el fin de mejorar la gestión del rebaño y la detección precoz de desviaciones de comportamiento en las vacas lecheras, por ejemplo para la detección del celo o durante el ordeño mediante sensores integrados en el sistema de ordeño automático (AMS). La detección del celo y el control de la salud se realizan principalmente con métodos de medición externos: Transpondedores de collar, podómetros y crotales (por ejemplo, Lely, GEA, Nedap, Smartbow, IceRobotics). Los sensores externos registran principalmente la actividad, en parte los tiempos de masticación. Otros sensores (temperatura corporal, respiración, pH del rumen, frecuencia cardíaca, etc.) están aún poco implantados en la cría económica de vacas lecheras. Un estudio con 2.175 vacas lecheras ha demostrado que la mastitis y la neumonía pueden detectarse a través de la temperatura corporal (registrada mediante el bolo ruminal). Sin embargo, actualmente no existe ningún sensor único como sistema de alerta precoz que tenga suficiente sensibilidad (debería rondar el 80%) y especificidad (alrededor del 99%), por lo que urge mejorar la tasa de detección. Se ha demostrado que ésta puede mejorarse considerablemente combinando diferentes sensores. Rutten, Velthuis analizaron un total de 126 publicaciones y 139 sistemas de sensores descritos para la gestión de la salud de las vacas lecheras en un amplio estudio bibliográfico. Según éste, los sensores y sistemas de sensores para la gestión de la salud animal basada en datos pueden describirse en cuatro niveles: Tecnología (Nivel I): Los datos de los sensores proporcionan información de las áreas individuales de la vaca (fisiología, comportamiento, rendimiento); Interpretación de los datos (Nivel II): a través de modelos y algoritmos validados, se dispone de información sobre el estado de la vaca, por ejemplo, cambio en la actividad para la detección del celo; Integración de la información (Nivel III): Modelos de ayuda a la toma de decisiones a escala individual y a nivel de rebaño que tienen en cuenta más información (por ejemplo, susceptibilidad a enfermedades, generación de consejos); Decisión (Nivel IV): el ganadero (o un algoritmo) toma una decisión. Muchos estudios presentaron sistemas de sensores en los niveles I y II,



## **Digitalización para una ganadería sostenible**

pero no en los niveles III y IV, por lo que aún no existe un enfoque listo para el mercado que integre información de distintos sensores para generar apoyo a la toma de decisiones para los ganaderos.

Lo que hace falta es desarrollar un sistema de alerta precoz que avise en caso de enfermedad o aparición de estrés por calor para evitar restricciones en el bienestar animal. El cambio climático y el alto rendimiento lechero hacen que las vacas sean más susceptibles al estrés térmico. El estrés térmico, a su vez, afecta al bienestar animal, a la producción de leche (unos 2,4 kg menos de leche por animal por día adicional de estrés térmico moderado) y a la morbilidad, lo que se traduce en pérdidas económicas (por ejemplo, en la industria láctea estadounidense: 897 millones de dólares al año de media).

La tolerancia al estrés térmico también está determinada, al menos en parte, genéticamente. Casi todos los estudios disponibles en el mundo han utilizado hasta ahora datos de campo para los estudios genéticos, asignando los datos climáticos regionales habituales a la ubicación de la granja respectiva. Las mediciones en animales individuales han sido escasas hasta ahora debido a problemas técnicos y a los costes.

DigiMuh tiene como objetivo la prevención individualizada y basada en la cría del estrés térmico en vacas lecheras mediante el desarrollo de un sistema de alerta temprana y un sistema de vigilancia de la salud que activa una alarma en caso de enfermedades o de aparición de estrés térmico. Se muestran al ganadero las recomendaciones de actuación específicas para cada animal y las decisiones de gestión relativas a las contramedidas oportunas. El objetivo es desarrollar un prototipo listo para usar del software de aplicación para la granja piloto seleccionada.

## **KAMI**

El proyecto "KAMI" está dedicado a las formas de registrar la respiración en vacas lecheras, ya que se trata de un parámetro muy sensible al estrés. Con el fin de mejorar la gestión del rebaño y la detección precoz de enfermedades en las vacas lecheras, ya se han desarrollado y utilizado con éxito sistemas de sensores específicos para animales en el curso de la ganadería de precisión, por ejemplo para la detección del celo, la detección de la rumia o el control de la calidad de la leche en el AMS. En los últimos años, además de los métodos basados en sensores, también se han utilizado cada vez más procedimientos de imagen en las vacas, por ejemplo para registrar regularmente su puntuación de condición corporal, posibles cojeras, la dinámica del rebaño, el aumento de los niveles de estrés y la temperatura corporal, así como las frecuencias cardíaca y respiratoria.

Otros sensores (temperatura corporal, respiración, pH ruminal, frecuencia cardíaca, etc.) siguen utilizándose poco en la ganadería lechera. Los estudios ya han demostrado que la frecuencia respiratoria de las vacas lecheras en particular es un parámetro muy sensible



## **Digitalización para una ganadería sostenible**

que puede indicar una situación de estrés (por ejemplo, estrés por calor, estrés en un entorno desconocido, miedo en el robot de ordeño, dolor, esfuerzo físico), así como procesos patológicos (enfermedades del tracto respiratorio superior e inferior) y la gravedad de la condición de estrés en una fase temprana. El método habitual para determinar la frecuencia respiratoria del ganado consiste en contar visualmente los movimientos de los flancos por unidad de tiempo (respiraciones por minuto). Sin embargo, la detección visual de la frecuencia respiratoria requiere mucho tiempo y trabajo, y puede interferir con los animales y su frecuencia respiratoria debido a la necesidad de que haya una persona presente. Sin embargo, las tecnologías de sensores actuales para registrar la frecuencia respiratoria tienen que acoplarse al animal y a menudo requieren una conexión WLAN o a internet en el establo. Un sistema de alerta temprana en caso de enfermedad o aparición de estrés sería especialmente deseable para evitar restricciones en el bienestar de los animales y pérdidas económicas para el ganadero.

El proyecto "KAMI" está desarrollando un prototipo para el registro automatizado, basado en imágenes e individual de la respiración de las vacas. La respiración es uno de los parámetros más sensibles de la vitalidad y la salud e indica precozmente las desviaciones del estado normal. Hasta ahora, la respiración no puede registrarse individualmente para cada animal y sin contacto, ni puede evaluarse y traducirse en recomendaciones de actuación.

El proyecto "MediCow" trata de la detección precoz de la mastitis. La mastitis es la enfermedad más cara y común en la ganadería lechera y genera unos costes de unos 125 euros por vaca y año al reducir la producción y calidad de la leche, así como el rendimiento reproductivo y la vida útil de las vacas. La enfermedad puede estar causada por más de 150 especies bacterianas, pero sólo 10 son responsables de la gran mayoría (95%) de las infecciones en todo el mundo. Se estima que la incidencia de la mastitis subclínica es entre 15 y 40 veces superior a la de la mastitis clínica. Por lo tanto, los casos de mastitis subclínica tienen una importancia económica especialmente elevada. El tratamiento y la prevención de la mastitis es la principal razón del uso de antibióticos en las explotaciones lecheras, cuyo uso extensivo conlleva un mayor riesgo de aparición de microorganismos resistentes a los antimicrobianos (AMR) que pueden entrar en la cadena alimentaria y afectar a la salud humana.

Los métodos de diagnóstico de la mastitis van desde las pruebas asociadas a los animales hasta las pruebas de laboratorio. Los métodos convencionales incluyen la determinación del recuento de células somáticas (CCS), basado en el recuento de leucocitos. Es uno de los indicadores más fiables de mastitis y actualmente está integrado en muchos programas de mejora de rebaños lecheros (DHI) y sistemas de ordeño automático (AMS). Los métodos basados en cultivos siguen siendo el patrón oro para la detección de mastitis y utilizan medios de selección específicos para identificar patógenos en la leche. Sin embargo, las



## **Digitalización para una ganadería sostenible**

detecciones basadas en cultivos requieren mucho tiempo (aproximadamente 48 h desde el muestreo hasta la identificación del patógeno) y a menudo requieren pruebas bioquímicas adicionales para la identificación de las especies. Cada vez se utilizan más los métodos moleculares para la detección directa de los patógenos de la mastitis (basados en secuencias). Las técnicas de PCR son muy sensibles (76,9 - 100 %) y mejoran el diagnóstico de la mastitis clínica en un 30 %. Además, los resultados de las pruebas PCR están disponibles en un tiempo significativamente más corto que con los métodos de cultivo y también es posible una cuantificación de la concentración de patógenos. Una mejora drástica en la identificación de patógenos se consigue con los métodos de detección por espectroscopia de masas (por ejemplo, Ionización por Desorción Láser Asistida por Matriz-Tiempo de Vuelo = MALDI-TOF MS). Alcanzan una especificidad y sensibilidad del 100 % en la identificación de agentes infecciosos específicos. Los biomarcadores se utilizan en el diagnóstico de la mastitis para medir los procesos de reacción biológica y patológica como respuesta inmunitaria a la mastitis. Hay péptidos y enzimas que migran a la leche durante una infección de mastitis y pueden detectarse allí. Objetivos como la N-acetil-d-glucosaminidasa (NAG), la  $\beta$ -glucuronidasa, la catalasa, la lactato deshidrogenasa (LDH) y las proteínas de fase aguda (APP) han demostrado ser adecuados para la identificación de la mastitis. Los estudios de asociación del genoma completo son una herramienta importante para la selección basada en biomarcadores de vacas con mayor resistencia a enfermedades complejas como la mastitis. Se ha descubierto que los genes que influyen en la producción de leche y en el SCC están directamente asociados con la susceptibilidad a la mastitis. Cuanto mayor es la producción de leche y el SCC de una vaca, mayor es la probabilidad de mastitis.

Los biosensores son una alternativa rentable a los métodos convencionales. En los últimos años, han cobrado cada vez más importancia para el seguimiento de la mastitis en las explotaciones lecheras. Sin embargo, hasta ahora su aplicación se ha limitado casi exclusivamente a enfoques experimentales y aún quedan muchas preguntas por responder antes de que puedan utilizarse comercialmente.

El progreso tecnológico mediante el uso de diversos sensores y la informática de alto rendimiento permite recoger y analizar simultáneamente distintos tipos de datos, como texto, audio, vídeo e imágenes, a menudo con alta resolución digital y temporal. Esto incluye datos meteorológicos, datos sobre la calidad del aire, señales vocales de los animales, datos visuales de los movimientos de los animales y datos sobre el comportamiento y la salud de los animales. Por ello, en la producción ganadera es cada vez más necesario predecir categorías o valores numéricos de variables seleccionadas, organizar variables en grupos similares y visualizar las conexiones entre ellas. El aprendizaje automático y la inteligencia artificial (IA) ofrecen la posibilidad de fusionar y seguir analizando estos flujos de datos. A partir de los distintos datos recogidos en las explotaciones, se pueden derivar



## **Digitalización para una ganadería sostenible**

medidas específicas para la detección y gestión de enfermedades. Los modelos mecanicistas permiten resolver problemas complejos como, por ejemplo, determinar las operaciones óptimas en las explotaciones basándose en grandes cantidades de conjuntos de datos diferentes. Ya se ha demostrado que un modelo lineal dinámico multivariante (DLM) y un clasificador bayesiano ingenuo (NBC) podían utilizarse para combinar datos de sensores y no sensores con el fin de detectar casos clínicos de mastitis. La combinación de DLM y NBC alcanzó una especificidad de 0,81 para la detección de mastitis cuando la sensibilidad se fijó en 0,80. En el pasado, se ha intentado combinar datos sensoriales con datos sobre la gestión de la granja y el comportamiento de las vacas para obtener información más profunda sobre la incidencia de la mastitis y las medidas preventivas adecuadas. Los algoritmos avanzados pueden agrupar, clasificar o predecir patrones en conjuntos de datos para detectar enfermedades y controlar a los animales. Las herramientas de inteligencia artificial derivadas de la investigación básica en aprendizaje automático, reconocimiento de patrones, análisis y predicción son capaces de detectar la frecuencia respiratoria a partir del movimiento de los flancos de las vacas y de imágenes térmicas del aire inhalado y exhalado utilizando el sensor respiratorio basado en la presión desarrollado en ATB. Actualmente, se están implementando modelos de reconocimiento facial capaces de reconocer detalladamente las expresiones faciales individuales de los animales y los estados de salud y bienestar asociados en escenarios complejos en tiempo real. El objetivo de estos sistemas es dar la alarma en una fase muy temprana de que una enfermedad puede ser inminente. Es precisamente este enfoque el que se está desarrollando en MEDICow. Esto puede mejorar la salud, el bienestar y el rendimiento de los animales, reduciendo al mismo tiempo las pérdidas económicas del ganadero.

A pesar de los enormes avances en el diagnóstico de la mastitis y el uso de la moderna tecnología de sensores y la inteligencia artificial, actualmente la investigación aún no es capaz de proporcionar una evaluación del riesgo de mastitis específica y concreta para cada animal utilizando los datos de los sensores. En MEDICow, los datos específicos de los animales (sobre la vaca, la leche y la cría) se integrarán mediante el uso de la ciencia de datos y la inteligencia artificial para desarrollar un sistema de alerta mejorado para la detección precoz de la mastitis.

## **8 Conclusiones y recomendaciones**

La agricultura, tal y como se practica en la actualidad, provoca importantes daños medioambientales que repercuten negativamente en la salud y en los costes asociados. Para evitar estos problemas en el futuro, los sistemas agrarios deben integrarse en planteamientos globales de "Una sola salud" que reconozcan el vínculo entre la salud humana, la sanidad animal y el medio ambiente. La agricultura está ampliando su ámbito de actuación, pasando de la estrecha función de producción de biomasa a un papel global



## **Digitalización para una ganadería sostenible**

de protección y fomento de la salud, asumiendo así la responsabilidad de reducir los riesgos medioambientales y sanitarios que actualmente se externalizan.

Recientemente, la UE, la ONU y la FAO han publicado una serie de documentos políticos que abordan la seguridad alimentaria y nutricional, la vulnerabilidad climática, el cambio climático, el uso sostenible de los recursos naturales y la resiliencia. La FAO evaluó la situación mundial en relación con el futuro de la alimentación y la agricultura y publicó informes sobre los futuros sistemas ganaderos sostenibles. A nivel de la UE, se publicaron la Estrategia de Bioeconomía, la Estrategia de la Granja a la Mesa, el Pacto Verde y la necesidad de una economía circular para crear una visión de los sistemas futuros. Las actividades agrícolas deben respetar los límites planetarios. Deben evitarse las pérdidas de nutrientes y las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto se traduce en un llamamiento a una mejor integración de la producción agrícola y la ganadería y a un replanteamiento del papel de la ganadería en los sistemas circulares bioeconómicos. La producción y el consumo de productos de origen animal deben reducirse a un nivel que permita una producción sostenible.

Conceptos como la intensificación sostenible, la agroecología, la agrosilvicultura, la agricultura climáticamente inteligente, la agricultura basada en la naturaleza y la agricultura de conservación revisten una importancia considerable en el camino hacia futuros sistemas agrícolas sostenibles. La transformación digital proporcionará herramientas para gestionar mejor los procesos agrícolas con alta eficiencia y bajo impacto ambiental. Esto ayudará a (re)conectar la ganadería y la producción agrícola para lograr sinergias y un mayor rendimiento basado en nuevos piensos, fertilizantes y una mayor fertilidad del suelo. El cierre de los circuitos del carbono y los nutrientes conducirá a una reducción de los residuos y las emisiones, especialmente de metano y nitrógeno. Es necesario seguir actuando para apoyar los planteamientos de "Una sola salud", minimizar el uso de antibióticos, promover el diálogo entre las distintas partes interesadas, fomentar la mejora de las prácticas de producción e incluir el bienestar animal como otra prioridad.



## Literatura

Asseburg K, Pelzer A (2021): Ganadería lechera asistida por sensores; En: "Smart Barning" - Digitalisierung in der Nutztierhaltung; IGN (Ed.); ISBN 978-3-9525478-1-6; [www.ign-nutztierhaltung.ch](http://www.ign-nutztierhaltung.ch)

ATF (Grupo operativo sobre animales). (2019). Documento de visión hacia la investigación y la innovación europeas. Obtenido de Bruselas: [http://animaltaskforce.eu/Portals/0/ATF\\_Vision\\_Paper\\_2019.pdf](http://animaltaskforce.eu/Portals/0/ATF_Vision_Paper_2019.pdf)

ATF (Grupo operativo sobre animales). (2021). Agenda estratégica de investigación e innovación para un sector ganadero sostenible en Europa. Obtenido de Bruselas: [http://animaltaskforce.eu/Portals/0/2nd%20White%20Paper/ATF-2nd%20whitepaper\\_final.pdf](http://animaltaskforce.eu/Portals/0/2nd%20White%20Paper/ATF-2nd%20whitepaper_final.pdf)

Berckmans, D. (2015): Smart farming for Europe: value creation through precision livestock farming; In: Halachmi I. Precision livestock applications. Wageningen Academic Publishers, DOI 10.3920/978-90-8686-815-5.

Bewley J.M., Russell R.A., Dolecheck K.A., Borchers M.R. (2015): Precision dairy monitoring: what have we learned? ; In: Halachmi I. Precision livestock applications. Wageningen Academic Publishers, DOI 10.3920/978-90-8686-815-5.

BMEL (2020). Asegurar la nutrición - promover el crecimiento. El compromiso del BMEL con una agricultura, alimentación y silvicultura modernas y sostenibles en África. B. f. E. u. Landwirtschaft. Berlín. [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/EN/Publications/afrika-konzept\\_en.html](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/EN/Publications/afrika-konzept_en.html)

BMEL (2022): Digitalización en la agricultura: aprovechar las oportunidades - minimizar los riesgos; <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/digitalpolitik-landwirtschaft.html>

Campbell, J. E., Lobell, D. B., Genova, R. C., & Field, C. B. (2008). El potencial global de la bioenergía en tierras agrícolas abandonadas. *Environmental science & technology*, 42(15), 5791-5794.

Chang, J., Ciais, P., Gasser, T., Smith, P., Herrero, M., Havlík, P., . . . Li, W. (2021). Climate warming from managed grasslands cancels the cooling effect of carbon sinks in sparsely grazed and natural grasslands. *Nature Communications*, 12(1), 1-10.

Dale, V. H., Kline, K. L., Wiens, J., & Fargione, J. (2010). Biofuels: implications for land use and biodiversity (pp1-13): Ecological Society of America Washington, DC. <https://www.esa.org/biofuelsreports/>

Dauber, J., Brown, C., Fernando, A. L., Finnan, J., Krasuska, E., Ponitka, J., . . . Weih, M. (2012). Bioenergía a partir de tierras "excedentarias": implicaciones medioambientales y socioeconómicas. *BioRisk*, 7, 5-50. [www.doi.org/10.3897/biorisk.7.3036](http://www.doi.org/10.3897/biorisk.7.3036)



## **Digitalización para una ganadería sostenible**

Dou, Z., Toth, J. D., & Westendorf, M. L. (2018). Residuos de alimentos para la alimentación del ganado: Viabilidad, seguridad e implicaciones de sostenibilidad. *Seguridad alimentaria mundial*, 17, 154-161.

EIP-Agri. (2017). Focus group sobre sistemas de explotación mixtos ganadería/cultivos comerciales. Obtenido de [https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/default/files/fg16\\_minipaper5\\_2017\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/default/files/fg16_minipaper5_2017_en.pdf)

Eisler, M. C., Lee, M. R., Tarlton, J. F., Martin, G. B., Beddington, J., Dungait, J. A., . . . Miller, H. (2014). Agricultura: pasos hacia una ganadería sostenible. *Nature News*, 507(7490), 32.

UE-C. (2018). Una bioeconomía sostenible para Europa: reforzar la conexión entre economía, sociedad y medio ambiente - Estrategia de bioeconomía actualizada. Bruselas: Comisión Europea. [https://knowledge4policy.ec.europa.eu/publication/sustainable-bioeconomy-europe-strengthening-connection-between-economy-society\\_en](https://knowledge4policy.ec.europa.eu/publication/sustainable-bioeconomy-europe-strengthening-connection-between-economy-society_en)

UE-C. (2019). A European Green Deal: Striving to be the first climate-neutral continent. [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en)

UE-C. (2020a). Estrategia de la UE para reducir las emisiones de metano [Comunicado de prensa] [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/eu\\_methane\\_strategy.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/eu_methane_strategy.pdf)

UE-C. (2020b). Estrategia "de la granja a la mesa": por un sistema alimentario justo, sano y respetuoso con el medio ambiente . Obtenido de [https://ec.europa.eu/food/horizontal-topics/farm-fork-strategy\\_en](https://ec.europa.eu/food/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en)

UE-C. (2020c). Vías de acción para la alimentación 2030 - La política de investigación e innovación como motor de unos sistemas alimentarios sostenibles, saludables e integradores. Obtenido de Bruselas: [https://ec.europa.eu/info/publications/food-2030-pathways-action-research-and-innovation-policy-driver-sustainable-healthy-and-inclusive-food-systems-all\\_en](https://ec.europa.eu/info/publications/food-2030-pathways-action-research-and-innovation-policy-driver-sustainable-healthy-and-inclusive-food-systems-all_en)

FACCE-JPI. (2020). Agenda Estratégica de Investigación. Obtenido de <https://www.faccejpi.net/en/faccejpi/strategy/strategic-research-agenda.htm>

FAO. (2016). Iniciativa mundial para la reducción de la pérdida y el desperdicio de alimentos. Datos clave sobre la pérdida y el desperdicio de alimentos que debes conocer. Obtenido de <https://www.fao.org/3/i4068e/i4068e.pdf>

FAO. (2017a). El futuro de la alimentación y la agricultura Impulsar la acción en toda la Agenda 2030 para los ODS. Obtenido de Roma: <https://www.fao.org/3/i7454en/i7454en.pdf>

FAO. (2017b). El futuro de la alimentación y la agricultura Tendencias y desafíos. Obtenido de Roma: <https://www.fao.org/3/i6881e/i6881e.pdf>

FAO. (2017c). Soluciones ganaderas para el cambio climático. Obtenido de Roma: <https://www.fao.org/3/i8098e/i8098e.pdf>

FAO. (2018a). El futuro de la alimentación y la agricultura, vías alternativas hasta 2050. Obtenido de Roma: <http://www.fao.org/3/I8429EN/i8429en.pdf>



## **Digitalización para una ganadería sostenible**

FAO. (2018b). Dando forma al futuro de la Ganadería. Obtenido de Roma: <https://www.fao.org/3/i8384en/i8384en.pdf>

FAO. (2018c). Ganadería mundial: transformar el sector ganadero a través de los objetivos de desarrollo sostenible. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Obtenido de Roma: <http://www.fao.org/3/CA1201EN/ca1201en.pdf>

FAO. (2019a). Evitar riesgos para la cadena alimentaria - Compendio de métodos e instrumentos de prevención de emergencias de eficacia demostrada. Obtenido de Roma: <https://www.fao.org/3/ca3608en/ca3608en.pdf>

FAO. (2019b). Cinco acciones prácticas hacia una ganadería baja en carbono. Obtenido de Roma: <https://www.fao.org/3/ca7089en/ca7089en.pdf>

FAO. (2019c). Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems: Guidelines for assessment Obtenido de Roma: <https://www.fao.org/3/ca2934en/CA2934EN.pdf>

FAO. (2020). Ganadería, uso de los recursos naturales, cambio climático y medio ambiente [Comunicado de prensa] <https://www.fao.org/3/nd386en/nd386en.pdf>

Fernandez-Mena, H., MacDonald, G.K., Pellerin, S. Nesme, T. (2020). Co-benefits and trade-offs from agro-food system redesign study for circularity: a case study with the FAN agent-Based Model. *Fronteras de los sistemas alimentarios sostenibles*, 41-57.

Frank, S., Havlík, P., Soussana, J.-F., Levesque, A., Valin, H., Wollenberg, E., . . . Herrero, M. (2017). Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura sin comprometer la seguridad alimentaria? *Environmental Research Letters*, 12(10), 105004.

Fu C, C. Z., Wang G, Yu X A. (2021). Comprehensive framework for evaluating the impact of land use change and management on soil organic carbon stocks in global drylands . *Current Opinion in Environmental Sustainability*,48, 103-109.

Garrett, R., Niles, M. T., Gil, J. D., Gaudin, A., Chaplin-Kramer, R., Assmann, A., . . . Cortner, O. (2017). Análisis social y ecológico de los sistemas comerciales integrados de cultivos y ganado: conocimiento actual e incertidumbre restante. *Agricultural Systems*, 155, 136-146. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.05.003>

GBS2020. (2020). Expansión de la bioeconomía sostenible - Visión y camino a seguir. . Obtenido de [https://gbs2020.net/wp-content/uploads/2020/11/GBS2020\\_IACGB-Communique.pdf](https://gbs2020.net/wp-content/uploads/2020/11/GBS2020_IACGB-Communique.pdf)

Gopalakrishnan, G., Cristina Negri, M., & Snyder, S. W. (2011). A novel framework to classify marginal land for sustainable biomass feedstock production. *Journal of Environmental Quality*, 40(5), 1593-1600.

Grethe H, Martinez J, Osterburg B, Taube F, Thom F (2021): La protección del clima en el sistema agrario y alimentario alemán: los tres ámbitos de actuación centrales en el camino hacia la neutralidad climática; dictamen pericial para la Fundación Neutralidad Climática, [https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2021/06/2021-06-01-Klimaneutralitaet\\_Landwirtschaft.pdf](https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2021/06/2021-06-01-Klimaneutralitaet_Landwirtschaft.pdf).



## **Digitalización para una ganadería sostenible**

- Halachmi I. 2015. Aplicaciones de la ganadería de precisión. Wageningen Academic Publishers pp 326, DOI 10.3920/978-90-8686-815-5.
- Halachmi I., Guarino M., Bewley, J., Pastell M., 2018. Smart Animal Agriculture: Application of Real-Time Sensors to Improve Animal Well-Being and Production. Annual Review of Animal Biosciences Annu. Rev. Anim. Biosci. 2 019. 7:403-25, <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-020518-114851>.
- Kang, S., Post, W. M., Nichols, J. A., Wang, D., West, T. O., Bandaru, V., & Izaurralde, R. C. (2013). Tierras marginales: concepto, evaluación y gestión. Journal of Agricultural Science, 5(5), 129. : <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v5n5p129>
- Kenny D.A., Fitzsimons C., Waters S.M., McGee M. (2018): Revisión invitada: Mejora de la eficiencia alimentaria del ganado vacuno: estado actual de la técnica y retos futuros; Animal, 12 (2018), pp. 1815-1826 <https://doi.org/10.1017/S1751731118000976>
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Economía circular: el concepto y sus limitaciones. Ecological Economics 143, 37-46.
- Kummu, M., Heino, M., Taka, M., Varis, O., & Viviroli, D. (2021). Climate change risks pushing one-third of global food production outside the safe climatic space. One Earth, 4(5), 720-729.
- Langworthy A, Verdon M, Freeman M, Corkrey R, Hills J, Rawnsley R (2021). Tecnología de cercado virtual para pastoreo intensivo de ganado lechero lactante I: Eficacia de la tecnología y utilización de los pastos. Journal of Dairy Science 104: 7071-7083. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19796>.
- Leahy, S., Clark, H., & Reisinger, A. (2020). Challenges and prospects for agricultural greenhouse gas mitigation pathways consistent with the Paris agreement. Fronteras de los sistemas alimentarios sostenibles, 4, 69.
- Leenstra F R (2013): Intensification of animal production and its relation to animal welfare, food security and 'climate smart agriculture, Wageningen report 702, <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/259262>.
- Lemaire G, Franzluebbers A, de Faccio Carvalho P C, Dedieu B (2014): Sistemas integrados de cultivo-ganadería: Estrategias para lograr la sinergia entre la producción agrícola y la calidad ambiental. Agriculture, Ecosystems & Environment, Volumen 190, 1 de junio de 2014, Páginas 4-8, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009>.
- Mirzabaev, A., Olsson, L., Bezner Kerr, R., Pradhan, P., Rivera Ferre, M. G., & Lotze-Campen, H. (2021). Cambio climático y sistemas alimentarios. Informe de la Cumbre sobre Sistemas Alimentarios [https://sc-fss2021.org/wp-content/uploads/2021/05/FSS\\_Brief\\_Climate\\_Change\\_and\\_Food\\_Systems.pdf](https://sc-fss2021.org/wp-content/uploads/2021/05/FSS_Brief_Climate_Change_and_Food_Systems.pdf)
- Mottet, A., de Haan, C., Falcucci, A., Tempio, G., Opio, C., & Gerber, P. (2017). Ganado: ¿en nuestros platos o comiendo en nuestra mesa? Un nuevo análisis del debate piensos/alimentos. Seguridad alimentaria mundial, 14, 1-8.



## **Digitalización para una ganadería sostenible**

Muscat, A., de Olde, E. M., Ripoll-Bosch, R., Van Zanten, H. H., Metze, T. A., Termeer, C. J., . . . de Boer, I. J. (2021). Principios, impulsores y oportunidades de una bioeconomía circular. *Nature Food*, 1-6.

Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M. S., & Bernabucci, U. (2010). Efectos de los cambios climáticos en la producción animal y la sostenibilidad de los sistemas ganaderos. *Livestock Science*, 130(1-3), 57-69.

Pradhan, P., Costa, L., Rybski, D., Lucht, W. y Kropp, J. P. (2017). Un estudio sistemático de las interacciones de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). *El futuro de la Tierra*, 5(11), 1169-1179.

Pretty, J., Benton, T. G., Bharucha, Z. P., Dicks, L. V., Flora, C. B., Godfray, H. C. J., . . . Morris, C. (2018). Evaluación global del rediseño del sistema agrícola para la intensificación sostenible. *Nature Sustainability*, 1(8), 441-446.

Schut, A G T, Cooledge, E, Moraine, M et al. (2021): Reintegration of crop-livestock systems in Europe: an overview. En: *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, Vol. 8, No. 1, 03.2021, p. 111-129. Smith, J., Sones, K., Grace, D., MacMillan, S., Tarawali, S., & Herrero, M. (2013). Más allá de la leche, la carne y los huevos: El papel del ganado en la seguridad alimentaria y nutricional. *Animal Frontiers*, 3(1), 6-13.

Stachowicz J, Fuchs P, Umstätter Ch (2021): Virtuelle Zaunsysteme - Hightech in der Weidewirtschaft; In: "Smart Barning" - Digitalisierung in der Nutztierhaltung; IGN (Ed.); ISBN 978-3-9525478-1-6; [www.ign-nutztierhaltung.ch](http://www.ign-nutztierhaltung.ch)

Teigiserova D.A., H., L. Thomsen, M. (2020). Towards transparent valorisation of food surplus, waste and loss - clarifying definitions, food waste hierarchy, and role in the circular economy. *Science of the Total Environment*, 706, 136033.

Van Zanten, H. H., Herrero, M., Van Hal, O., Röös, E., Muller, A., Garnett, T., ... & De Boer, I. J. (2018). Definición de un límite terrestre para el consumo ganadero sostenible. *Biología del cambio global*, 24(9), 4185-4194.

Verdon M, Langworthy A, Rawnsley R (2021). Tecnología de cercado virtual para el pastoreo intensivo de ganado lechero lactante. II: Effects on cow welfare and behaviour. *Journal of Dairy Science* 104: 7084-7094. <https://doi.org/10.3168/jds.202019797>

Viazzi S, Van Hertem T, Schlagater-Tello A, Bahr C, Romanini C EB, Halachmi I, Lokhorst C, Berckmans D (2013): El uso de una cámara 3D para evaluar la postura de la espalda de las vacas lecheras; ASABE Annual International Meeting, Jul 21-24, 2013.

Villanueva-López, G., Martínez-Zurimendi, P., Casanova-Lugo, F., Ramírez-Avilés, L., & Montañez-Escalante, P. I. (2015). Almacenamiento de carbono en sistemas ganaderos con y sin cercas vivas de *Gliricidia sepium* en el trópico húmedo de México. *Sistemas Agroforestales*, 89(6), 1083-1096.

Wezel, A., Herren, B. G., Kerr, R. B., Barrios, E., Goncalves, A. L. R., & Sinclair, F. (2020). Principios y elementos agroecológicos y sus implicaciones para la transición hacia sistemas



**Digitalización para una ganadería sostenible**

alimentarios sostenibles. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40(6). doi:ARTN 40 10.1007/s13593-020-00646-z

Whish, G., Pahl, L., & Bray, S. (2016). Implications of retaining woody regrowth for carbon sequestration for an extensive grazing beef business: a bio-economic modelling case study. *The Rangeland Journal*, 38(3), 319-330.

Wreford, A., & Topp, C. F. (2020). Impacts of climate change on livestock and possible adaptations: A case study of the United Kingdom. *Agricultural Systems*, 178, 102737.

Van Zanten, H., Meerburg, B.G., Herrero, M., y Boer, I.J.M. (2015). Artículo de opinión el papel de la ganadería en una dieta sostenible una perspectiva de uso de la tierra. *Animal*, 10(4), 547-549.

Zhou, G., Luo, Q., Chen, Y., He, M., Zhou, L., Frank, D., ... & Zhou, X. (2019). Los efectos del pastoreo de ganado en el almacenamiento y la liberación de carbono de los pastizales anulan los impactos asociados con el cambio climático global. *Biología del cambio global*, 25(3), 1119-1132.