

Resumen

En este artículo se identifican las oportunidades que brinda la transformación digital para responder a los grandes retos y desafíos que afrontan cuatro de los principales sectores agroalimentarios españoles: el sector oleícola, el sector vitivinícola, el sector hortofrutícola y el sector lácteo. Para ello, tras analizar la situación y problemática asociada a cada uno de ellos, se examinan los avances realizados en la adopción de tecnologías digitales a lo largo de cada cadena de valor, y se identifican las principales barreras que deben superarse para poder aprovechar en cada caso las oportunidades que ofrece la transformación digital.

Palabras clave: sector agroalimentario, innovación, transformación digital, nuevas tecnologías.

Abstract

This article identifies the opportunities offered by digital transformation to respond to the major challenges faced by four of the main Spanish agri-food sectors: the olive oil, wine, fruit and vegetable and dairy sectors. To this end, after analyzing the situation and problems associated with each of them, the authors examine the progress made in the adoption of digital technologies along each value chain, and identify the main barriers that must be overcome in order to take advantage of the opportunities offered by digital transformation.

Keywords: agri-food sector, innovation, digital transformation, digital technologies.

JEL classification: O13, Q16.

RETOS DE LA DIGITALIZACIÓN PARA EL SECTOR AGROALIMENTARIO

Rosa GALLARDO COBOS

Pedro SÁNCHEZ ZAMORA

Pablo LARA VÉLEZ

Universidad de Córdoba

Luis GONZAGA SANTESTEBAN GARCÍA

Universidad Pública de Navarra

Roberto GARCÍA TORRENTE

Cajamar Caja Rural

I. INTRODUCCIÓN

La función principal de la agricultura, la ganadería, la pesca y parte de la silvicultura es producir alimentos para el conjunto de la sociedad. Ello es posible gracias a la participación de un elevado número de personas, empresas, entidades e instituciones que integran lo que denominamos «sector agroalimentario» que, en mayor o menor medida, intervienen para crear la cadena de valor alimentaria desde el campo hasta la mesa con una visión integral e integradora. Se trata de un ecosistema de unas 30.000 pymes agroalimentarias, 300.000 agricultores y ganaderos a título principal, y una industria auxiliar que acompaña al sector innovando y mejorando de forma continua (Molina, 2021).

Tanto la producción como el aprovisionamiento, la transformación y la distribución presentan una elevada demanda de consumos intermedios, materias primas y servicios, ejerciendo un importante efecto de arrastre sobre múltiples actividades económicas auxiliares que completan la cadena de valor alimentaria. Desde las plantas y semillas, el agua y la energía, los insumos

agrícolas y ganaderos o las materias primas para el envasado y embalaje de los productos transformados, hasta los servicios técnicos, agrícolas, financieros, de mantenimiento, los edificios y equipos y el transporte.

Además, como es bien sabido, la función productiva de este sector esencial no se ciñe a lo alimentario, ya que genera recursos para sectores tan diversos como el textil, la energía, la salud o el resto de la industria. Aunque menos reconocido por la sociedad, todo el sector, y fundamentalmente el primario, contribuye de manera activa a la sostenibilidad del planeta, siendo probablemente la única actividad económica que compensa gran parte de sus emisiones de CO₂ de manera directa gracias a su fijación por el suelo y las plantas en las propias explotaciones. Además, contribuye con servicios ecosistémicos tangibles e intangibles que son percibidos como de alto valor por los ciudadanos como el paisaje, la calidad del aire, la regulación del clima, el ocio en el medio rural o la fijación de la población en los territorios en los que se desarrolla esta actividad (Gallardo-Cobos y Sánchez-Zamora, 2021).

El sector agroalimentario debe afrontar retos complejos entre los que destaca garantizar la alimentación de una población que crece, con la dificultad añadida de unos recursos que cada vez son más escasos y la necesidad de proteger al planeta. Y todo ello generando beneficios a todos los actores del sector que desean recibir un precio justo por su trabajo y por el valor que añaden en cada eslabón de la cadena. Abordar estos retos que obligan a la búsqueda simultánea de productividad, rentabilidad y sostenibilidad solo puede lograrse con una apuesta contundente y decidida por la innovación, contexto en el que emergen con fuerza las oportunidades que ofrece la transformación digital del sector para afrontar con garantías sus desafíos económicos, medioambientales y sociales.

La transformación digital implica disponer de datos que convertidos en información permitan adoptar mejores decisiones para optimizar los resultados de los actores de la cadena. Esto supone hacer un uso más eficiente de todos los recursos (semillas, agua, energía, fertilizantes o fitosanitarios) a la vez que se puede mejorar el rendimiento, la producción, la calidad de los productos y la seguridad alimentaria, a través de una trazabilidad integral. Todo ello permite mejorar los beneficios de las empresas, y también reducir las emisiones, el impacto sobre los recursos naturales, el desperdicio, la sobreproducción, los tiempos o las pérdidas, permitiendo un control logístico de los productos agroalimentarios hasta el consumidor. En el caso de la ganadería, la transformación digital puede ayudar a mejorar en sentido amplio la gestión de las explotaciones

y a responder a las crecientes exigencias de bienestar animal mediante un control estricto de las condiciones y el comportamiento del ganado. A la industria agroalimentaria, la transformación digital le permite un control digital, la automatización, robotización y gestión de todas las operaciones en planta. Y en lo que se refiere a los beneficios para los consumidores finales, las tecnologías digitales pueden ayudar a reducir el uso de antibióticos, a dar una mayor transparencia y trazabilidad a los procesos de producción, a acelerar la logística en frescos, a facilitar la compra *online* o a detectar más rápido riesgos para la salud (Massot, 2019). En general, tal como señala este autor, estos procesos pueden favorecer la resiliencia del sector en su conjunto a partir de la detección precoz de riesgos productivos, reforzar la provisión de bienes públicos y satisfacer mejor las expectativas de los consumidores.

Hay espacio y casos de uso muy interesantes en el sector agroalimentario para muchas de las tecnologías digitales más pujantes: analítica *big data*, inteligencia artificial, *IoT* (internet de las cosas), realidad aumentada/virtual, *cloud/edge computing*, sensores inteligentes, robótica o tecnologías de ciberseguridad. Sin embargo, el sector agroalimentario presenta peculiaridades, como su funcionamiento por campañas, operaciones tensas y con muchas transacciones, inversiones de largo plazo, cadenas largas con muchos intervinientes, control sanitario y de seguridad alimentaria, productos perecederos y de carácter biológico, distribución territorial o sistemas abiertos, que hacen necesario contar con soluciones especializadas para este

sector agroalimentario, habiendo diferencias notables entre los distintos segmentos del sector. Tal como señala Molina (2021), «no es un sector para generalistas o tecnólogos digitales horizontales, y sí para especialistas en agroalimentación y tecnología digital», lo que representa un desafío importante para la formación de nuevos profesionales que el sector está demandando.

En este trabajo abordamos cómo cuatro de los principales sectores agroalimentarios (sector oleícola, sector vitivinícola, sector hortofrutícola y sector lácteo) responden al reto de la transformación digital, prestando especial atención a las oportunidades que se presentan, pero también a las barreras que deben superarse para aprovecharlas.

II. RETOS DE LA DIGITALIZACIÓN PARA EL SECTOR OLEÍCOLA

1. Situación actual del sector oleícola

La importancia económica del olivar español y su protagonismo a nivel mundial es incuestionable. Desde el punto de vista de la producción agraria, representa más del 22 por 100 de la superficie mundial de olivar y, dependiendo de la campaña, en torno al 45-50 por 100 de la producción mundial y el 65 por 100 del total de las exportaciones de aceite de oliva, lo que le sitúa como el principal productor a nivel internacional (COI, 2023). Se trata de un sector que constituye una actividad económica de gran relevancia en este país, con una importante repercusión social, ambiental y territorial, y un profundo arraigo cultural, gastronómico y paisajístico.

En lo que a la dimensión social se refiere, a los más de 350.000 agricultores que se dedican al cultivo del olivar en España hay que añadir que este cultivo mantiene 15.000 empleos en la industria y genera más de 50 millones de jornales por campaña. La importancia ambiental del olivar es también relevante, fundamentalmente en términos de biodiversidad, secuestro de carbono, conservación del suelo y generación de paisajes agrarios de gran valor. Esta función ambiental desempeñada por el olivar es altamente demandada por la sociedad, sobre todo en algunos tipos de olivar como el olivar de montaña, donde la provisión de estos servicios y la remuneración de los mismos resulta determinante no solo para el mantenimiento de este cultivo, sino también para la viabilidad de los espacios rurales en los que se asienta. Desde un punto de vista territorial, existen numerosas comarcas en España donde el cultivo y la producción del aceite de oliva conforman una *cadena de valor* que en determinados territorios condicionan el sistema de organización social, el modelo de desarrollo territorial y la gestión de los recursos naturales (Gallardo-Cobos y Sánchez-Zamora, 2017).

Sin embargo, a pesar de esta importancia, el sector se encuentra actualmente en una situación complicada. En la campaña 2022/2023, los elevados costes de producción, junto la falta de lluvias, la sequía y las altas temperaturas de la primavera que condicionaron la floración, han hecho caer la producción de aceite de oliva a 664.000 toneladas, muy por debajo de la media de las cuatro últimas campañas (1,45 millones de toneladas) y de la campaña anterior (1,49 millo-

nes de toneladas) (MAPA, 2023). Esta contracción de la oferta, junto con una demanda mundial que no deja de crecer, ha provocado que los precios medios de todos los tipos de aceite superen ampliamente los de todas las campañas anteriores.

Además, el sector debe de hacer frente a otros problemas de tipo estructural para garantizar la rentabilidad y sostenibilidad de la actividad en el medio y largo plazo. Entre ellos se pueden destacar la pequeña dimensión de las explotaciones de olivar y su nivel de fragmentación y dispersión, la escasa capacidad de vertebración del sector, la volatilidad de los precios, principalmente en origen, o el desplazamiento de las fuerzas económicas a lo largo de toda la cadena de valor.

A estas circunstancias específicas hay que añadir una serie de retos generales a los que el sector debe de hacer frente para favorecer la continuidad de la actividad y mantener su liderazgo a nivel internacional. Desde el punto de vista de la fase agraria, las explotaciones de olivar deben avanzar hacia una gestión sostenible de los recursos naturales, como el agua y el suelo, hacer frente a los efectos del cambio climático (que se traducen en sequías, olas de calor, eventos climáticos extremos, etc.), y luchar contra el aumento de plagas y enfermedades (como la mosca del olivo, el repilo, o la *Xylella fastidiosa*, entre otros). En el ámbito industrial, la inversión en tecnología y equipos actualizados que permitan avanzar hacia la eficiencia y calidad en el procesamiento del aceite de oliva, y hacia la gestión de subproductos de manera sostenible y respetuosa con el medio ambiente, supo-

ne un desafío constante para las almazaras. Asimismo, en cuanto a la distribución y comercialización del aceite de oliva, el sector se enfrenta a importantes desafíos como el aumento de la competencia global y la tarea de acceder a los canales de distribución adecuados en el mercado internacional, la imperativa necesidad de garantizar la calidad, trazabilidad y autenticidad del producto, la gestión de precios y márgenes de beneficio, la logística eficiente, la diferenciación efectiva en un mercado saturado o la educación del consumidor acerca de las características y beneficios de un aceite de oliva de calidad.

2. Oportunidades de la transformación digital para el sector oleícola

Abordar los retos que anteriormente se han señalado exige la búsqueda simultánea de productividad, rentabilidad y sostenibilidad en todos los eslabones de la cadena de valor del sector oleícola, algo que solo puede lograrse mediante la innovación, tanto social como tecnológica. Y es ahí donde emergen con fuerza las oportunidades que ofrece la digitalización para este sector.

El uso de herramientas digitales permite controlar los parámetros clave durante todas las etapas de producción, algo que tiene importantes repercusiones económicas y medioambientales. Por una parte, la adopción de sistemas de automatización y el control de los parámetros de producción permiten optimizar los recursos y aumentar la eficiencia. Esto se traduce en la capacidad de producir más aceite de oliva con menos recursos, reduciendo los costes de producción y aumentando la

rentabilidad. Por otra parte, la implantación de estos sistemas también tiene un impacto positivo en el medio ambiente. Los residuos y las emisiones se pueden reducir optimizando los recursos naturales utilizados en el proceso de producción, como el agua y la energía. Además, la implementación de técnicas precisas de riego y fertilización controladas por sistemas automatizados puede hacer un uso más eficiente de los recursos, evitar su uso excesivo y minimizar el impacto ambiental.

En el sector oleícola se han venido dando importantes avances en la adopción de estas tecnologías digitales, tanto en las explotaciones de olivar como en las almazaras, en la distribución y comercialización del aceite de oliva, y en ámbitos como el oleoturismo.

3. Digitalización en las explotaciones de olivar

La digitalización en las explotaciones de olivar se está produciendo, principalmente, en tres grandes áreas: i) sensores y monitorización; ii) sistemas de información geográfica (SIG), drones y teledetección; y iii) mecanización, automatización y robótica.

Por una parte, la instalación de sensores en las explotaciones de olivar para la monitorización continua de variables como la humedad del suelo, la temperatura y la salud de los árboles se ha convertido en un avance fundamental en la digitalización de las explotaciones de olivar. El acceso a los datos en tiempo real permite una toma de decisiones precisa y basada en evidencia para la gestión del cultivo y la optimización de la producción (Roma y Catania, 2022).

Por otra parte, los SIG y la tecnología de drones equipados con cámaras multihiperespectrales y termográficas han revolucionado la monitorización de las explotaciones de olivar. Estas herramientas permiten el mapeo y análisis de datos espaciales, y la captura de imágenes detalladas del cultivo desde el aire. Con la información obtenida, los agricultores pueden detectar de forma temprana áreas problemáticas, optimizar la distribución de recursos y realizar un seguimiento detallado de la evolución de sus plantaciones (Khanal *et al.*, 2017; Messina y Modica, 2022).

Finalmente, en la mecanización del olivar se están produciendo grandes avances con la aplicación de tecnología digital en los equipos de recolección, los equipos inteligentes de aplicación de fitosanitarios o los sistemas de apoyo a la decisión y de control de equipos. La automatización y el uso de robots agrícolas han avanzado en la cosecha de la aceituna y en otras tareas agrícolas como la poda y el mantenimiento de los olivos. Estos robots están diseñados para que, a través del uso de sensores y algoritmos avanzados, se puedan realizar tareas de recolección y podas precisas sin dañar los árboles, lo que reduce la necesidad de mano de obra manual y garantiza un tratamiento adecuado de los árboles (Dias *et al.*, 2022; Sola-Guirado *et al.*, 2023).

Los avances que se están realizando en estos ámbitos, y sobre todo la posibilidad de combinar e integrar las tecnologías que los están permitiendo, ofrecen la oportunidad de mejorar la eficiencia, la calidad de los cultivos y la sostenibilidad de las explotaciones de olivar.

Para que los olivicultores puedan gestionar y analizar sus datos agrícolas de manera centralizada, se están desarrollando plataformas en línea y aplicaciones móviles. Estas pueden incluir, entre otros elementos, la planificación de cultivos, la gestión del inventario y la monitorización de las condiciones en tiempos real.

4. Digitalización en la industria oleícola

La digitalización está transformando de forma significativa muchas almazaras, mejorando la eficiencia, la calidad y la trazabilidad en cada una de las fases del proceso de producción de aceite de oliva. En la etapa de recepción, la implementación de sistemas de registro digital permite un seguimiento preciso del peso y origen de las aceitunas, lo que facilita la trazabilidad y la eficiente gestión de los lotes (Aguilera-Puerto *et al.*, 2019). Además, la visión artificial se ha convertido en una herramienta esencial en la limpieza y clasificación de las aceitunas, utilizando sensores y cámaras de alta resolución para identificar y eliminar de manera automática hojas, ramas y otros contaminantes, garantizando así una materia prima de mayor calidad (Ortenzi *et al.*, 2021).

En las fases de molienda, prensado y separación, la digitalización ha aportado también notables avances. Los sistemas de control automatizado supervisan constantemente la velocidad y la presión del molino, optimizando la extracción del aceite y mejorando su calidad. Además, los sensores de flujo y temperatura en el proceso de prensado y centrifugación permiten un control en tiempo real, lo que aumenta la eficiencia y la consistencia del proceso (Juliano *et al.*, 2023).

La gestión de residuos también se ha optimizado con sistemas digitales que permiten un mejor aprovechamiento de subproductos y residuos (Contreras *et al.*, 2020).

Finalmente, en las fases de almacenamiento, envasado y control de calidad, la digitalización ha permitido un mayor control sobre la preservación de la calidad del aceite. Los sistemas de gestión de bodegas aseguran que la temperatura, la humedad y la exposición a la luz se mantengan en niveles óptimos. Las máquinas de envasado y etiquetado están conectadas a sistemas digitales que garantizan un etiquetado preciso y la gestión efectiva de lotes (Violino *et al.*, 2020). Además, los análisis químicos y sensoriales asistidos por ordenador, y los de espectrometría *NIR* (*near infrared spectroscopy*, por sus siglas en inglés), garantizan la calidad del aceite en esta fase crucial del proceso de producción (Garrido-Varo *et al.*, 2017).

Para poder aprovechar las oportunidades que estos avances ofrecen, se necesita seguir apostando por la automatización y digitalización de las almazaras de forma que estas puedan tender hacia la llamada industria 4.0 o, incluso, la 5.0, que se basa en un mayor nivel de adaptabilidad y enfoque en la experiencia del cliente, y de la que ya se empieza a hablar.

5. Digitalización en la distribución y consumo de aceite de oliva

La digitalización también está teniendo un impacto significativo en la distribución y venta de aceite de oliva, brindando importantes avances en esta fase de la cadena de valor. Entre ellos, se

pueden destacar: i) los relacionados con el comercio electrónico y el *marketing* digital; ii) los avances en la logística y el seguimiento; y iii) los vinculados con la trazabilidad y el etiquetado de los productos.

A través del comercio electrónico y el *marketing* digital, los productores y distribuidores de aceite de oliva están llegando a consumidores de todo el mundo, ofreciendo una amplia variedad de aceites de oliva y facilitando la compra en línea con descripciones detalladas y opciones seguras. La comunicación directa con el consumidor se ha fortalecido, permitiendo una conexión más estrecha entre productores y consumidores, con la posibilidad de recibir comentarios y sugerencias en tiempo real (Bernal-Jurado *et al.*, 2018). Con esta información, y a través de la inteligencia artificial, se pueden integrar elementos predictivos y redes sociales para observar tendencias y comportamientos que orienten las decisiones de los productores, la calidad de sus productos y las decisiones de compra de los consumidores.

En el ámbito de la logística, además de las tecnologías de *business intelligence* (*BI*) utilizadas en los sistemas de gestión de inventarios (*ERP*, *enterprise resource planning*), de la cadena de suministro (*SCM*, *supply chain management*), o de pedidos en línea, son destacables las oportunidades que herramientas basadas en *IoT* y *blockchain* presentan para las empresas. A través de estas tecnologías, se puede observar la carga de trabajo que tiene cada una de las cooperativas con las que se trabaja, planificar rutas, conocer la ubicación de los camiones en tiempo real, ajustar tiempos de reparto,

conocer las condiciones del aceite de oliva durante su transporte, etc. La vigilancia integral de estas cuestiones permite a la empresa una mejor planificación y tomar medidas preventivas y correctoras para garantizar que el producto llegue a su destino de manera oportuna y eficiente (Alsayat y Ahmadi, 2023).

Finalmente, los avances en la trazabilidad y el etiquetado de los productos son amplios y variados. La inclusión de códigos *QR* (*quick response*) y tecnología de identificación por radiofrecuencia (*RFID*, *radio frequency identification*, por sus siglas en inglés) en las etiquetas permite a los consumidores y a otros agentes de la cadena rastrear el aceite de oliva hasta su origen, accediendo a datos detallados sobre su procedencia, proceso de producción, certificaciones de calidad, etc. Las aplicaciones móviles permiten a los consumidores verificar la autenticidad y calidad del producto con un simple escaneo. Además, la tecnología *blockchain* se está utilizando para garantizar la integridad y transparencia de la información en la cadena de suministro y poder verificar así la autenticidad del producto (Violino *et al.*, 2019).

6. Digitalización y oleoturismo

El oleoturismo es un tipo de turismo emergente que se ha ido desarrollando paulatinamente desde hace poco más de una década, y en el que también se pueden observar importantes avances en materia de digitalización. Así, cada vez son más las almazaras que cuentan con plataformas de reserva en línea para realizar visitas y catas de aceite, aplicaciones móviles específicas que brindan información deta-

llada sobre rutas y otras actividades locales relacionadas con el aceite de oliva, ofrecen mapas interactivos elaborados a través de SIG que muestran ubicaciones de interés facilitando a los viajeros las mejores rutas y destinos, proporcionan información y formación en línea, etc.

Además de estas herramientas básicas de digitalización, algunas experiencias de oleoturismo están adoptando tecnologías avanzadas como la realidad virtual y aumentada. El uso de estas tecnologías enriquece las visitas a las almazaras con información digital superpuesta, permitiendo a los visitantes aprender más sobre todo el proceso de producción y la historia del aceite de oliva mientras exploran las instalaciones físicas. Estas experiencias avanzadas elevan el oleoturismo a un nuevo nivel al fusionar la tradición y la tecnología de manera innovadora, atrayendo a viajeros en busca de experiencias únicas y educativas (Gonçalves *et al.*, 2022).

7. Principales retos de la transformación digital del sector oleícola

Tal como se ha podido comprobar, la transformación digital en el sector oleícola ofrece numerosas oportunidades. Sin embargo, también se pueden plantear una serie de retos que son clave y que deberán ser abordados si se quiere aprovechar todo el potencial que esta puede ofrecer al sector.

El nivel de conectividad y la falta de acceso a infraestructura digital, la falta de formación y capacitación en herramientas digitales, el coste de la tecnología y las barreras de entrada, la falta de conocimiento sobre los

beneficios de estas tecnologías, la resistencia al cambio, la falta de estándares que dificulta la interoperabilidad de los datos, la exposición a riesgos relacionados con la ciberseguridad, o cuestiones vinculadas a la regulación y privacidad de los datos, son obstáculos comunes a los que se enfrenta el sector agroalimentario, en general, y el oleícola, en particular (Gallardo-Cobos y Sánchez-Zamora, 2022).

En el caso concreto del sector oleícola español, existen además otros elementos estructurales derivados de su propia especificidad que interfieren en el avance del proceso de digitalización. Entre ellos se pueden destacar la escasez de emprendedores, el predominio de pequeñas explotaciones familiares con insuficiente formación de sus titulares, o la falta de cultura colaborativa. La falta de evidencia sobre la viabilidad económica de la inversión en tecnologías digitales, la escasez de mano de obra y de jóvenes agricultores, y los posibles efectos no deseados e imprevistos de la transformación digital, son también elementos destacables, y específicos del sector, que pueden suponer un freno a este proceso de cambio (Parra-López *et al.*, 2021).

En cualquier caso, es importante destacar que los avances tecnológicos están cada vez más al alcance de las empresas del sector. Existen soluciones especializadas en automatización y control de procesos diseñadas específicamente para la industria oleícola, lo que facilita su adopción y reduce las barreras de entrada. De hecho, tal como apuntan Parra-López *et al.* (2021), las oportunidades que la transformación digital ofrece al sector oleícola son más destacadas que

las amenazas que ella conlleva. Estos autores también señalan que para fomentar la transformación digital en el sector y dar respuestas proactivas a los rápidos cambios tecnológicos no basta con la aplicación de las políticas tradicionales, sino que son necesarios nuevos enfoques para la planificación de políticas, especialmente a nivel regional.

III. RETOS DE LA DIGITALIZACIÓN PARA EL SECTOR VITIVINÍCOLA

1. Situación actual del sector vitivinícola

La producción media mundial de vino, excluidos zumos y mostos, se ha movido entre los 248 y los 295 Mhl anuales en las dos últimas décadas (todas las cifras de este apartado están extraídas de informes de la Organización Internacional de la Vid y el Vino, (OIV, 2022, 2023). En términos generales, no existe en este período una tendencia clara hacia el aumento o la disminución de la producción, y las variaciones interanuales obedecen principalmente a cambios en el rendimiento de los viñedos, y están asociadas fundamentalmente a circunstancias meteorológicas. La producción en la Unión Europea (UE) en 2022 fue de 161,1 Mhl, (62 por 100 de la producción mundial de vino) y en España fue de 35,7 Mhl (14 por 100 de la producción mundial). En lo que respecta al comercio mundial de vino, se observa un aumento constante y relevante en las dos últimas décadas del volumen exportado y el valor de las exportaciones, que se han incrementado de 2001 a 2021 un 74 y un 269 por 100, respectivamente.

A pesar de esta evolución positiva del comercio del vino en valor, muchas regiones productoras de vino de la UE sufren actualmente desequilibrios en el mercado vitivinícola. La inflación de los precios de los alimentos y las bebidas han causado un descenso en el consumo de vino, y la combinación de este menor consumo, con la buena cosecha de 2022 y las consecuencias de los problemas de venta durante la pandemia, han provocado una acumulación de existencias. Esta situación ha llevado a la Comisión Europea a adoptar medidas excepcionales para equilibrar el mercado, como el apoyo a la destilación de crisis para eliminar el exceso de vino del mercado de los Estados miembros y las ayudas a la vendimia en verde (Reglamento Delegado [UE] 2023/1225 de 22 de junio de 2023).

2. Oportunidades de la transformación digital para el sector vitivinícola

El sector vitivinícola se distingue de otras industrias agroalimentarias por su encaje entre tradición e innovación. Especialmente en los países productores de vino del Viejo Mundo, se suele hacer hincapié en la tradición centenaria, en el terruño y en los métodos ancestrales de producción de uva y de elaboración de vinos. Sin embargo, este sector también hace uso de la innovación, aplicando tecnologías de vanguardia que mejoran el cultivo de la uva, la fermentación y el control de calidad. En este contexto, el sector vitivinícola europeo se encuentra en una encrucijada importante, dividido entre la preservación de sus tradiciones y la adopción de la innovación para seguir siendo competitivo en un mercado mundial en rápida evolución. Las bodegas bus-

can combinar los valores tradicionales de la empresa con nuevas estrategias innovadoras que les permitan alcanzar y mantener ventajas competitivas (Vrontis *et al.*, 2016; Wongprawmas y Spadoni, 2018). Las bodegas están tratando de remodelarse en términos de innovación, cambiando hacia posiciones que lidien mejor con la volatilidad de la demanda y la feroz competencia, al tiempo que ofrecen productos tradicionales y con identidad. En este contexto de cambio, la clave está probablemente en encontrar la manera de preservar la riqueza del sector (patrimonio cultural, terruño e identidad, denominaciones de origen) y, al mismo tiempo, adoptar prácticas innovadoras que respondan a las demandas actuales y futuras del mercado, a los problemas de sostenibilidad y a los efectos del cambio climático.

El sector vitivinícola europeo necesita un enfoque reflexivo y equilibrado para prosperar en un mercado mundial dinámico y competitivo, para el que la digitalización constituye una oportunidad ineludible. El sector de la vid y el vino en su conjunto pueden beneficiarse de los avances tecnológicos, pero estos requieren importantes inversiones en tiempo, dinero y nuevas capacidades. Esta suele ser la principal razón de su lenta adopción. Los principales objetivos del impulso de la digitalización en el sector vitivinícola por parte de la OIV son la eficiencia, la productividad, la transparencia, la propuesta de valor y los nuevos modelos de negocio y sostenibilidad (OIV, 2021).

En las siguientes subsecciones se describen estas oportunidades de transformación digital para diferentes elementos de esta cadena de valor.

3. Digitalización en los viñedos

La digitalización en los viñedos se está produciendo en tres grandes niveles: a) la viticultura de precisión (VP), b) la mecanización y robotización avanzadas y c) el internet de las cosas.

a) La VP tiene como objetivo ajustar la gestión del viñedo a la variabilidad espacial que aparece de forma natural en el campo para aumentar su sostenibilidad económica y medioambiental (Santesteban, 2019). Su necesidad surge del hecho de que los factores fundamentales que condicionan la producción del cultivo, como la disponibilidad de agua y nutrientes, a menudo varían considerablemente en el espacio y el tiempo dentro de una misma parcela agrícola. Por tanto, para satisfacer adecuadamente las necesidades de los cultivos, las decisiones de gestión deben tomarse teniendo en cuenta esas variaciones.

La aparición de la VP ha sido posible gracias a la concurrencia de tres avances tecnológicos: i) la aparición de sistemas mundiales de navegación por satélite (GNSS, *global navigation satellite system*, por sus siglas en inglés) relativamente precisos y asequibles; ii) el desarrollo de programas informáticos diseñados para gestionar, analizar y visualizar datos espaciales o geográficos, es decir: los sistemas de información geográfica (SIG); y iii) la creciente disponibilidad de información geolocalizada adquirida a distancia (por ejemplo: imágenes por satélite, drones). La viticultura de precisión permite una estrategia de gestión específica para cada emplazamiento, lo que aumenta la eficiencia

del uso de insumos agrícolas y, si se adopta correctamente, se traduce en un ahorro de costes y un aumento de los beneficios (Yost *et al.*, 2017), y también conduce a un mejor uso de los recursos desde el punto de vista medioambiental y de la seguridad (Hedley, 2015; Wu y Ma, 2015). Sin embargo, el aspecto más profundamente explorado hasta la fecha es su potencial utilidad como base para segregar la cosecha de uvas de un mismo viñedo en diferentes lotes antes de la vinificación. La segregación de las uvas en lotes es especialmente relevante, ya que la mezcla de uvas de diferentes especificaciones de calidad no da como resultado un vino de «calidad media», puesto que se sabe que algunos caracteres que se encuentran en las uvas de baja calidad prevalecen en el vino incluso cuando se utiliza una pequeña proporción de uva con esas características. Se ha estimado que el aumento del beneficio económico de tal segregación oscila entre el 10 y el 30 por 100 en experiencias prácticas en Australia (Bramley *et al.*, 2011; Bramley *et al.*, 2005). El uso del agua de riego también puede resultar mucho más eficiente y rentable si se aplican las nuevas tecnologías a su gestión (Casson *et al.*, 2022).

b) Los robots tienen un gran potencial para cambiar todas las formas de sistemas de producción agrícola, incluida la viticultura. En la actualidad, se emplean robots para la monitorización de proximidad (*proximal sensing*) de los parámetros del viñedo (vigor, producción, estrés hídrico), y además se han desarrollado robots que realizan tareas del viñedo como el control de la vegetación adventicia, las aplicaciones foliares o incluso

la vendimia (Tardaguila *et al.*, 2021). Aunque esta tecnología aún no está madura, en los próximos años asistiremos a un incremento exponencial con soluciones de mayor rendimiento y costes reducidos.

c) El internet de las cosas (*IoT*) es una red interconectada de objetos físicos dotados de sensores, *software* y capacidades de conectividad que les permiten recopilar, intercambiar y analizar datos. Las aplicaciones potenciales del *IoT* son amplias y variadas, y su impacto ya se está dejando sentir en una amplia gama de industrias, incluido el sector vitivinícola. Aunque los sensores se han utilizado en los viñedos durante varias décadas, utilizados para monitorizar y medir diferentes variables (datos meteorológicos, contenido de agua del suelo a diferentes profundidades, humedad de las hojas...) (Elijah *et al.*, 2018), su uso se limitaba a unos pocos o incluso a un punto por explotación, debido al alto coste y a la baja conectividad de los dispositivos utilizados. Sin embargo, el *IoT* llega con el desarrollo de dispositivos conectados de pequeño tamaño y bajo coste que abre la puerta a monitorizar en tiempo real muchos puntos dentro de una explotación, permitiendo una buena representación de toda la variabilidad del viñedo y las redes inalámbricas de sensores (*WSN*, *wireless sensor network*, por sus siglas en inglés) pueden ser viables (Spachos, 2020) y aumentar el número y tipo de variables monitorizadas (Tardaguila *et al.*, 2021).

La viticultura de precisión, la robótica y el internet de las co-

sas tienen, por tanto, el potencial de crear un efecto sinérgico en la gestión de los viñedos. Cuando se combinan, estas tecnologías probablemente podrán ofrecer una mejor gestión de los viñedos, aunque su aplicación satisfactoria requiere superar retos técnicos, garantizar la exactitud de los datos e integrar estas herramientas en las prácticas agrícolas existentes.

4. Digitalización de las bodegas

El uso de datos y tecnologías digitales, incluida la transformación digital hacia la industria 4.0, es especialmente importante en el sector de las empresas de la industria alimentaria (Kosior, 2022). Las tecnologías digitales pueden mejorar la innovación, la eficiencia y la competitividad de las empresas. Al mismo tiempo, se hace hincapié en que la digitalización puede ayudar a alcanzar los objetivos de protección medioambiental y desarrollo sostenible. Dentro de la bodega, la digitalización del proceso de elaboración del vino no difiere mucho de la de la mayoría de las industrias alimentarias, y el foco principal está puesto en la sensorización, ya que permite supervisar el proceso de elaboración del vino en tiempo real. Los bodegueros demandan hoy en día sistemas en línea basados en sensores para llevar a cabo la evaluación del proceso de fermentación sin necesidad de instalaciones de laboratorio (OIV, 2021).

5. Digitalización de las ventas y de la distribución

La digitalización ha cambiado totalmente, como para cualquier otro bien, la logística de la distribución del vino, proporcionando soluciones relacionadas

con la visibilidad de la cadena de suministro y el seguimiento en tiempo real, el análisis de datos para obtener información predictiva sobre la previsión de la demanda y el inventario, la automatización de almacenes, el enrutamiento inteligente y el comercio electrónico. Estos cambios, aunque relevantes, no son específicos del sector vitivinícola, y probablemente queden fuera del alcance de este artículo. Sin embargo, hay algunos puntos específicos en los que las particularidades del sector vitivinícola exigen un análisis más detallado.

Comercio electrónico (e-commerce): desde mediados de la década de 2000, la rápida proliferación del comercio electrónico también ha aumentado la presión sobre el sector vitivinícola (Bouzdine-Chameeva *et al.*, 2019). En España, según una encuesta realizada en 2019, el 56 por 100 de las bodegas disponía de tienda *online* (Campo Velázquez, 2021). En las bodegas que sí venden vino *online*, la cuota media de este canal es del 5,5 por 100 de la facturación total de la empresa (Vallès, 2022). La inversión en publicidad es de gran importancia para la promoción de los productos, el posicionamiento de marca y la visibilidad de las empresas en el comercio electrónico, adquiriendo especial relevancia la promoción a través de las redes sociales. Las bodegas deben crear contenidos que generen interacción, lleven a los consumidores a compartir sus experiencias en las redes sociales y posicionen la marca como relevante para el *target*, buscando la creación de un sentido de comunidad y personalización (Viana, 2016).

El etiquetado electrónico (e-labelling) permite a los fabricantes facilitar más información sobre un producto o proceso. Para los fabricantes y los organismos reguladores, el etiquetado electrónico ofrece una potente alternativa a los métodos tradicionales de mostrar información sobre el cumplimiento (OIV, 2021). El etiquetado electrónico –por ejemplo, mediante códigos QR– facilita el acceso a la información y también permite mostrar más información que en una etiqueta física (Wongprawmas y Spadoni, 2018). Además, las etiquetas han empezado a desempeñar un papel cada vez más importante en términos de trazabilidad de los productos y seguridad contra el fraude. El uso de determinados certificados de autenticidad, tintas invisibles o térmicas y otros mecanismos para identificar cuándo un producto ha sido alterado o manipulado de forma fraudulenta son cada vez más importantes en el sector (OIV, 2021).

En este ámbito, también existe un desafío asociado a la regulación normativa del sector del vino, que puede variar significativamente de un país a otro. Esto puede complicar la implementación de soluciones digitales estandarizadas y requerir una adaptación constante.

6. Digitalización y enoturismo

No se debe olvidar por último la oportunidad que supone la digitalización para el enoturismo. El desarrollo de nuevas formas de turismo más allá del período vacacional tradicional ha favorecido la creación y difusión de nuevos modelos turísticos basados en el disfrute de entornos naturales y tradi-

ciones locales (Zamarreño *et al.*, 2021). En los últimos tiempos, la búsqueda de una nueva relación con la naturaleza, de la calidad y la seguridad de los alimentos y, sobre todo, la necesidad de «identidad», de caracterizar los lugares como portadores de valores y tradiciones han llevado a un número creciente de personas a considerar las zonas rurales como lugares de valores, recursos, cultura y productos por descubrir y disfrutar (Privitera, 2010). El turismo del vino contempla el interés de los viajeros por realizar desplazamientos y estancias para conocer los paisajes donde se producen los vinos, así como a realizar actividades que incrementen el conocimiento sobre este producto, procurando el progreso en las zonas vitivinícolas (Elías Pastor, 2006). El enoturismo tiene la oportunidad de adaptarse para que las experiencias enoturísticas sean innovadoras y multisensoriales. En particular, es posible incrementar el valor de la experiencia hedónica al acercar la bodega al cliente antes de realizar la visita, durante la misma y en la posvisita (Zamarreño *et al.*, 2021). La digitalización proporciona a las bodegas la oportunidad de aumentar su visibilidad y alcance a nivel global. Al tener presencia en plataformas digitales, como sitios web, buscadores de enoturismo, redes sociales y aplicaciones móviles, las bodegas pueden llegar a un público mucho más amplio, lo que crea nuevas oportunidades para captar clientes potenciales, incrementar las visitas y aumentar las ventas tanto a nivel nacional como internacional. Durante la visita, la digitalización permite mejorar la experiencia del visitante haciéndola inmersiva e interactiva, me-

diante la implementación de tecnologías como la realidad aumentada.

Hasta ahora, la investigación se ha centrado principalmente en el uso de Internet para la comercialización de productos o en el uso de las redes sociales como interfaz con el cliente, lo que ha dado lugar a una laguna en nuestra comprensión de toda la capacidad de la tecnología para apoyar las experiencias enoturísticas (Sears y Weatherbee, 2023).

En todo caso, es necesario abordar una planificación inteligente del mensaje que se quiere transmitir, ya que los visitantes, frecuentemente consumidores procedentes de zonas urbanas, valoran particularmente un estilo de vida basado en la reducción de residuos, la sostenibilidad medioambiental y elige productos caracterizados por un mayor énfasis en la ética y los valores, que proporcionan información sobre el origen de la materia prima y la distancia entre los lugares de producción y el mercado (Nazzaro *et al.*, 2016). La creación de experiencias basadas en nuevas tecnologías no debe dejar de lado este enfoque, para diferenciarse de experiencias similares que podrían generarse en otros contextos.

7. Principales retos de la transformación digital del sector vitivinícola

A pesar de los avances y oportunidades descritos en los párrafos anteriores, el sector vitivinícola se enfrenta a desafíos significativos en su proceso de digitalización. Uno de los desafíos más prominentes es la interconexión de datos entre las diferentes etapas de producción.

La información recopilada en los viñedos a menudo debe integrarse con los sistemas de las bodegas, lo que puede ser complicado debido a la falta de estándares comunes. La inversión en plataformas tecnológicas que permitan una comunicación fluida entre actores de la cadena de suministro es esencial para aprovechar al máximo los beneficios de la digitalización.

Además, la capacitación y el acceso a tecnologías siguen siendo obstáculos para muchas pequeñas bodegas y productores. La inversión inicial en equipos y formación puede ser prohibitiva, lo que resulta en una brecha digital entre los actores de la industria. No resulta sencillo enfocar la digitalización como una oportunidad en un sector como el vitivinícola, pero es un reto que debe, sin duda, abordarse para la supervivencia en el contexto actual.

IV. LA INCORPORACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS AL SISTEMA DE PRODUCCIÓN HORTÍCOLA DEL SURESTE ESPAÑOL

A lo largo de los últimos cincuenta años se ha desarrollado, en el sureste español, un modelo agrícola dedicado a la producción de hortalizas con un elevado y creciente nivel de intensificación. Dentro de este modelo, el principal factor que ha guiado su crecimiento ha sido su vocación exportadora, por la oportunidad de satisfacer la demanda europea de hortalizas durante una época del año en la que prácticamente no existe producción en el resto del continente.

Las diferentes necesidades climáticas de las distintas especies

hortícolas permiten clasificar dos tipos de explotaciones agrarias. Por un lado, las hortalizas con mayores requerimientos climáticos, y con un ciclo productivo más largo, que han dado lugar al cultivo en invernadero. Normalmente la cubierta ha sido de materiales plásticos y la morfología y el equipamiento de estos han sido bastante sencillos, aunque en la actualidad se están transformando de manera significativa. Por otro lado, está el cultivo de las diferentes variedades de lechuga y crucíferas como el brócoli y la coliflor, que normalmente se realizan en grandes extensiones al aire libre con mayor nivel de mecanización. Con objeto de disponer de oferta durante prácticamente todo el año las empresas especializadas en estas hortalizas van cambiando de región de producción para poder aprovechar las diferencias climáticas que favorece la altitud. Y en una situación mixta quedan las producciones de melón y sandía, muchas veces como complemento de las anteriores, y que se producen en primavera, en invernadero y a principios de verano las cosechadas al aire libre.

Considerando que el centro geográfico de la producción intensiva de este tipo de hortalizas es el sureste español, tendríamos la distribución provincial de las superficies dedicadas a los dos sistemas de cultivo que se recoge en el cuadro n.º 1.

El sistema hortícola que vamos a analizar se desarrolla sobre un total de 87.000 hectáreas, de las cuales el 55 por 100 serían de cultivos al aire libre y el 45 por 100 en invernadero. En conjunto representan el 45,5 por 100 de la superficie de hortalizas de España, alcanzando el 60 por 100 para los cultivos en inver-

CUADRO N.º 1

DISTRIBUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN
HORTÍCOLA EN EL SURESTE ESPAÑOL
SEGÚN SISTEMA DE CULTIVO, 2020
En hectáreas

PROVINCIA	INVERNADERO	HORTALIZAS AIRE LIBRE
Almería	29.942	4.740
Granada	3.294	11.896
Murcia	5.579	31.523
ESPAÑA	64.925	126.258

Fuente: Censo agrario 2020 (INE).

nadero. Estas 87.000 hectáreas solo representan el 0,5 por 100 de las tierras de cultivo en España, sin embargo, según las macromagnitudes agrarias regionales publicadas por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, en el año 2021 generaron un valor de 5.017 millones de euros, representando el 13,8 por 100 del valor de la producción vegetal y el 7,9 por 100 del total de la producción de la rama agraria. De aquí ya podemos deducir una clara característica de este modelo de producción, como es su elevada capacidad productiva y el alto valor de sus producciones.

Dado que el 67 por 100 de este valor se obtiene en la provincia de Almería, por la fuerte concentración de la superficie invernada que hay en la misma, vamos a centrar el análisis en esta provincia.

1. Principales características económicas y estructurales de la producción hortícola

Para poder comprender mejor algunas de las características que definen la horticultura almeriense se realiza un breve análisis comparativo de las prin-

cipales macromagnitudes, que vienen recogidas en el cuadro n.º 2.

La primera conclusión que obtenemos de este cuadro es el fuerte peso que tiene la horticultura almeriense a nivel regional, representando el 75 por 100 de la misma, y nacional, con casi el 40 por 100. El dinamismo de este sector ha posicionado a Almería como la primera provincia española en términos del valor de la producción de la rama agraria, representando el 6,3 por 100 del total nacional y más de una cuarta parte de la autonómica.

Sin embargo, su relevancia se incrementa notablemente si el indicador considerado es el de valor añadido, ya que asciende hasta el 11,2 por 100 de España y el 31,6 por 100 de Andalucía. Esta situación se explica, en gran medida, por el menor peso relativo que tienen los consumos intermedios en relación con el valor de la producción, y porque es una agricultura muy intensiva en el empleo de mano de obra, lo que hace que una parte muy importante de los costes sean los laborales.

Otro aspecto que destacar es el escaso peso que tienen las

subvenciones, que solo representan el 3 por 100 con respecto al valor de la producción para Almería, frente al 10,5 por 100 en Andalucía y el 9,3 por 100 en España. Esta diferencia tan significativa nos indica que la mayor parte de la renta que obtienen los agricultores la consiguen del mercado, y muy poco de las ayudas públicas.

La estructura de las explotaciones hortícolas almerienses se refleja en el cuadro n.º 3.

A nivel nacional la mayor parte de las explotaciones son de muy escasa dimensión económica, concentrándose en el intervalo de menos de 15.000 euros de producción estándar total el 63 por 100 de las mismas, representando solo el 6,2 por 100 de la producción total. En la horticultura almeriense son muy escasas las explotaciones de esta dimensión, suponiendo solo el 1,3 por 100. En el extremo contrario nos encontramos que en España solo el 9,5 por 100 de las explotaciones tienen una producción estándar de más de 100.000 euros, pero concentran el 71,1 por 100 del valor total. Sin embargo, en Almería el 40 por 100 de las explotaciones estarían en este intervalo representando casi el 70 por 100 del

CUADRO N.º 2

ALGUNAS VARIABLES DE LAS MACROMAGNITUDES AGRARIAS DE ALMERÍA,
ANDALUCÍA Y ESPAÑA, 2022

MILLONES DE EUROS	ALMERÍA	ANDALUCÍA	ESPAÑA	ALM/AND (%)	ALM/ESP (%)
Hortalizas	3.374	4.496	8.481	75,0	39,8
Producción rama agraria	3.983	15.811	63.172	25,2	6,3
Valor añadido bruto	3.169	10.035	28.300	31,6	11,2
Subvenciones	122	1.664	5.889	7,3	2,1
Renta agraria	3.193	10.405	27.664	30,7	11,5

Fuentes: Elaboración propia a partir del MAPA y Consejería de Agricultura, Pesca, Agua y Desarrollo Rural de Andalucía.

CUADRO N.º 3
DISTRIBUCIÓN DE LAS EXPLOTACIONES SEGÚN VALOR DE LA PRODUCCIÓN
ESTÁNDAR TOTAL, 2020
En porcentaje

	MENOS DE 15.000€		DE 15.000 A 49.999€		DE 50.000 A 99.999€		MÁS DE 100.000€	
	N.º	PET	N.º	PET	N.º	PET	N.º	PET
Total explotaciones España	62,8	6,2	19,5	10,9	8,2	11,7	9,5	71,1
Explotaciones horticultura Almería	1,3	0,1	17,6	5,2	41,2	24,9	40,0	69,7

Fuente: Censo agrario 2020 (INE).

CUADRO N.º 4
DISTRIBUCIÓN DE LOS JEFES DE EXPLOTACIÓN SEGÚN EDADES, 2020
En porcentaje

	MENOS 25 AÑOS	DE 25 A 34 AÑOS	DE 35 A 44 AÑOS	DE 45 A 54 AÑOS	DE 55 A 64 AÑOS	DE 65 Y MÁS
Total España	0,5	3,5	10,0	19,2	25,5	41,3
Horticultura Almería	1,8	10,8	24,7	27,6	24,0	11,1

Fuente: Censo agrario 2020 (INE).

valor. Si ampliamos al intervalo inmediatamente inferior tendríamos que en Almería más del 80 por 100 de los propietarios de explotaciones agrarias tienen en la agricultura su principal actividad económica, muy lejos de los valores que se obtienen a nivel nacional.

Aquí tenemos un factor que puede ser muy relevante a la hora de facilitar la incorporación de nuevas tecnologías, como es la fuerte concentración de empresas en un territorio reducido cuya actividad principal es la agricultura y que obtienen ingresos relevantes de la misma. En estas circunstancias su interés y preocupación se concentra en la mejora continua de los procesos productivos para optimizar sus resultados económicos.

Otro factor que puede condicionar la receptividad hacia las nuevas tecnologías es la edad del jefe de la explotación agraria.

Para analizar si este es un factor diferencial de la horticultura almeriense se ha comparado la distribución por estratos de edad con respecto al total de los agricultores españoles. El resultado se muestra en el cuadro n.º 4.

Una vez más se observan diferencias muy significativas, con una mayor presencia de jefes de explotación en los intervalos más jóvenes. La horticultura almeriense cuenta con un 11,6 por 100 de agricultores que tienen menos de 35 años, frente al 4 por 100 del total español. Y un 25 por 100 están entre los 35 y 44 años. En el otro extremo nos encontramos que más del 41 por 100 de los agricultores españoles tienen más de 65 años por solo un 11 por 100 de la horticultura de Almería.

En cuanto a la formación, en el caso de Almería el 28,6 por 100 de los jefes de explotación cuentan con formación agraria,

mientras que en España solo la tienen el 20,3 por 100 de los mismos.

2. Principales hitos y tecnologías incorporadas en la horticultura almeriense

Junto a las características de las explotaciones dedicadas a la producción de hortalizas en Almería, que se han descrito anteriormente, hay que destacar otros dos factores que han facilitado que en este sector se vengán incorporando de manera permanente diferentes tipos de innovaciones tecnológicas que ayudan a mejorar la capacidad productiva, la adaptación a las demandas del mercado y la rentabilidad económica.

Dentro de estos factores uno muy relevante fue el rápido desarrollo de centros tecnológicos muy especializados en este tipo de agricultura, con los que se pretendía facilitar la adaptación de tecnologías procedentes del exterior al mismo tiempo que se iniciaban líneas de investigación y experimentación propias. El primer centro en abrir sus puertas fue la estación experimental de Las Palmerillas, por parte de la entonces Caja Rural de Almería, siendo acompañado posteriormente por el centro del Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica (IFAPA) de La Mojonera, la propia Universidad de Almería, que siempre ha tenido una fuerte especialización agroalimentaria, el centro de innovación y tecnología de Coexphal y el centro experimental de Tecnova. A todas estas infraestructuras públicas o colectivas hay que añadir los numerosos centros de innovación

que han ido creando las distintas empresas de la industria auxiliar de la agricultura.

El otro factor de relevancia ha sido la gran densidad de ingenieros técnicos agrícolas y de ingenieros agrónomos que realizan una labor permanente de acompañamiento a los agricultores, y que en la actualidad superan los 2.000. Hay que recordar que el número de explotaciones que tienen la agricultura como principal actividad económica es de unos 13.000, lo que da una ratio de prácticamente un asesor técnico por cada seis explotaciones. El trabajo permanente de estos técnicos y su proximidad a los agricultores ha sido un factor que claramente ha precipitado la adopción de estas nuevas tecnologías.

La primera incorporación tecnológica exógena de cierta relevancia que tuvo la horticultura de Almería fue el riego por goteo. Desde principios de los años setenta surgió una preocupación generalizada por la escasa disponibilidad de recursos hídricos que tenía la provincia, lo que llevó a buscar soluciones que permitiesen realizar un uso óptimo del agua. En aquellos años era una tecnología que había surgido poco tiempo antes en Israel. Pero su llegada fue muy rápida y ya a mediados de la década de los ochenta estaba prácticamente generalizada en todos los invernaderos. Al principio eran sistemas sencillos, pero pronto se fueron sofisticando, incluyendo la fertirrigación como fórmula para incorporar los nutrientes a los cultivos. La incorporación de ordenadores para gestionar el riego y el abonado tuvo lugar a finales de los años noventa y desde hace bastante tiempo

los agricultores tienen comunicación permanente a través de los teléfonos móviles con los mismos. Estas comunicaciones se desarrollaron para poder recibir alertas ante fallos en el funcionamiento de los sistemas de riego. Pero progresivamente permitieron gestionar directamente la instalación, accionando o deteniendo los equipos en función de las necesidades de los cultivos. Para conocer dichas necesidades se han desarrollado programas que las calculan en función del cultivo, su estado de crecimiento y de las condiciones climatológicas. Y más recientemente se están instalando de manera masiva sensores para controlar la humedad y los nutrientes disponibles en el suelo.

Un factor importante que está facilitando la adopción de todas las nuevas tecnologías relacionadas con el riego y la fertilización de los cultivos es el elevado coste que tiene el agua para los agricultores. Durante los últimos años se están incorporando fuentes no convencionales de agua, como son las regeneradas y desaladas, con costes de obtención muy superiores a las fuentes tradicionales, lo que está suponiendo para la mayor parte de los agricultores un coste de abastecimiento que supera ampliamente los 0,50 euros/m³, lo que supone un coste anual en el entorno de los 3.500 euros por hectárea. Sin duda, estos precios son un fuerte incentivo para instalar sistemas avanzados que permiten reducir el consumo.

Los problemas de escasez de agua también llevaron a construir una red cerrada de distribución desde las fuentes de suministro hasta las explotaciones de los agricultores. Estas redes

funcionan desde finales del siglo XX a la demanda, utilizando sistemas electrónicos que permiten controlar el consumo de cada agricultor, facturándole a cada uno en función de la cantidad utilizada. Durante los últimos años las redes se han digitalizado con objeto de poder mezclar aguas de diferentes orígenes, asegurando una calidad adecuada. También permiten detectar cualquier rotura o problema de distribución, lo que les facilita actuar de manera ágil y rápida para evitar pérdidas y que los agricultores se queden sin suministro. A nivel de las Juntas de Usuarios, en 2019 se diseñó un sistema para asegurar la gestión sostenible de los acuíferos, lo que los ha llevado a instalar sensores que miden el nivel piezométrico de los mismos.

La sensorización y digitalización se va extendiendo progresivamente para la gestión de otras tareas productivas. Es cada vez más habitual realizar una gestión del clima mediante la apertura y cierre automatizado de las ventanas de los invernaderos en función de parámetros como la temperatura, la humedad y el viento. Por otro lado, se están instalando sistemas de visión artificial para controlar la presencia y el desarrollo de plagas en los cultivos.

La información que generan los diferentes equipamientos disponibles, más el análisis que realizan las cooperativas y otras empresas de comercialización de la entrada estacional de productos en sus almacenes, está llevando a modelizar las cosechas, con objeto de planificar de la manera más precisa posible el volumen de oferta que tendrán que poner en el mercado.

a. *La comunicación entre los diferentes eslabones de la cadena*

La horticultura almeriense siempre ha tenido una clara vocación exportadora, destinándose en la actualidad el 80 por 100 de la producción a los mercados exteriores. Ello ha hecho que la relación existente entre las empresas de comercialización en origen y las grandes cadenas de distribución europeas haya sido muy estrecha. Han tenido que ser muy ágiles para dar respuesta a las crecientes exigencias en cuanto a la información disponible y las garantías de seguridad alimentaria.

Esta circunstancia favoreció que se implementasen sistemas de trazabilidad de la producción a principios del siglo XXI, lo que llevó a desarrollar procesos automáticos, identificados mediante códigos de barras, que permitían conocer el origen de un determinado producto en cualquier momento del circuito de comercialización.

La eficacia de estos sistemas de trazabilidad se puso de manifiesto en 2011, con los problemas sanitarios ocurridos en Alemania y que acusaron a una partida de pepino procedente de Almería como la causante de estos. La rápida identificación del origen de dicha partida y los análisis realizados a lo largo de todo el proceso pudieron justificar la falsedad de la acusación. En realidad, estos sistemas de trazabilidad fueron relativamente fáciles de adoptar porque las empresas venían aplicando desde hacía tiempo sistemas de clasificación por calidades de las frutas y hortalizas con objeto de liquidar a los agricultores precios diferenciales en función de estas.

Otro factor que ha facilitado el uso de las tecnologías en la

comunicación entre los diferentes eslabones de la cadena ha venido provocado por la fuerte competencia existente entre las empresas de comercialización por atraer y retener a los agricultores. Dado que las hortalizas se cosechan y se comercializan diariamente, el disponer de la información adecuada de las condiciones que ofrecen los diferentes mercados es crítico para asegurarse un precio adecuado por la venta. Desde hace más de veinte años las empresas han establecido sistemas de comunicación a través de sus páginas web, y más recientemente por WhatsApp, para facilitarle al agricultor información inmediata sobre el precio que van a percibir por los productos entregados. Esta comunicación se ha ido extendiendo para otros tipos de servicios que incluyen desde la prestación de servicios de asesoramiento técnico, fiscal, laboral o de cualquier otro tipo que requiera el agricultor. También permiten conocer el balance económico de la relación del agricultor con su cooperativa o empresa de comercialización, incluyendo los ingresos correspondientes a la venta de sus productos o las posibles subvenciones, por un lado, y los pagos pendientes por la compra de suministros, por otro.

b. *Un canal permanente de formación*

Una gran parte del éxito del modelo hortícola almeriense ha sido la rapidez con la que han circulado las innovaciones. Tradicionalmente se transmitían en los diferentes puntos de reunión de técnicos y agricultores, que solían ser la cola de la cooperativa en el momento de descargar la cosecha del día, las relaciones entre vecinos o las conversaciones en centros de reunión social.

Sin embargo, estos contactos y posibilidades de transmisión de conocimientos se han incrementado de manera exponencial gracias, fundamentalmente, al uso masivo de los teléfonos inteligentes. Los grupos de WhatsApp, los blogs y los medios de comunicación *online* son usados de manera intensa por todos los agentes del sector. A través de los mismos se da a conocer cualquier información relativa a problemas relacionados con la aparición de plagas y enfermedades, la situación de los mercados, la disponibilidad de un nuevo producto o tecnología, etc.

5. Un laboratorio viviente

Como hemos visto a lo largo de este apartado, la agricultura almeriense se caracteriza por un alto valor de la producción, un alto porcentaje de explotaciones de elevada dimensión económica, una dependencia directa de los mercados europeos, una edad media de los jefes de explotación considerablemente inferior a la media nacional, un elevado nivel de tecnificación y por una continua incorporación de nuevas tecnologías.

Estas circunstancias, junto a que todo esto tiene lugar en un espacio relativamente confinado con mucha actividad en una pequeña extensión superficial, ha posibilitado que Almería se convierta en un laboratorio donde continuamente se están ensayando nuevas soluciones tecnológicas. Muchas de ellas desarrolladas por empresas multinacionales que tienen centros de investigación, desarrollo y comercialización importantes en la provincia.

El éxito de cualquier nueva tecnología tiene asegurado un

mercado potencial muy relevante. Y, dada la imagen y proyección internacional que ha adquirido el sistema hortícola almeriense, gozará de un escape que le abrirá las puertas de otros mercados.

V. RETOS DE LA DIGITALIZACIÓN PARA EL SECTOR LÁCTEO

1. El sector vacuno de leche

Según los datos del MAPA, el valor de la producción lechera en la ganadería española ascendió a 4.297 millones de euros en el año 2022, correspondiendo 3.309 millones de euro a la producción de leche de vaca y el resto a la leche de ovino y caprino. Esta cifra supone el 17,1 por 100 de la producción ganadera, (13,2 por 100 la producción de leche de vaca) y el 6,75 por 100 del valor de la producción agraria (5,2 por 100 la producción de leche de vaca). El número de ganaderos que finalizaron el año 2022 entregando leche a las industrias fue de 10.665 ganaderos de vacuno, 3.890 de caprino y 2.688 de ovino.

La industria española está constituida por más de 1.500 centros autorizados de recogida y transformación de leche, con una producción valorada en más de 9.500 millones de euros (2 por 100 de la producción industrial) y un nivel de empleo de más de 30.000 personas (8,5 por 100 del sector agroalimentario).

El sector productor ha estado sometido a una dinámica evolutiva regida por la necesidad de aumentar el tamaño de las explotaciones en aras de aumentar la eficiencia y mantener la rentabilidad de las explotaciones. Así, en el vacuno de leche hemos pa-

sado de un sector con 141.679 explotaciones y 38.683 kg de leche/explotación en el año 1993 a las 10.665 explotaciones y cerca de 700.000 kg de leche/explotación en 2022. Los rendimientos por vaca y año superan los 10.000 kg de leche, estando España a la cabeza de la UE.

Las explotaciones de vacuno de leche se reparten entre dos modelos de producción. El primero es un modelo extensivo/semiextensivo, basado en la disponibilidad de tierra para la alimentación de los animales, que se circunscribe a la cornisa cantábrica, donde se encuentran el 80 por 100 de las explotaciones. El segundo es un modelo intensivo, repartido por todo el resto de España, donde los animales se encuentran siempre en confinamiento y toda la alimentación, capítulo que supone el mayor coste, debe ser adquirida.

Los ganaderos de vacuno de leche produjeron cerca de 7,4 millones de toneladas de leche cruda que dieron lugar a más de 6.087 millones de toneladas de productos lácteos. La industria española está orientada principalmente a la producción de leche de consumo (47 por 100), característica que la diferencia de las de los países de nuestro entorno, destinándose en la UE solo el 13 por 100 de la leche cruda a leche de consumo. En la UE el 61 por 100 de la producción de leche cruda se destina a los productos de mayor valor añadido, 42 por 100 a la elaboración de queso y el 19 por 100 a mantequilla, cifras que en España son solo el 16 y el 5 por 100 respectivamente.

Otra característica importante del sector del vacuno de leche español es que solo el 21 por

100 de la producción es recogida y procesada por cooperativas de los ganaderos, frente a más del 60 por 100 de media de la UE, y siendo superior al 80 por 100 en países como Irlanda, Países Bajos, Dinamarca, Suecia y Finlandia.

Hasta el año 2015 el mercado lácteo de la UE estaba regido por el régimen de tasa suplementaria, (más conocido por «las cuotas lácteas»), que limitaba la posibilidad de producir a unas cantidades asignadas por Estado miembro y por ganadero. Se esperaba que la liberación del mercado con la abolición de las cuotas acelerase un proceso de cambio estructural que ha estado ocurriendo durante años, y que ha incrementado la especialización de las explotaciones agrarias hacia los sectores más productivos en cada ámbito geográfico. Así, se esperaba la formación de un «cinturón lechero» (Sckokai, 2012) en las regiones costeras atlánticas de la UE, desde Irlanda, Bélgica, Países Bajos, norte de Alemania, Dinamarca, el sur de Suecia, Finlandia y los países Bálticos. En muchas zonas de esta región la producción lechera es la alternativa más rentable entre todas las posibles. Esto no implica la desaparición de la producción lechera fuera de este cinturón, pero cada vez la participación de esta zona en la producción lechera con relación al resto será mayor.

Sin embargo, la relocalización de la producción solo será posible si hay disponibilidad de tierra en las regiones más competitivas, y en las regiones más cercanas al mar del Norte de Holanda, Alemania y Dinamarca están ya al máximo de utilización. Las políticas ambientales han limitado también la in-

tensificación en Países Bajos y Alemania. Así, entre los años 2016 y 2020, cuando la producción media de la UE ha crecido un 5 por 100, el crecimiento de la producción sí ha sido notable en Irlanda (25 por 100) pero no en Suecia (-3 por 100), Países Bajos (-2 por 100) o Alemania (+2 por 100). La producción española creció un 7 por 100 en ese período.

Los ganaderos de leche son precio-aceptantes y sus márgenes se ven continuamente asaltados por los sectores transformador y distribuidor. Los ganaderos están repensando continuamente su modelo de producción para mantener la rentabilidad de la explotación en respuesta a esos márgenes decrecientes y otros innumerables retos que plantean el suministro y los costes crecientes de las materias primas, la falta de mano de obra y el clima extremo. En España, la ausencia de modelos cooperativos integrados verticalmente donde los ganaderos dominan la producción y la transformación del producto profundiza la presión soportada por los ganaderos.

2. Las oportunidades para la incorporación de las tecnologías digitales en las explotaciones de vacuno de leche

La oportunidad de incorporar nuevas tecnologías en el sector agroalimentario está muy mediatizada, en general, por la atomización tanto del sector productor primario como del sector transformador. Según el *Censo agrario de 2020* hay 914.871 explotaciones agrarias, cuya dimensión económica media está en 49.610 euros de producción estándar total (PET, producción estándar total de una explota-

ción). Hasta el 62,81 por 100 de las explotaciones tienen una PET inferior a 15.000 euros y llegan al 82,27 por 100 el número de explotaciones con una PET inferior a 50.000 euros, nivel similar a la media. Sin embargo, las explotaciones de bovino de leche tienen un PET medio de 180.930 euros y el 51,16 por 100 de las explotaciones tienen una PET superior a los 100.000 euros.

El vacuno de leche es también una de las actividades agrarias más especializadas y profesionalizadas. Según el MAPA (2020), para los algo más de 600.000 perceptores de ayudas de la Política Agrícola Común (PAC), el porcentaje medio que sus ingresos agrarios representan respecto a su total de ingresos es de solo el 25 por 100, por lo que en muchos casos las rentas agrarias son complementarias a otras rentas que se perciben. Sin embargo, en las explotaciones de vacuno de leche las rentas agrarias son las más importantes, llegando este porcentaje al 63 por 100 (MAPA, 2019).

La posibilidad de digitalizar la agricultura está también muy relacionada con la posibilidad de incorporar al sector jóvenes con una cultura digital más acusada que sus progenitores. No obstante, la edad media de los titulares de las explotaciones de vacuno de leche es de 51 años frente a más de 62 años para la agricultura en general, debido a que el lechero ha sido uno de los sectores agrarios donde más jóvenes se incorporaron durante una serie de años en que se percibió una rentabilidad atractiva de estas producciones.

Por lo general, los ganaderos, sobre todo en las explotaciones familiares, dedican la mayor par-

te de su tiempo diario al trabajo, en jornadas que se pueden prolongar durante doce o más horas en algunos casos. Las tareas de ordeño, la alimentación y la necesidad de observación de los animales para optimizar su bienestar y su función reproductiva son muy demandantes en tiempo. Una de las mayores promesas de la digitalización, para la ganadería en general y el vacuno de leche en particular, es liberar de tiempo a los ganaderos gracias a la monitorización del comportamiento individual de los animales mediante sensores y la información que estos proporcionan, aspecto en el que la digitalización es el complemento ideal a la automatización y robotización creciente de las explotaciones.

Precisamente, las explotaciones de leche tienen una larga trayectoria de adopción de tecnologías en las infraestructuras y equipamientos. La mecanización y automatización han permitido rentabilizar la incorporación de tecnología y localizar el trabajo en aquellos aspectos más complejos que tienen una automatización más problemática.

La tecnología del ordeño ha evolucionado hacia una compleja red de infraestructura automatizada que puede manejar la producción de leche sin prácticamente ninguna intervención humana. Los robots de ordeño son sistemas a demanda de los animales de acuerdo con sus necesidades biológicas, en lugar de tener un ordeño programado según las necesidades de planificación del ganadero. Esto permite una reducción del trabajo a la vez que la mayor frecuencia de ordeño incrementa la productividad de la explotación y mejora las condiciones de bienestar

de los animales. Los robots de ordeño emplean dispositivos, generalmente basados en radiofrecuencias, para identificar a las vacas y ajustar el comportamiento de la máquina a las necesidades específicas del animal, identificando la posición de las ubres y los pezones para situar los instrumentos de ordeño, ajustar el tiempo de ordeño de acuerdo con la estimación del volumen a ordeñar y monitorizar y comunicar alertas sanitarias. Además, se pueden comunicar con otros sistemas automatizados como la infraestructura de alimentación para medir y distribuir las raciones del alimento que cada vaca necesita.

Por otra parte, la clasificación de los animales sobre un conjunto de parámetros predefinidos a medida que pasan a través de un sistema de puertas automatizadas en el establo permite seleccionar y separar aquellas vacas que necesitan una atención individualizada y simplifica el proceso de localización.

La infraestructura automatizada ha mejorado la productividad del trabajo en las explotaciones y se presenta como un vector de soporte para mejorar la digitalización de las explotaciones a través de sensores que pueden monitorizar y prometen manejar a los animales individualmente con una precisión sin precedentes para optimizar su rendimiento individual manteniendo unos niveles excelentes de bienestar en el animal.

La monitorización del comportamiento y actividad del animal individual permite mejorar la toma decisiones en ámbitos que tienen un impacto directo en la rentabilidad de las explotaciones como son el manejo de la repro-

ducción y la salud del animal. En la reproducción, la información recogida por sensores permite identificar cuándo la vaca está en celo y el mejor momento para inseminarla y asegurar la gestación. Por otra parte, podemos predecir con algunas horas de antelación cuándo se va a producir el parto para prestar la atención debida en ese momento.

En cuanto a la salud del animal, existen tecnologías digitales para medir la temperatura del animal, el pH ruminal (predictor de la salud del rumen), la posición de la cabeza del animal a través de acelerómetros (indicador relacionado con el comportamiento en la alimentación y el parto), y los tiempos de descanso y actividad, además de dispositivos habituales en la salud humana como los controladores del ritmo cardíaco.

3. Penetración de las tecnologías digitales

No existe información basada en investigaciones sistemáticas sobre la penetración de la digitalización el sector, pero el estudio reciente del Observatorio para la Digitalización del Sector Agroalimentario Español del MAPA y Cajamar (2023) ofrece algunos datos interesantes.

El 92,8 por 100 de los productores con unos ingresos anuales superiores a 500.000 euros miden las variables de su actividad, mientras aquellos ganaderos que disponen de unos ingresos inferiores a 2.000 euros al año, es del 22,2 por 100. Las explotaciones ganaderas con unas ventas de entre 25.000 a 100.000 euros al año no capturan datos en el 37,4 por 100 de las ocasiones.

Sobre el total de 36 explotaciones de vacuno de leche encuestadas, el tipo de captura de datos en las explotaciones de vacuno de leche arroja el siguiente resultado: el 55,6 por 100 de las explotaciones dispone de sensores de temperatura, el 38,6 por 100 sensores de humedad, el 25 por 100 básculas inteligentes y estaciones de alimentación con control de consumo, el 16,7 por 100 sensores de control de la movilidad del ganado y cámaras de monitorización de los animales, el 13,9 por 100 sensores de gases ambientales, el 8,3 por 100 collares GPS son acelerómetro, el 5,6 por 100 collares GPS con acelerómetro, el 2,8 por 100 cámaras térmicas y 33,3 por 100 no capturan datos. Entre las 75 empresas del sector lácteo encuestadas, el 57,3 por 100 utilizan sensores para controlar el proceso de producción y el 44 por 100 para controlar la calidad de la mercancía.

En cuanto a las actividades automatizadas en las explotaciones de vacuno de leche, el 47,2 por 100 mide automáticamente la producción individual de los animales, el 41,7 por 100 tiene automatizada la distribución del alimento y la limpieza de las deyecciones del ganado, el 33,3 por 100 controla las condiciones ambientales dentro de las explotaciones, el 30,6 por 100 la detección del celo, el 19,4 por 100 la detección de partos y el 13,9 por 100 el pesaje de los animales. La implantación de robotización en la industria láctea arroja los siguientes resultados: el 37,3 por 100 tiene líneas automatizadas de producción, el 17,3 por 100 brazos robóticos articulados y el 10,7 por 100 robots para el transporte de mercancías dentro de la industria.

El 66,7 por 100 declaran no emplear ningún sistema de inteligencia artificial en las explotaciones de vacuno lechero. Solo el 16,7 por 100 declaran su uso en el control automático de las condiciones ambientales y en el análisis de los datos generados en la explotación. Finalmente, un 8,3 por 100 la utilizan para analizar imágenes y un 5,6 por 100 para permitir el movimiento físico de las máquinas.

El 41,3 por 100 de las empresas del sector lácteo no dispone de una estrategia de digitalización, el 40 por 100 disponen de una estrategia de digitalización y el 18,7 por 100 se encuentran desarrollando actualmente dicha estrategia.

4. Barreras

Las barreras para la penetración de la digitalización en el sector vacuno lechero son similares a las de otros sectores y entre ellas se encuentran el coste y el desconocimiento de las nuevas tecnologías, la percepción sobre el riesgo de no recuperar la inversión y la falta de disponibilidad de personal formado. El exceso de información puede ser también un hándicap importante que ha sido mencionado ya en algunos estudios (Von Keyserlingk *et al.*, 2023). En la monitorización del celo, el resultado está muy claro para el ganadero, en forma de una instrucción clara del tipo «la vaca X está lista para ser inseminada». Sin embargo, no hay aún un resultado claro en forma de acciones parecidas en la monitorización de la salud del animal, produciéndose además una sobrecarga de información para el ganadero, además de la sensación de que los datos recolectados muchas veces no son los necesarios para tomar las decisiones.

VI. CONCLUSIONES

Los procesos de digitalización abren nuevas oportunidades para la cadena de valor agroalimentaria y para el mundo rural. El potencial es evidente, pero existen limitaciones a las que debe darse respuesta de forma coordinada, para lograr la generalización de estos procesos.

Destacan cinco elementos que pueden considerarse clave para avanzar en la dirección señalada: 1) la apuesta por una formación y capacitación en competencias digitales de los diferentes actores del sector agroalimentario y del medio rural; 2) la presencia de jóvenes en el sector; 3) la interoperabilidad y compartición de datos; 4) la importancia del cambio cultural y de las actitudes; y 5) las alianzas: una de las claves para avanzar será, sin duda, la colaboración entre la Administración, las empresas, los agricultores y ganaderos, el mundo académico y la sociedad civil.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILERA-PUERTO, D., CÁCERES-MORENO, O., MARTÍNEZ-GILA, D. M., GÓMEZ-ORTEGA, J. y GÁMEZ-GARCÍA, J. (2019). Online system for the identification and classification of olive fruits for the olive oil production process. *Food Measure*, 13, pp. 716-727. doi: <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9984-0>
- ALSAYAT, A. y AHMADI, H. (2023). Workers' Opinions on Using the Internet of Things to Enhance the Performance of the Olive Oil Industry: A Machine Learning Approach. *Processes*, 11, 271. doi: <https://doi.org/10.3390/pr11010271>
- AMARO, S., BARROCO, C. y ANTUNES, J. (2010). The Internet as an important tool in developing the Dao wine route network: A study of the Dao wine route websites. *Proceedings of the IASK International Conference Global Management*, pp. 2-10.

- BERNAL-JURADO, E., MOZAS-MORAL, A., MEDINA-VIRUEL, M. J. y FERNÁNDEZ UCLÉS, D. (2018). Evaluation of Corporate Websites and Their Influence on the Performance of Olive Oil Companies. *Sustainability*, 10, 1274. doi: <https://doi.org/10.3390/su10041274>

- BOUZDINE-CHAMEEVA, T., JAEGLER, A. y TESSON, P. (2019). Value co-creation In wine logistics: The case of Dartess. *IEEE Engineering Management Review*, 47(1), pp. 115-125. doi: <https://doi.org/10.1109/EMR.2019.2898631>

- CAMPO VELÁZQUEZ, A. DEL (2021). *E-commerce en el mercado del vino español. Estrategias, preferencias y diferenciación del producto*. Recuperado de: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/49177>

- CASSON, A., ORTUANI, B., GIOVENZANA, V., BRANCADORO, L., CORSI, S., GHARSALLAH, O., GUIDETTI, R. y FACCHI, A. (2022). A multidisciplinary approach to assess environmental and economic impact of conventional and innovative vineyards management systems in Northern Italy. *Science of The Total Environment*, 838, 156181. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156181>

- COI, COMITÉ OLEÍCOLA INTERNACIONAL (2023). *IOC Olive Oil Dashboard October 2023*. Recuperado de: https://agriculture.ec.europa.eu/document/306cf510-5934-4488-b9c1-d6abf264c381_en (consultada el 24 de octubre de 2023).

- CONTRERAS, M. M., ROMERO, I., MOYA, M. y CASTRO, E. (2020). Olive-derived biomass as a renewable source of value-added products. *Process Biochemistry*, 97, pp. 43-56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.06.013>

- DIAS, A., FALCÃO, PINHEIRO, A. y PEÇA, J. (2022). Effect of Mechanical Pruning on Olive Yield in a High-Density Olive Orchard: An Account of 14 Years. *Agronomy*, 12(5), 1105. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy12051105>

- ELÍAS PASTOR, L. V. (2006). *El turismo del vino. Otra experiencia de ocio*. Documentos de estudios de ocio. Recuperado de: <http://>

www.deustopublicaciones.es/deusto/pdfs/ocio/ocio30.pdf

ELIJAH, O., RAHMAN, T. A., ORIKUMHI, I., LEOW, C. Y. y HINDIA, M. N. (2018). An overview of Internet of Things (IoT) and data analytics in agriculture: Benefits and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(5), pp. 3758-3773. DOI: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2844296>

GALLARDO-COBOS, R. y SÁNCHEZ-ZAMORA (2022). Por una digitalización inclusiva en la agricultura y el mundo rural. *Agricultura Familiar en España Anuario 2019*, pp. 177-188. Madrid: Fundación de Estudios Rurales.

GALLARDO-COBOS, R. y SÁNCHEZ-ZAMORA P. (2017). Olivar y desarrollo rural: las oportunidades derivadas de la diversificación concéntrica. En J. GÓMEZ-LIMÓN y M. PARRAS (coords.), *Economía y comercialización de los aceites de oliva. Factores y perspectivas para el liderazgo español del mercado global*, pp. 161-177. Almería: Cajamar Caja Rural.

GARRIDO-VARO, A., SÁNCHEZ, M. T., DE LA HABA, M. J., TORRES, I. y PÉREZ-MARÍN, D. (2017). Fast, Low-Cost and Non-Destructive Physico-Chemical Analysis of Virgin Olive Oils Using Near-Infrared Reflectance Spectroscopy. *Sensors*, 17(11), 2642. DOI: <https://doi.org/10.3390/s17112642>

GONÇALVES, A. R., DORSCH, L. L. P. y FIGUEIREDO, M. (2022). Digital Tourism: An Alternative View on Cultural Intangible Heritage and Sustainability in Tavira, Portugal. *Sustainability*, 14, 2912. doi: <https://doi.org/10.3390/su14052912>

HEDLEY, C. (2015). The role of precision agriculture for improved nutrient management on farms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(1), pp. 12-19. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6734>

JULIANO, P., GABER, M. A. F. M., ROMANIELLO, R., TAMBORRINO, A., BERARDI, A. y LEONE, A. (2023). Advances in Physical Technologies to Improve Virgin Olive Oil Extraction Efficiency in High-Throughput Production Plants. *Food Engineering Reviews*, 15, pp. 625-

642. doi: <https://doi.org/10.1007/s12393-023-09347-1>

KHANAL, S., FULTON, J. y SHEARER, S. (2017). An overview of current and potential applications of thermal remote sensing in precision agriculture. *Computer and Electronics in Agriculture*, 139, pp. 22-32. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.05.001>

KOSIOR, K. (2022). The Advancement of Digitalization Processes in Food Industry Enterprises in the European Union. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej Problems of Agricultural Economics*, 371(2), pp. 28-46. DOI: <https://doi.org/10.22004/ag.econ.324173>

MAPA, MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACIÓN (2019). *Reforma de la PAC: Implicaciones en el sector vacuno lechero*. Recuperado de: https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/20191113_reformapacyo2_sectorialvacunodelecherev_tcm30-522330.pdf

MAPA, MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACIÓN (2020). *Documento de partida subgrupo de trabajo del objetivo específico 1: Apoyar una renta viable y la resiliencia de las explotaciones agrícolas en todo el territorio de la UE para mejorar la seguridad alimentaria*. Recuperado de: https://www.mapa.gob.es/es/pac/pac-2023-2027/200707_oe1documentopartidav16final_tcm30-520419.pdf

MAPA, MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACIÓN (2023). *Boletín de mercado de Aceite de Oliva de septiembre de 2023*. Recuperado de: https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/aceite-oliva-y-aceituna-mesa/boletines_de_mercado.aspx (consultada el 24 de octubre de 2023).

MAPA, MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACIÓN (2023). *El sector vacuno de leche en cifras 2022. Principales indicadores económicos*. https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/indicadores2022_tcm30-655886.pdf

MAPA, MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACIÓN Y CAJAMAR-

CAJA RURAL (2023). *Observatorio para la digitalización del sector agroalimentario. Análisis del estado actual de la digitalización del sector agroalimentario español*. Recuperado de: https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/innovacion-medio-rural/estudio_3def_tcm30-655779.pdf

MESSINA, G. y MODICA, G. (2022). The Role of Remote Sensing in Olive Growing Farm Management: A Research Outlook from 2000 to the Present in the Framework of Precision Agriculture Applications. *Remote Sensing*, 14(23), 5951. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14235951>

OIV, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE LA VIÑA Y EL VINO (2021). *Digital trends applied to the vine and wine sector. A comprehensive study on the digitalisation of the sector* (1st edition). Recuperado de: <https://www.oiv.int/sites/default/files/2023-10/digital-trends-applied-to-the-vine-and-wine-sector.pdf>

OIV, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE LA VIÑA Y EL VINO (2022). *Análisis anual del sector vitivinícola mundial en 2021*. Recuperado de: https://www.oiv.int/sites/default/files/documents/OIV_Analisis_anual_del_sector_vitivinicola_mundial_en_2021.pdf

OIV, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE LA VIÑA Y EL VINO (2023). *Actualidad de la coyuntura del sector vitivinícola mundial en 2022*. Recuperado de: https://www.oiv.int/sites/default/files/documents/OIV_Actualidad_de_la_coyuntura_del_sector_vitivinicola_mundial_en_2022_0.pdf

ORTENZI, L., FIGORILLI, S., COSTA, C., PALLOTTINO, F., VIOLINO, S., PAGANO, M., IMPERI, G., MANGANIello, R., LANZA, B. y ANTONUCCI, F. A. (2021). Machine Vision Rapid Method to Determine the Ripeness Degree of Olive Lots. *Sensors*, 21, 2940. doi: <https://doi.org/10.3390/s21092940>

PARRA-LÓPEZ, C., REINA-USUGA, L., CARMONA-TORRES, C., SAYADI, S. y KLERKX, L. (2021). Digital transformation of the agrifood system: Quantifying the conditioning factors to inform policy planning in the olive sector. *Land Use Policy*, 108, 105537. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105537>

- PRIVITERA, D. (2010). Heritage and wine as tourist attractions in rural areas. *Proceedings of the 116th Seminar of the European Association of Agricultural Economists*, pp. 2-10.
- ROMA, E. y CATANIA, P. (2022). Precision Oliviculture: Research Topics, Challenges, and Opportunities - A Review. *Remote Sensing*, 14(7), 1668. doi: <https://doi.org/10.3390/rs14071668>
- SANTESTEBAN, L. G. (2019). Precision viticulture and advanced analytics. A short review. *Food Chemistry*, 279, pp. 58-62. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.140>
- SCOKKAI, P., PENNING, J. M. EE., THEUVSEN, L., HAAN, M., ZIJLSTRA, J., CLAUSEN, S. y LEHTONEN, H. (2012). *Analysis on future developments in the milk sector*. Bruselas, Bélgica: DG AGRI.
- SEARS, D. y WEATHERBEE, T. G. (2023). The Future of the Wine Tourism Experience: The Potential of Smart (er) Winescapes?. En M. SIGALA y C. HALLER (eds.), *Technology Advances and Innovation in Wine Tourism: New Managerial Approaches and Cases*, pp. 135-150. Singapore: Springer.
- SOLA-GUIRADO, R. R., SÁNCHEZ-CACHINERO, P. y ROLDÁN-BLANCO, G. (2023). Simultaneous trunk and branch shaking in an over-the-row olive harvester. *Biosystems Engineering*, 231, pp. 92-103. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.06.005>
- SPACHOS, P. (2020). Towards a Low-Cost Precision Viticulture System Using Internet of Things Devices. *IoT*, 1(1), pp. 5-20. <https://doi.org/10.3390/iot1010002>
- TARDAGUILA, J., STOLL, M., GUTIÉRREZ, S., PROFFITT, T. y DIAGO, M. P. (2021). Smart applications and digital technologies in viticulture: A review. *Smart Agricultural Technology*, 1, 100005. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2021.100005>
- VALLÈS, G. (2022). *Informe Sector Vitivinícola*. EAE Business School - Strategic Research Center. Recuperado de: https://www.vinetur.com/documentos/article/68244/SRC_vino.pdf
- VIANA, N. A. (2016). Digital wine marketing: Social media marketing for the wine industry. *BIO Web of Conferences*, 7, 03011. doi: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20160703011>
- VIOLINO, S., PALLOTTINO, F., SPERANDIO, G., FIGORILLI, S., ORTENZI, L., TOCCI, F., VASTA, S., IMPERI, G. y COSTA, C. A. (2020). Full Technological Traceability System for Extra Virgin Olive Oil. *Foods*, 9, 624. doi: <https://doi.org/10.3390/foods9050624>
- VIOLINO, S., PALLOTTINO, F., SPERANDIO, G.; FIGORILLI, S., ANTONUCCI, F., IOANNONI, V., FAPPIANO, D. y COSTA, C. (2019). Are the Innovative Electronic Labels for Extra Virgin Olive Oil Sustainable, Traceable, and Accepted by Consumers? *Foods*, 8, 529. doi: <https://doi.org/10.3390/foods8110529>
- VON KEYSERLINGK, M. A. G., MILLS, K. E. y WEARY, D.M. (2023). Attitudes of western Canadian dairy farmers towards technology. *Journal of Dairy Science*. In press doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23279>
- VRONTIS, D., BRESCIANI, S. y GIACOSA, E. (2016). Tradition and innovation in Italian wine family businesses. *British Food Journal*, 118(8), pp. 1883-1897. doi: <https://doi.org/10.1108/BFJ-05-2016-0192>
- WADEWITZ, C. D. (2023). FOMENT: Promoting Technology Acceleration and Adoption in the Australian and International Wine Tourism Industry. En M. SIGALA y C. HALLER, (eds.), *Technology Advances and Innovation in Wine Tourism: New Managerial Approaches and Cases*, pp. 135-150. Singapore: Springer.
- WONGPRAWMAS, R. y SPADONI, R. (2018). Is innovation needed in the Old World wine market? The perception of Italian stakeholders. *British Food Journal*, 120(6), pp. 1315-1329. doi: <https://doi.org/10.1108/BFJ-07-2017-0409>
- WU, W. y MA, B. (2015). Integrated nutrient management (INM) for sustaining crop productivity and reducing environmental impact: A review. *Science of the Total Environment*, 512-513, pp. 415-427. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.101>
- YOST, M. A., KITCHEN, N. R., SUDDUTH, K. A., SADLER, E. J., DRUMMOND, S. T. y VOLKMAN, M. R. (2017). Long-term impact of a precision agriculture system on grain crop production. *Precision Agriculture*, 18(5), pp. 823-842. doi: <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9490-5>
- ZAMARREÑO, G., CRUZ, E. y HERNANDO, C. (2021). La digitalización de la experiencia enoturística: Una revisión de la literatura y aplicaciones prácticas. *Doxa Comunicación. Revista Interdisciplinaria de Estudios de Comunicación y Ciencias Sociales*, 33, pp. 257-283. doi: <https://doi.org/10.31921/doxacom.n33a930>