

Observatorio para la Digitalización del Sector Agroalimentario

Diagnóstico y análisis de la situación de partida



Abril 2022



Observatorio para la Digitalización del Sector Agroalimentario

Diagnóstico y análisis de la situación de partida

© 2022 Texto: Grupo Cooperativo Cajamar

© 2022 imágenes: Adobe Stock (excepto mención expresa).

EDITA y PUBLICA

© Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones

© Cajamar Caja Rural

UNIDAD PROPONENTE

Subdirección General de Innovación y Digitalización

NIPO

003230580

CATÁLOGO DE PUBLICACIONES DE LA ADMINISTRACIÓN GENERAL DEL ESTADO:

<https://cpage.mpr.gob.es/>

DISEÑO Y MAQUETACIÓN

Beatriz Martínez Belmonte | Plataforma Tierra (Grupo Cooperativo Cajamar)

Fecha: abril de 2022



-
-
-

Observatorio para la Digitalización del Sector Agroalimentario

Diagnóstico y análisis de la situación de partida

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO Y CONCLUSIONES 13

1. La estrategia de digitalización del sector agroalimentario y forestal y del medio rural	14
2. El papel del sector agroalimentario	14
3. Los antecedentes de la digitalización en el sector agroalimentario	15
4. Caracterización de las explotaciones agrarias	16
5. La conectividad de las zonas rurales como factor condicionante	17
6. Tecnologías de base para la digitalización en el sector agroalimentario	17
7. Automatización	18
8. Ventajas y utilidades que proporciona la digitalización	18
9. Casos de uso	19
10. El escenario europeo y global de la digitalización agroalimentaria	19
11. La conexión entre todas las fases de la cadena alimentaria. Una aproximación holística de toda la cadena de valor	20
12. Gobernanza de la digitalización	20
13. Próximos pasos	21

EL PAPEL DEL SECTOR AGROALIMENTARIO EN LA ACTIVIDAD SOCIOECONÓMICA Y EL EQUILIBRIO TERRITORIAL 23

1. Introducción	23
1.1. Una introducción a la política digital	24
1.2. La transformación digital en España	25
2. Importancia económica del sector agroalimentario	30
3. Relevancia social del sector agroalimentario	33
4. Características del empleo	34
5. Productividad	36
6. Diversidad productiva	37
7. Competitividad	38
8. Equilibrio territorial	40
8.1. La distribución del uso de tierras	41
8.2. La distribución territorial de la producción	

9. El agua como el factor más determinante de la producción agraria	44
<i>9.1. La agricultura de regadío. La importancia del agua</i>	44
10. Otros insumos de la actividad agraria	48
<i>10.1. Evolución en el consumo de fertilizantes</i>	48
<i>10.2. Evolución en el consumo de fitosanitarios</i>	50
<i>10.3. El consumo de piensos para ganadería</i>	51
<i>10.4. El gasto en energía</i>	53
11. La inversión en I+D+i	54

ANTECEDENTES DE LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL DEL SECTOR AGROALIMENTARIO 57

1. Introducción	57
<i>1.1. De producir cuanto más mejor a producir más con menos</i>	58
<i>1.2. La transformación digital de la economía</i>	59
<i>1.3. Dos transiciones simultáneas</i>	59
2. La informática llega al sistema agroalimentario	60
<i>2.1. Una oferta creciente</i>	61
<i>2.2. La consolidación antes de la era de internet</i>	62
3. Los inicios de la precisión en la producción de alimentos	62
4. Más de 20 años combatiendo la brecha digital	66
5. La primera información agraria en la red	68

CARACTERIZACIÓN DE LOS AGENTES DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO 69

1. Introducción	69
2. Análisis de los titulares de las explotaciones	70
<i>2.1. Titularidad de las explotaciones según grupo de edad y sexo</i>	70
<i>2.2. Nivel de formación</i>	72
3. Análisis de la estructura de las explotaciones	76
<i>3.1. Distribución por número, superficie agrícola utilizada y grupos de edad</i>	76
<i>3.2. Distribución según la dimensión económica de las explotaciones</i>	78
<i>3.3. Distribución según orientación productiva</i>	80
4. Análisis de la relación entre las fases de la cadena agroalimentaria	82
<i>4.1. Transformación digital en la industria agroalimentaria</i>	84
5. Aspectos para tener en cuenta en el diagnóstico	87

CONECTIVIDAD **89**

1. Tecnologías	91
1.1. <i>Tecnologías de conexión de área local (LAN)</i>	92
1.2. <i>Tecnologías de conexión de área extensa (WAN)</i>	93
2. Conectividad en España. Evolución	96
2.1. <i>Evolución del grado de cobertura</i>	100
2.2. <i>5G: una tecnología disruptiva</i>	103
3. Conectividad en Europa	106
3.1. <i>Conectividad la Unión Europea frente a España</i>	108
Acrónimos	110

TECNOLOGÍAS DE BASE PARA LA DIGITALIZACIÓN EN EL SECTOR AGROALIMENTARIO **113**

1. Introducción	113
2. Bases para la digitalización	114
3. Herramientas tecnológicas para la digitalización agroalimentaria	116
3.1. <i>Tecnologías habilitadoras</i>	118
3.2. <i>Herramientas para la digitalización</i>	135
3.3. <i>Impactos y retos de las tecnologías</i>	162

AUTOMATIZACIÓN **169**

1. Introducción	169
2. Producción agrícola	170
2.1. <i>La conducción autónoma</i>	170
2.2. <i>La aplicación de agroquímicos</i>	173
2.3. <i>Sembradoras y trasplantadoras</i>	177
3. Producción ganadera	183
3.1. <i>Manejo de los animales</i>	183
3.2. <i>Transporte y distribución del alimento</i>	190
3.3. <i>Manejo del producto</i>	193
3.4. <i>Manejo de las deyecciones ganaderas</i>	197
4. Industria alimentaria	200

VENTAJAS, INCONVENIENTES Y UTILIDADES DE LA DIGITALIZACIÓN EN EL SECTOR AGROALIMENTARIO

203

1. Introducción	203
2. Mejorar el uso de <i>inputs</i>	205
3. Preparación de la explotación	207
3.1. <i>La fertilidad del suelo</i>	207
3.2. <i>Elección de la especie o variedad</i>	207
4. Formar y asesorar a los agricultores	208
4.1. <i>El impulso público de la digitalización</i>	210
5. Informar a los agricultores e industria alimentaria sobre la demanda de los mercados y las nuevas oportunidades	211
6. Predicción de cosechas	213
7. Acelerar el proceso de desarrollo de nuevo insumos	214
8. La robotización y automatización de tareas	215
9. Generación de comunidades de conocimiento	215

CASOS DE USO

217

1. De carácter general	217
1.1. <i>Gradiant</i>	217
2. Tecnologías de campo	219
2.1. <i>Agrosap (Soluciones Agrícolas de Precisión SL)</i>	219
2.2. <i>SmartRural. Agricultura inteligente</i>	220
2.3. <i>VisualNACert SL</i>	221
2.4. <i>Verde Smart Corporation</i>	223
2.5. <i>BASF- agro</i>	224
2.6. <i>Grupo Buitrago. Buitech. Agricultura 4.0</i>	224
2.7. <i>XARVIO</i>	226
2.8. <i>Greenfield Technologies</i>	227
2.9. <i>CropX</i>	228
2.10. <i>Farmers Edge</i>	229
2.11. <i>Sygenta Dygital</i>	229
2.12. <i>Agrodato</i>	230
2.13. <i>Conapa</i>	230
2.14. <i>Bigm</i>	231
2.15. <i>iBeeAgro</i>	231
2.16. <i>Widhoc</i>	232
2.17. <i>BrioAgro Tech</i>	233
2.18. <i>Trimble</i>	234
2.19. <i>SGS España. Agricultura y alimentos. Agricultura de precisión</i>	234

3. Sensórica	235
3.1. Saturas	235
3.2. Trace Genomics	236
3.3. Biome Markers	236
3.4. Cesens	237
3.5. Argotec Ingeniería	237
3.6. Agerpix	238
3.7. Agroconecta	238
3.8. M2sensores	239
3.9. Plantae	239
3.10. Aquamática	239
3.11. Arvum agriculture	240
4. Tecnologías en ganadería	240
4.1. OPPGroup	240
4.2. PigCHAMP Pro-Europa SL	241
4.3. Allflex Livestock Intelligence Global	243
4.4. Delaval	244
4.5. Digitanimal	245
5. Software	246
5.1. Agrisat Iberia, SL	246
5.2. Grupo Hispatec	247
5.3. RAWDATA	250
5.4. EOS	251
5.5. Plataforma Tierra	252
5.6. Agcode	253
5.7. DTN	254
5.8. Heimdall Technology	255
5.9. oSIGRis	255
5.10. ec2ce	256
6. Equipos	256
6.1. Hemav. Drones, mapeo y análisis de datos	256
6.2. ServiDrone	258
6.3. Pulverizadores Fede	259
6.4. Carbon Robotics	260
6.5. Teejet technologies	260
6.6. Amazonen-Werke H. Dreyer Se & Co. Kg	261
6.7. John Deere	262
6.8. Nutricontrol	263
7. Cadena de suministro: empresas desarrolladoras de <i>blockchain</i>	264
8. Iniciativas públicas	264

9. Otros	266
9.1. Agua	266
9.2. Drones	267
9.3. Internet de las cosas, inteligencia artificial y big data	267
9.4. Otros	268
9.5. Software como servicio	269
9.6. Cuaderno de campo	270
9.7. Social	270
9.8. Urbana	271
9.9. Agroalimentación	271
9.10. Desintermediación	272
9.11. Ganadería	273
9.12. Medioambiente	275

EL ESCENARIO EUROPEO Y GLOBAL DE LA DIGITALIZACIÓN AGROALIMENTARIA **277**

1. El papel de las instituciones internacionales	277
1.1. Iniciativas para la transformación digital	277
2. El papel de los países y regiones	278
2.1. Estrategias para la transformación digital	279
2.2. La transformación digital de la Unión Europea: cuestión transversal y capital para la descarbonización de la economía	280
3. El papel de las universidades	289
4. El impulso desde el sector privado	293
4.1. Aprendizajes desde el sector privado	299

LA CONEXIÓN ENTRE TODAS LAS FASES DE LA CADENA ALIMENTARIA **303**

1. Fases que conforman el sistema agroalimentario	303
1.1. Evolución de la población mundial	304
1.2. El desarrollo de las ciudades	305
2. El sector agrario como base del sistema alimentario	306
2.1. Drástica reducción en el número de explotaciones	307
2.2. Un sector agrario cada vez más tecnificado	307
3. Las relaciones del sector agrario con las suministradoras de tecnologías de producción	309
3.1. Fertilizantes	310
3.2. Fitosanitarios	312
3.3. Maquinaria agrícola	312
3.4. Las semillas	313
3.5. La alimentación animal	314
3.6. Productos veterinarios	315

4. La integración de los productores con las empresas de transformación y comercialización de alimentos	316
4.1. <i>La integración de la cadena agroalimentaria en España</i>	318
4.2. <i>Las normas de calidad y la trazabilidad como mecanismo para mantener la uniformidad en el producto final</i>	321
4.3. <i>El comercio electrónico de alimentos</i>	322
5. Preparándose para el futuro: la comunicación directa con el consumidor	323

CIBERSEGURIDAD Y ASPECTOS NORMATIVOS DE LA DIGITALIZACIÓN **325**

1. Introducción	325
2. Riesgos	326
3. Situación en el sector Agroalimentario	326
3.1. <i>Concienciación y cultura de seguridad en el sector</i>	327
4. La digitalización del sector agroalimentario y la gobernanza del dato	328
4.1. <i>Valor del dato</i>	328
5. Marco regulatorio	330
5.1. <i>Legislación aplicable</i>	331
5.2. <i>Tipos de datos</i>	332
5.3. <i>Códigos de conducta</i>	333
5.4. <i>Cooperativas de datos</i>	335
5.5. <i>Datos abiertos</i>	335

MODELOS DE OBSERVATORIOS DIGITALES **337**

1. Modelos de observatorios digitales en diferentes sectores económicos	337
---	-----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **349**



Resumen ejecutivo y conclusiones

El sector agroalimentario mundial ha tenido la capacidad de ir generando innovaciones con objeto de satisfacer las necesidades crecientes de alimentos para una población que no cesaba de aumentar. En los últimos 60 años ha sido capaz de alimentar más y mejor a los habitantes del Planeta, aunque todavía queda el reto pendiente de reducir y llegar a eliminar el problema del hambre y la malnutrición que sufren determinados colectivos.

Este aumento de la producción fue posible gracias al desarrollo y la implementación de determinadas tecnologías que han permitido incrementar los rendimientos por unidad de superficie. Siendo algunas de las más relevantes la expansión del regadío de precisión, la mejora genética, el desarrollo de los agroquímicos y la mecanización.

Durante este periodo la única prioridad fue producir más, sin tener muy en cuenta la forma en la que se conseguía y las externalidades negativas que generaba.

Sin embargo, la creciente presión sobre el medioambiente, el abuso de las energías fósiles, la creciente presión sobre los recursos y la reducción de los ecosistemas naturales está provocando un incremento de la emisión de gases efecto invernadero y el consecuente calentamiento global.

Ante esta situación se están redefiniendo las formas en las que producimos y consumimos la mayor parte de los bienes y productos. Y en este proceso la alimentación va a jugar un papel fundamental, ya que supone una actividad esencial para la humanidad y representa una parte importante del consumo de recursos y de ocupación del territorio.

Para seguir incrementando la producción de alimentos, ayudar a mitigar el cambio climático y asegurar la rentabilidad económica de los agentes que intervienen a lo largo de toda la cadena, van a ser necesarias nuevas herramientas e instrumentos. Es necesario producir más con menos.

1. La estrategia de digitalización del sector agroalimentario y forestal y del medio rural

Conscientes de los retos a los que nos enfrentamos, el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación diseñó en el año 2019 la Estrategia de Digitalización del sector agroalimentario y forestal y del medio rural, en la que definía las líneas y medidas necesarias para impulsar la transformación digital, con el objetivo de contribuir al liderazgo de un sector agroalimentario sostenible y resiliente, y al poblamiento del medio rural.

En el marco de esta Estrategia, se definieron 3 Objetivos, 8 líneas estratégicas y 27 medidas de actuación. El primer Plan de Acción se puso en marcha en 2019 y el segundo cubrirá el periodo 2021-2023.

Dentro de las actuaciones de relevancia previstas para este II Plan de Acción está la realización de un «seguimiento y análisis continuado del grado de implantación y adopción de las tecnologías digitales en el sector agroalimentario a través de la creación de un Observatorio de Digitalización del sector. Entre las actuaciones a desarrollar por el Observatorio está la producción de un sistema de indicadores, así como la investigación, registro y análisis de las realidades, políticas públicas y tendencias de la digitalización del sector».

La creación y puesta en marcha del Observatorio de Digitalización ha sido incluido por el MAPA dentro del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia presentado por el Gobierno de España ante la Comisión Europea, con una dotación presupuestaria de 1.000.000 de euros a ejecutar entre 2021 y 2023.

Y en el marco del Protocolo General de actuación suscrito entre el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y Cajamar se firmó el pasado 10 de octubre de 2021 un convenio para la creación del Observatorio.

Como primer trabajo del Convenio se ha planteado un diagnóstico y análisis de situación y las tendencias que van a permitir el avance en el proceso de digitalización del sector agroalimentario español, cuyas principales conclusiones se recogen a continuación.

2. El papel del sector agroalimentario

La actividad agroalimentaria mantiene un peso relevante en la economía y el empleo en España, aproximándose en el primer caso al 10 % del PIB nacional y generando más del 11,7 % de los puestos de trabajo.

España se sitúa entre los principales países productores de la UE y mantiene niveles de productividad y competitividad muy superiores a la media europea. Ello ha permitido que nuestras exportaciones hayan crecido de manera consistente en los últimos años y seamos el segundo país que presenta un mayor superávit comercial.

Se trata de un sector muy diversificado con producciones relevantes en el ámbito europeo en porcino, fruta y cítricos, hortalizas, aceite de oliva, plantas y flores, aves y vino.

Si unimos las tierras labradas junto a las destinadas a la producción de pastos para la ganadería, supone la mayor ocupación territorial del país, ocupando más de la mitad de la superficie.

Esta amplia base territorial significa que es la actividad que mantiene una parte importante de las zonas rurales españolas, contribuyendo de esta forma a frenar y, en algunos casos, revertir el éxodo y el despoblamiento al que están sometidas. Todas las Comunidades Autónomas, todas las provincias y la mayor parte de los municipios españoles tienen actividad agraria.

Las peculiaridades de cada territorio han permitido una gran diversidad de producciones, siendo los rendimientos obtenidos y el valor generado dependiente de determinados factores de producción. Entre ellos cabe resaltar la importancia que tiene el agua por las condiciones ambientales de la mayor parte del país. La gran dependencia de este recurso nos obliga a optimizar su uso para maximizar la producción a obtener.

Los fertilizantes y los fitosanitarios son los otros dos insumos importantes de la agricultura española. Su empleo ha ido creciendo en la medida que lo han hecho las producciones agrarias. Pero el continuo incremento del precio de dichos factores y la relación directa de los mismos con la sostenibilidad de los sistemas de producción va a requerir la puesta en marcha de instrumentos que optimicen su empleo y que reduzcan las pérdidas.

En la misma línea, los piensos son el principal concepto de gasto para los ganaderos y de su buen uso depende su rentabilidad.

El aspecto en el que el sector agroalimentario español presenta un cierto retraso frente a la media europea es en la inversión en I+D+i, factor que va a ser crítico para la futura competitividad de nuestros agricultores y empresas.

3. Los antecedentes de la digitalización en el sector agroalimentario

Aunque la preocupación por la digitalización y las iniciativas puestas en marcha para facilitar su implementación de manera generalizada son relativamente recientes, las tecnologías necesarias llevan muchos años en experimentación y desarrollo.

La transformación digital de la cadena de valor se inicia en los años 80, cuando se comienza a hacer uso de las primeras soluciones informáticas para la gestión de empresas, cooperativas y explotaciones.

Pero no es hasta finales de los años 90 cuando se generaliza el uso de las herramientas digitales, a partir de la expansión de internet, el aumento de la capacidad de procesamiento de los equipos y los primeros pasos de la agricultura de precisión. Sin embargo, una parte importante del medio rural

español ha encontrado dificultades para acceder a las ventajas de la sociedad de la información a consecuencia de la brecha digital.

Además de las imprescindibles infraestructuras de conexión, la plena integración del sector agrario y del mundo rural en la sociedad de la información requería de la consolidación de espacios web con contenidos específicos dirigidos a atender sus necesidades y sus expectativas de desarrollo profesional y personal.

4. Caracterización de las explotaciones agrarias

Dentro de la gran capacidad productiva y de la elevada competitividad del sector agroalimentario español se esconden realidades muy diferentes. Tanto en términos de dimensión territorial y económica de las explotaciones como por la edad, la capacitación de los agricultores y su estado de digitalización.

En general, se observa una falta de relevo generacional que ha provocado un progresivo envejecimiento de la población agraria española. Esa variable está también relacionada con la escasa formación profesional y universitaria que tienen los agricultores españoles, influyendo gravemente en la capacitación digital de las explotaciones.

Por otro lado, aunque hay más de 945.000 explotaciones agrarias en España, la mayor parte de la superficie de cultivo y aún más el valor de la producción se obtiene en las de mayor dimensión. Las pequeñas y medianas explotaciones no significan la actividad principal de sus propietarios. Cada vez hay un número creciente de explotaciones muy productivas y gestionadas con un marcado carácter empresarial, que suelen mostrar un mayor grado de digitalización. La tecnología usada por la mayoría de los productores es la sensorización. Esta situación se da con más frecuencia en las explotaciones ganaderas intensivas y en el sector hortofrutícola.

Cruzando las variables anteriormente señaladas de edad, formación y dimensión económica de las explotaciones se observa que en las más grandes es mayor la proporción de jóvenes y que cuentan con formación agraria específica. Estas circunstancias nos hacen ser optimistas con el proceso de renovación de la agricultura española y su predisposición para la incorporación de nuevas tecnologías, entre las que destacan todas las vinculadas a la digitalización.

También es de resaltar la creciente integración existente entre las fases de producción y la industria alimentaria, ya sea por la vía tradicional de las cooperativas o a través de nuevas figuras lideradas por grandes empresas de alimentación.

Por su parte, la industria agroalimentaria muestra una digitalización menor que la media del sector industrial. El tamaño de la industria influye de manera significativa en la implantación de nuevas tecnologías y en la contratación de especialistas TIC.

5. La conectividad de las zonas rurales como factor condicionante

La completa transformación digital en el sector agroalimentario está condicionada por la conexión a internet de los diferentes dispositivos que intervienen a lo largo de todo el proceso de transferencia de la información.

Conscientes de estas limitaciones y del retraso que sufrían las zonas rurales, desde el año 2013 se han ido poniendo en marcha distintas iniciativas por las sucesivas administraciones públicas para reducir esta brecha digital. En estas iniciativas se contaba con la implicación y la inversión pública, pero también con el apoyo y los condicionante establecidos a las empresas privadas de telecomunicaciones.

Gracias al trabajo realizado de manera conjunta y coordinada se ha ido mejorando la cobertura hasta llegar a niveles en los que prácticamente todo el territorio está servido. Lógicamente con algunas diferencias de calidad en función de cual sea la tecnología a la que se pueda acceder.

El esfuerzo va a continuar durante los próximos años, y las tecnologías 5 G y la conexión mediante satélites de baja órbita van a permitir que cualquier empresa del medio rural pueda disponer de una gran cantidad de dispositivos conectados, para controlar el desarrollo de los cultivos, la vinculación con las industrias de transformación y la comunicación con los mercados.

6. Tecnologías de base para la digitalización en el sector agroalimentario

Una vez asegurada la conectividad entre los diferentes dispositivos son muchas las tecnologías que van a entrar en juego para llevar a cabo un primer proceso ascendente desde lo físico a lo digital, en el que los sensores integrados en las cadenas de producción recogen la información de lo que está pasando, la trasladan a grandes equipos de computación y se le aplican modernas tecnologías para poder extraer relaciones de causa-efecto. Con los resultados obtenidos se inicia un camino de retorno que va a permitir a los agentes de la cadena recibir recomendaciones que le ayudaran a la toma de decisiones.

Dentro de las diversas tecnologías que permiten esta transmisión de la información nos encontramos los sensores remotos, la computación en la nube, la gestión masiva de datos, la inteligencia artificial, los robots y drones, el *blockchain*, la realidad aumentada, la impresión en 3D y los sistemas autónomos.

7. Automatización

El desarrollo experimentado por el ser humano le ha llevado a desarrollar métodos y técnicas para mejorar la eficiencia y eficacia de las tareas, reduciendo consigo el tiempo dedicado a desempeñar las acciones. Uno de sus objetivos ha sido la automatización de las tareas.

El avance en esta materia ha sido progresivo a lo largo de la historia. Sin embargo, desde la primera Revolución Industrial se ha obtenido un crecimiento exponencial de las tareas automatizadas, sobre todo en los últimos sesenta años por el desarrollo de los Controladores Lógicos Programables (PLC), el Control Directo, el Control Numérico Computarizado (CNP) o la incorporación de la funcionalidad PLC.

En la actualidad, existe un amplio conjunto de tecnologías que permiten la automatización agropecuaria e industrial.

En materia de agrícola destaca la conducción autónoma de los tractores, la aplicación selectiva de agroquímicos, con un ahorro de hasta el 65 %; y la recolección de los frutos. Sin embargo, el uso de estas tecnologías obliga a adaptar algunos de los sistemas agrícolas a las condiciones exigidas por la maquinaria y se encuentran focalizadas sobre algunos subsectores.

En ganadería, las nuevas tecnologías pretenden ofrecer una mayor vigilancia ambiental de las explotaciones, controlar el bienestar animal y ofrecer unas mejores condiciones de salubridad para los animales.

En el ámbito de la Industria Alimentaria, la automatización engloba a tres grandes grupos de tareas: recoger y colocar insumos, ensamblaje y paletizado de la mercancía y de servicio para los clientes.

8. Ventajas y utilidades que proporciona la digitalización

Pero no debemos de perder la perspectiva que todas estas tecnologías son un medio para conseguir la eficiencia y la sostenibilidad económica, social y medioambiental del sistema agroalimentario.

Al final todas ellas tienen que estar alineadas con los retos a los que se enfrenta el sector y entre los que destacan la mejora en el uso de los insumos, como el agua, los fertilizantes, los fitosanitarios o la energía, la mejora en el diseño de los procesos productivos, facilitar la formación de todos los agentes de la cadena, implementar sistemas de asesoramiento independientemente del lugar en el que se encuentre el receptor y el facilitador del mismo.

También va a permitir mejorar el flujo de información entre los diferentes operadores tanto a nivel horizontal, entre personas y empresas que se dedican a la misma actividad, como de forma vertical. Así, se podrán acortar las distancias entre los agricultores y los consumidores finales, conociéndose mejor y dando respuesta de manera más eficiente a las necesidades y expectativas de cada uno.

Se podrá actuar reducir la incertidumbre generada por una actividad sometida a unas condiciones ambientales cambiantes y se podrán predecir la evolución tanto de la demanda como de la oferta. Evitando las grandes fluctuaciones de precios que provocan los desequilibrios.

Y por último, se acelerarán los procesos de innovación, facilitando que la producción de alimentos siga creciendo en un contexto con una mayor población a la que alimentar y con condiciones climatológicas cada vez más extremas.

9. Casos de uso

El creciente interés del sector agroalimentario por las nuevas soluciones que puede aportar la digitalización, el apoyo prestado al desarrollo de las mismas por parte de las administraciones públicas y de distintas organizaciones y las oportunidades empresariales que suponen está facilitando que cada vez haya más iniciativas en el ámbito internacional y nacional.

En este trabajo se han recogido ejemplos de servicios prestados por diferentes empresas, agrupándolos según tipologías: servicios integrales en materia de digitalización, servicios y productos aplicados en su conjunto a las explotaciones agrícolas, herramientas de sensórica, servicios ofertados para las actividades ganaderas, servicios de *software* aplicado a la cadena de valor, empresas que ponen a disposición del sector diferentes tipos de equipos que van desde los drones hasta otros para la aplicación de fitosanitarios.

Finalmente, se incorporan ejemplos de empresas que ofertan desde servicios de cuadernos de campo o libros de explotación ganadera hasta otras que ponen a disposición de la cadena herramientas de *blockchain*. También se incluyen otro tipo de servicios complementarios a la producción agroalimentaria, como son la comercialización, la gestión ambiental o la agricultura urbana o ecológica.

En definitiva, se recoge una muestra de los servicios y empresas que son proveedores tecnológicos en España. De su análisis podemos concretar que hay una predominancia de pequeñas y medianas empresas, lo que da una idea de la novedad de los servicios y nos hace pensar que en los próximos años habrá un gran dinamismo, que llevará a la consolidación de las empresas más innovadoras y que desarrollen soluciones mejor adaptadas a las necesidades específicas del sector agroalimentario.

10. El escenario europeo y global de la digitalización agroalimentaria

La situación a la que nos enfrentamos en España de facilitar la transformación digital del sector agroalimentario no es exclusiva de nuestro país. Por ello, consideramos que para dar respuesta a los desafíos que plantea y desplegar todo el potencial de la digitalización necesitamos partir de un enfoque global y sistémico que permita recoger las lecciones aprendidas y avances que otras iniciativas hayan puesto en práctica.

Necesitamos conocer la metodología con la que las organizaciones internacionales trasladan la visión y las recomendaciones para avanzar en el proceso de la transformación digital. Así como conocer las estrategias que los distintos países abordan para impulsar el cambio digital. Y, los diversos modelos de negocio digitales que las empresas más innovadoras están integrando.

Por ello, se ha realizado un análisis de la situación del escenario europeo y global de la digitalización agroalimentaria. Teniendo en cuenta la multitud de iniciativas que actualmente se están desarrollando, se han seleccionado aquellas que lideran el proceso y actúan como referente; distinguiendo entre las iniciativas de los distintos países, el papel de las organizaciones y universidades internacionales y el impulso del sector privado más vanguardista.

Cada experiencia analizada lleva aparejada un enfoque y una acción que nos permite enriquecer la propuesta final del Observatorio. Y, a la vez, la elaboración de este mapeo global nos permite confirmar la importancia creciente de la transformación digital como vector para seguir mejorando la sostenibilidad económica, social y ambiental del conjunto del sector agroalimentario.

11. La conexión entre todas las fases de la cadena alimentaria. Una aproximación holística de toda la cadena de valor

Una vez conocidas y determinados los hitos que van a ir marcando los retos a los que nos enfrentamos es importante tener en cuenta que la estructura del sector agroalimentario también está en permanente transformación, con una mayor integración entre las distintas fases de la cadena alimentaria.

Los negocios cada vez están más interrelacionados entre sí, y la competitividad de una determinada empresa va a estar condicionada por la alcanzada por sus proveedores y sus clientes. La digitalización supone una oportunidad más para intensificar y favorecer el intercambio de información, de conocimiento y de experiencias entre los diferentes eslabones de la cadena. Y trabajar de manera coordinado en un proceso de mejora continua.

El objetivo final es satisfacer las expectativas y demandas de los consumidores. Anticiparse a sus deseos y facilitarles la experiencia de compra. Especialmente importante en el sector de la alimentación, en la que la relevancia que están adquiriendo los circuitos cortos viene del interés por conocer quien es el productor del alimento y la forma en la que se ha obtenido.

12. Gobernanza de la digitalización

Pero todos estos cambios propiciados y facilitados por la digitalización significa también hacer frente a nuevos desafíos.

La generación masiva de datos a lo largo de toda la cadena alimentaria es muy valiosa para la toma de decisiones. En este sentido surgen nuevos retos relativos a definir la propiedad de los mismos, y al acceso, el intercambio y la utilización. Como muchas veces ocurre, la relación entre el usuario y el proveedor de la tecnología suele ser bastante asimétrica, pudiendo ser una traba para generar la confianza necesaria, frenando la transformación digital y el intercambio de información.

Para evitar la esta desconfianza, y que se dificulte la circulación de los datos, la UE está modernizando la legislación en un contexto marcado por importantes cambios tecnológicos, como puede ser la irrupción el 5G, la inteligencia artificial, el IoT, etc. Los cambios normativos persiguen la libre circulación, la creación de un mercado único digital y el desarrollo de todo el potencial de la «economía de los datos». Para ello, los diferentes reglamentos, por un lado, protegen a los usuarios dándoles un mayor control sobre sus datos y, por otro, reducen los trámites burocráticos para que las empresas puedan aprovechar al máximo las oportunidades de un mercado único.

En este contexto una correcta gobernanza de los datos es fundamental y se presentan algunas iniciativas voluntarias como los códigos de conducta o las cooperativas de datos, para proteger a los productores (originadores de los datos) y dotar de más transparencia el intercambio y uso de los mismos. Por último, se menciona la iniciativa de datos abiertos que facilitará compartir los datos en poder de la administración que pueden ayudar a dinamizar el desarrollo de la economía de los datos.

13. Próximos pasos

Con la realización de este primer diagnóstico de la situación en la que se encuentra el sector agroalimentario, su predisposición para abordar la transformación digital y las iniciativas públicas y privadas que están creando las bases sobre las que impulsar la alimentación del futuro hemos pretendido obtener una visión de conjunto sobre la que definir un plan de trabajo para los dos próximos años.

Con el impulso del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y la coordinación de todos los agentes implicados en esta transformación, tanto como potenciales usuarios de las tecnologías como de los creadores de las mismas, el sector agroalimentario español puede seguir estando a la cabeza en términos de productividad, competitividad, rentabilidad y sostenibilidad en el ámbito europeo y mundial.

Las próximas actuaciones irán encaminadas a contrastar la información recogida en este documento con los principales agentes del sector. Junto a ellos se elaborará un listado de los estudios en los que habrá que profundizar para definir las acciones concretas a desarrollar de manera conjunta y colaborativa. Y se creará un cuadro de mando de indicadores que nos permita realizar un seguimiento del grado de implantación de la digitalización en los diferentes territorios y para cada uno de los subsectores que conforman el sistema agroalimentario español.



El papel del sector agroalimentario en la actividad socioeconómica y el equilibrio territorial

1. Introducción

El sector agroalimentario siempre ha jugado un papel fundamental en nuestra sociedad.

Es esencial por cuanto nos suministra los alimentos suficientes para satisfacer las necesidades nutritivas de una población en permanente crecimiento.

Es estratégico porque su actividad tiene una repercusión relevante en términos de producción económica, de generación de empleo, de gestión del entorno y de mantenimiento de un territorio vivo y equilibrado.

Con el transcurso del tiempo, la actividad agroalimentaria se ha ido sofisticando y haciendo más compleja. La producción primaria, que ha sido durante mucho tiempo la más importante de toda la cadena de elaboración de alimentos, ha ido perdiendo relevancia frente a las fases de transformación, comercialización y distribución. En la misma medida, las explotaciones agrarias y las industrias de transformación son cada vez menos autosuficientes y dependen en gran medida de la incorporación de tecnologías y de la compra de insumos desarrollados y producidos por empresas especializadas de la industria auxiliar.

Por todo ello, cuando analizamos el papel que juega el sector agroalimentario en la economía de un país, tenemos que integrar en el estudio al menos las tres fases de la cadena: la agricultura, la industria alimentaria y la distribución. Para conseguir una imagen más real y completa sería también conveniente incluir todas las actividades logísticas y a la industria auxiliar, pero la complejidad de dicha tarea nos hace dejarla al margen de este.

Y un aspecto cada vez más relevante, y que debe ser introducido en los informes de impacto de cualquier actividad humana, es todo lo relacionado con el medioambiente. La creciente densidad demográfica y el continuo aumento de la demanda de bienes y servicios están provocando una fuerte presión sobre los recursos naturales, siendo el indicador que mejor lo refleja la creciente emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Ello nos está llevando a un incremento de la temperatura media terrestre, que puede tener consecuencias imprevisibles sobre nuestra calidad de vida.

En este contexto, el papel de la agricultura va a ser fundamental tanto para la mitigación de los efectos de cambio climático como por su necesaria adaptación para poder seguir produciendo suficientes alimentos.

Hay que tener en cuenta que la actividad agraria ocupa una parte muy importante del territorio y emite una proporción muy relevante de los GEI, pero también tiene la capacidad de fijar y absorber una cantidad importante de dichos gases. Por tanto, en la medida que se mejore la eficiencia de algunos procesos y que se incorporen nuevas técnicas y tecnologías más respetuosas se puede progresar considerablemente su contribución a la sostenibilidad de la actividad humana.

En este proceso, la apuesta por la innovación, por generar nuevo conocimiento y por compartirlo entre todos los agentes de la cadena alimentaria va a ser uno de los factores críticos para conseguir un sistema de producción más sostenible, al mismo tiempo que alcanzamos la rentabilidad de las empresas.

La digitalización va a permitir que todos estos procesos se realicen de manera colaborativa entre muchas personas y organizaciones, generando sinergias y consiguiendo efectos multiplicadores, lo que nos llevará a alcanzar los objetivos más rápido y con un mayor impacto.

1.1. Una introducción a la política digital

La digitalización ocupa una posición relevante en las nuevas reformulaciones políticas comunitarias y nacionales. Tanto es así, que en el Pacto Verde Europeo, documento sienta las bases de la transformación económica europea hacia un modelo de producción sostenible y resiliente; destaca la necesidad de implementar todas aquellas tecnologías que permitan realizar una descarbonización del sistema del sistema productivo.

Por ello, la Unión Europea ha formulado diversas estrategias que trata de catalizar la transformación digital, donde se encuentran los agentes del sistema agroalimentario.

En la estrategia De la Granja a la Mesa, que afecta de manera específica a la producción agropecuaria; también se ha identificado a la transformación digital como una cuestión de importancia capital su sostenibilidad. Todo ello ha conducido que en la nueva Política Agraria Común (PAC) se resalte la necesidad de modernizar el sector agrario a través del objetivo transversal «la modernización del sector agrario a través del conocimiento, la innovación y la digitalización en las zonas rurales».

Hay que destacar a la estrategia la Década Digital de la Unión Europea, de carácter transversal; desea reducir la brecha digital, expandir las competencias digitales e implementar un número mayor de tecnologías en la sociedad.

Otras acciones que ha realizado la UE es la creación de un Espacio Europeo de Datos Sectoriales. Su objetivo: ser el sistema único de datos abiertos para todos los sectores de la Unión Europea.

Todo ello ha conllevado a realizar una inversión de magnitudes nunca vistas en la Unión Europea para afrontar la transformación digital. A través del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y *Next Generation EU* se destina un conjunto de partidas presupuestarias que alcanzan los 2.017.800 millones de euros, debiéndose destinar un mínimo del 20 % del presupuesto para digitalización.

Los distintos Ministerios del Gobierno de España han incorporado estos planes de acción y estrategias dentro de su hoja de ruta. Así, el Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital (MINECO) ha destinado 19.600 millones de euros para cumplir con los objetivos propuestos en la agenda España Digital 2025, la cual gira en torno a 10 ejes estratégicos y 50 medidas. Una de las medidas principales que pueden catalizar la digitalización en el sistema agroalimentario en todo el territorio nacional.

Por otro lado, el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) ha destinado más de 1.000 millones de euros para la transformación digital del sistema agroalimentario. Habría que añadirle, además, otras medidas realizadas desde otras Administraciones como la inversión realizada por el Ministerio para la Transformación Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) de 3.000 millones de euros que trata de modernizar los sistemas hidráulicos del país, donde se encuentran los regadíos.

España es el único Estado miembro de la Unión Europea que ha definido una estrategia de digitalización específica para el sector agroalimentario, forestal y medio rural. Se subdivide en dos planes de acción que se componen de un conjunto de medidas que tratan de favorecer la transformación digital en estos ámbitos. Destacar algunas de las medidas puestas en marcha como el Centro de Competencias para la formación digital y agroalimentaria, formación digital para el personal directivo y productores primarios, herramientas digitales tales como Frukta o SiAr o la Caja de Herramientas del MAPA.

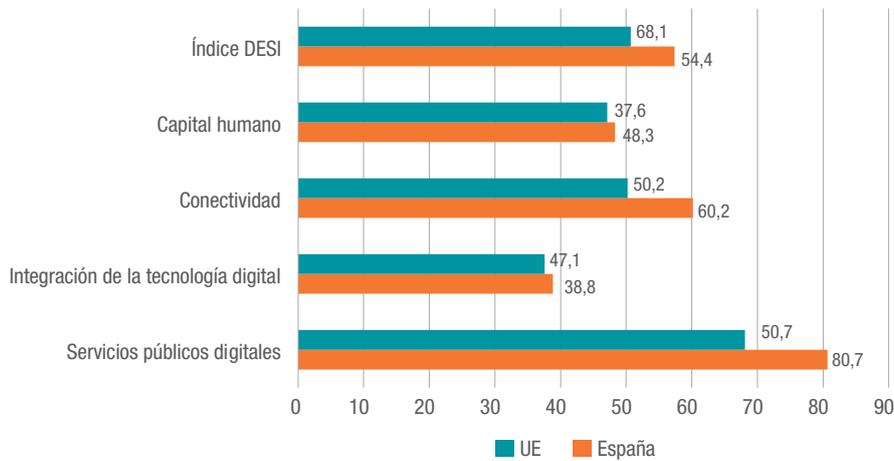
En el «capítulo 9 de este diagnóstico inicial del *Observatorio para la Digitalización del Sector Agroalimentario*» se realizará un análisis en profundidad de la política digital internacional, comunitaria y nacional. Sin embargo, para finalizar este apartado de introducción se realizará una exposición del estado de la digitalización en la sociedad española a través del Índice de Economía y Sociedad digital (DESI) del año 2021.

1.2. La transformación digital en España

En España, la digitalización se encuentra en un estado más avanzado que la media europea (Gráfico 1) a pesar del desequilibrio que existe entre los entornos rurales y los urbanos. Las diversas actuaciones realizadas desde las Administraciones españolas han actuado como catalizador para que el territorio español ocupe una posición de vanguardia en el contexto europeo, alcanzando la novena posición en la UE-27.

Como se ha nombrado con anterioridad, el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia destina casi 20.000 millones de euros a la Digitalización de la sociedad española, por lo que se prevé que haya una mayor expansión digital en el territorio español para alcanzar así los objetivos propuestos en La Década Digital de Europa.

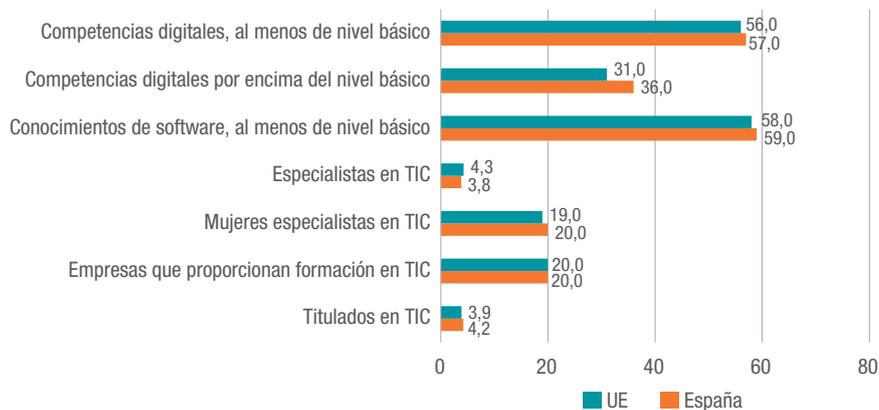
Gráfico 1.
Índice DESI y sus dimensiones en España y la Unión Europea (2021). En porcentaje



Fuente: Comisión Europea.

La competencia digital de la población española es ligeramente inferior a la media europea, y aún se encuentran lejos de los objetivos propuestos tanto por la Unión Europea como España para el año 2030 (Gráfico 2).

Gráfico 2.
Capacitación en TIC de la población española y europea (2021). En porcentaje



Fuente: Comisión Europea.

La proporción de especialistas en TIC en España es inferior a la media de la UE-27. En este sentido, la Comisión Europea (2020) comunicó que la capacitación de los empleados se considera como la principal barrera interna que poseen las empresas para usar tecnologías disruptivas, como son los sistemas de inteligencia artificial.

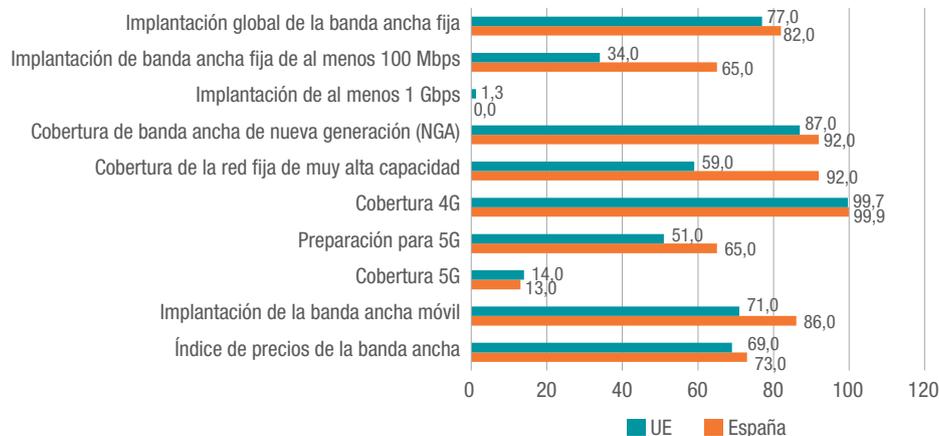
La Administración debe potenciar las medidas necesarias para expandir de la capacitación del capital humano, siendo una de las prioridades de la estrategia digital española (España Digital 2025) y de su homónima para el sistema agroalimentario y rural (Estrategia de Digitalización del Sector Agroalimentario y Forestal y del Medio Rural). Además, debe poner especial foco en la brecha existente entre el mundo rural y urbano.

Así, algunas de las iniciativas puestas en marcha como el Centro de Competencias para la formación digital agroalimentaria, la formación digital para el personal directivo y productores primarios, la formación y actividades demostrativas en el marco del Programa Nacional de Desarrollo Rural de la antigua PAC y que continuarán con la nueva reformulación de la PAC son algunas de las medidas que tratan de expandir las competencias digitales de los agentes del sistema agroalimentario. En este sentido, la puesta en marcha de una comunidad digital de agentes del sistema agroalimentario podría ayudar a incrementar la capacitación de los productores agropecuarios y de las empresas agrarias y la transferencia de los conocimientos adquiridos por estos.

Las diversas inversiones realizadas en mejorar las infraestructuras destinadas a ofrecer conectividad han provocado que España se posicione como la tercera potencia en conectividad de la Unión Europea, lo cual se analizará con mayor profundidad en el «Capítulo 4 de este diagnóstico» (Gráfico 3).

Gráfico 3.

Conectividad en España y la Unión Europea (2021). En porcentaje

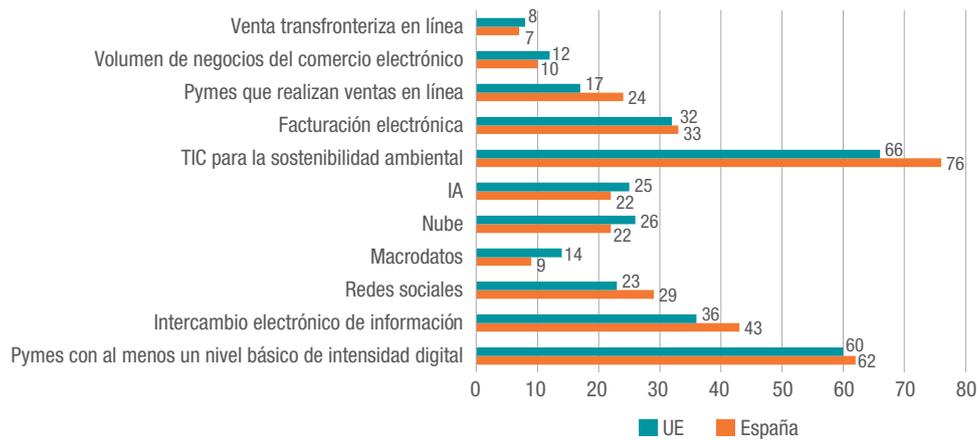


Fuente: Comisión Europea.

El territorio español quiere mantener la posición de liderazgo y vanguardia, según lo recogido en el Plan de la Conectividad y las Infraestructuras Digitales y la Estrategia de Impulso a la Tecnología 5G, proponiéndose como metas la accesibilidad universal a redes de conexión con una velocidad superior a 100 Mbps en 2025 con especial hincapié en las zonas rurales y la promoción de las redes 5G. Sin lugar a duda, son medidas que favorecen la digitalización del sistema agroalimentario. Tanto los productores agropecuarios como las empresas agroalimentarias demandan redes de conexión estables de alta velocidad que le permitan mejorar la eficiencia de las transmisiones de datos que permitan una mayor automatización de las tareas.

La integración de tecnologías por parte de las empresas españolas es ligeramente superior a la media. Sin embargo, España ocupa la decimosexta posición. Es necesario manifestar que las empresas españolas hacen uso de un menor número de tecnologías habilitadoras (macrodatos, tecnologías en la nube y sistemas de inteligencia artificial) (Gráfico 4), lo cual puede estar relacionado con la menor presencia de especialistas en TIC debido a la especificidad de conocimientos que requieren.

Gráfico 4.
Implantación de tecnologías en las empresas españolas (2021). En porcentaje



Fuente: Comisión Europea.

La colaboración de los sectores público y privado se postula como una de las iniciativas de interés para expandir el uso de este tipo de tecnologías. En este sentido, el Plan de Digitalización de Pymes 2021-2025 desea agrandar el poder de innovación y el emprendimiento en la transformación digital. Las medidas facilitadoras abordan de lleno el desarrollo de tecnologías basadas en la Inteligencia Artificial a través de la Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial que promueve el desarrollo, integración, capacitación y el desarrollo de un marco ético y normativo que vele por la inclusión y el bienestar social. En este sentido, en 2021, España hizo pública una convocatoria para financiar proyectos que desarrollasen Inteligencias Artificiales con destino a su sector económico y productivo, donde se encontraba el sistema agroalimentario.

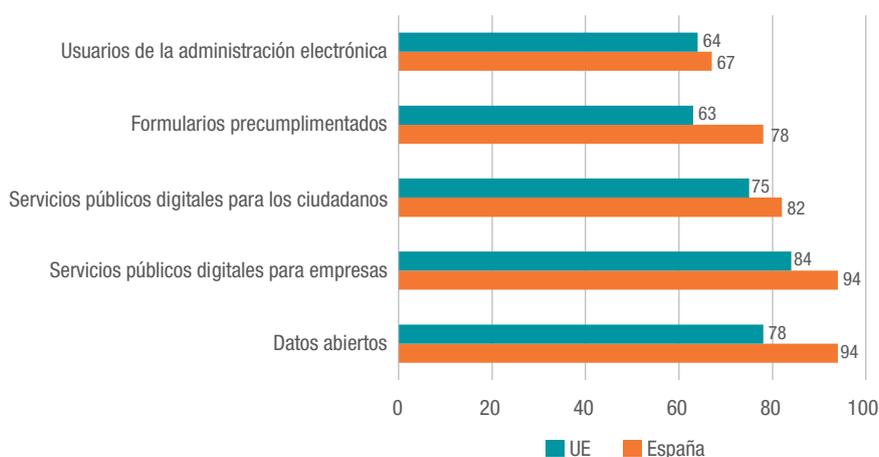
No obstante, a pesar del desarrollo de tecnologías, tiene una importancia capital la capacitación de los productores agropecuarios y empleados de la industria agroalimentaria para incrementar la oferta de personal formado que tenga los conocimientos necesarios para emplear los sistemas inteligentes.

Por su parte, se aprecia como las empresas españolas tienen una preocupación medioambiental mayor, incorporando más tecnologías TIC para la sostenibilidad ambiental. Este hecho se postula como un agente facilitador para aplicar las nuevas reformulaciones políticas medioambientales derivadas del Pacto Verde Europeo. Además, hacen un mayor uso de tecnologías para el intercambio de datos vía *online*, el comercio electrónico o el uso de redes sociales. De esta forma, las empresas españolas observan el interés de posicionarse en la red para explorar nuevos nichos de mercado. Además,

permite a las empresas del entorno rural emplear nuevos canales de venta con los que ampliar su cuota de mercado y fomentar así el desarrollo rural, pudiendo paliar con ello el despoblamiento de la «España vacía».

En el último análisis, España logró el séptimo puesto en servicios digitales, superando por más de 12 puntos porcentuales a la media europea, destacando en cada uno de los subindicadores (Gráfico 5). Sin embargo, despunta la gran proporción de servicios digitales ofertados por las Administraciones disponibles tanto para los ciudadanos como para las empresas.

Gráfico 5.
Servicios públicos digitales (2021). En porcentaje



Fuente: Comisión Europea.

Una de las prioridades de la estrategia España Digital 2025 es la digitalización de los servicios públicos. Se ha materializado en un Plan de Digitalización de las Administraciones Públicas. Su objetivo es que para 2025 al menos el 50 % de los servicios públicos digitales sean accesibles desde una *app* móvil, lo que requiere de un esfuerzo mayúsculo de modernización de la Administración General del Estado. Las medidas facilitan la tramitación de los servicios por parte de los ciudadanos, especialmente para aquellos que se encuentran en entornos rurales donde las Administraciones suelen encontrarse a largas distancias. No obstante, la avanzada edad de la población puede actuar como una barrera en cuanto a la digitalización de estos servicios. Por ello, deberían de mantenerse los canales tradicionales para facilitar el acceso a los trámites a esta población o acompañar de un video tutorial actualizado a todos los trámites.

Por su parte, España destaca en cuanto a la disponibilidad de datos abiertos, superando en 16 puntos porcentuales a la UE-27. Las Administraciones han seguido la hoja de ruta marcada por la Unión Europea y en 2020 el MINECO creó la Oficina del Dato para catalizar el intercambio y reutilización de datos por los ciudadanos y empresas. Además, estableció nodos y casos de uso en el territorio español en la infraestructura europea de servicios de *blockchain*.

Finalizada la introducción y para iniciar este diagnóstico sobre el estado de la digitalización en el sector agroalimentario se ha considerado oportuno empezar por analizar la relevancia económica, social y territorial que tiene el sector en España. A partir de este punto de partida, siendo conscientes de la dimensión actual y de las posibilidades de crecimiento del sector, iremos profundizando en todas aquellas variables que van a condicionar la integración de estas nuevas tecnologías en las empresas agroalimentarias.

2. Importancia económica del sector agroalimentario

Para conocer la relevancia del sector agroalimentario es necesario realizar un recorrido a lo largo de toda la cadena de valor, que incluye la producción primaria, la industria alimentaria y la comercialización y distribución de alimentos.

Con el transcurso del tiempo, y con gran variabilidad según los territorios, el sector primario ha ido perdiendo peso relativo con respecto a las fases posteriores de transformación y comercialización. Pero la agricultura sigue siendo la base sobre la que se construye el resto de la cadena. Y de la capacidad competitiva de este primer eslabón va a depender en gran medida la del conjunto del sector.

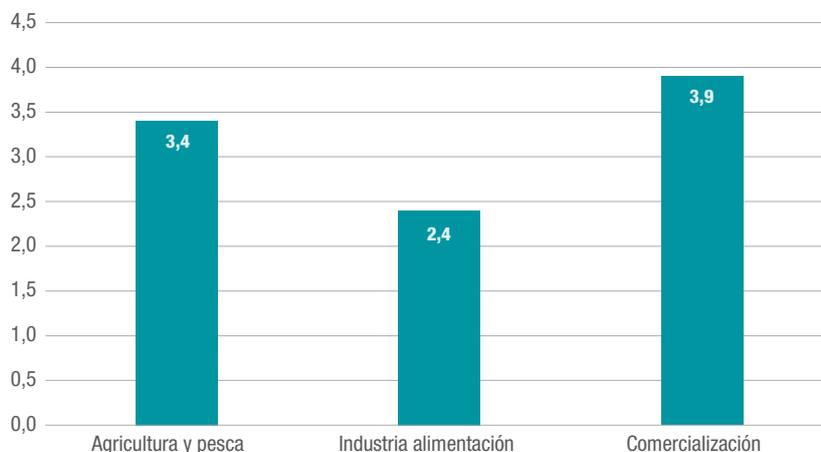
En España, el valor añadido bruto (VAB) generado por la agricultura y la pesca fue de 35.196 millones de euros en 2020. A ello hay que añadirles los 24.115 millones de euros generados por la industria de alimentación, bebidas y tabaco y los 40.043 euros de la comercialización. En el Gráfico 6 se puede observar el peso del sector agroalimentario en la economía española.

El conjunto del sector agroalimentario ampliado alcanzó en 2020 un VAB de 99.365 millones de euros, lo que viene a representar el 9,7 % de la economía española. Este protagonismo ha crecido de manera relevante desde la crisis económica de 2008, cuando se situaba en el 7,9 % (Gráfico 7).

Con esta relevancia de casi el 10 % de la actividad económica generada por el sector agroalimentario, España es uno de los países de la Unión Europea que presenta una mayor especialización. Para el conjunto de los 27 países de la UE, el sector agroalimentario ampliado representa el 6,5 % del VAB.

Gráfico 6.

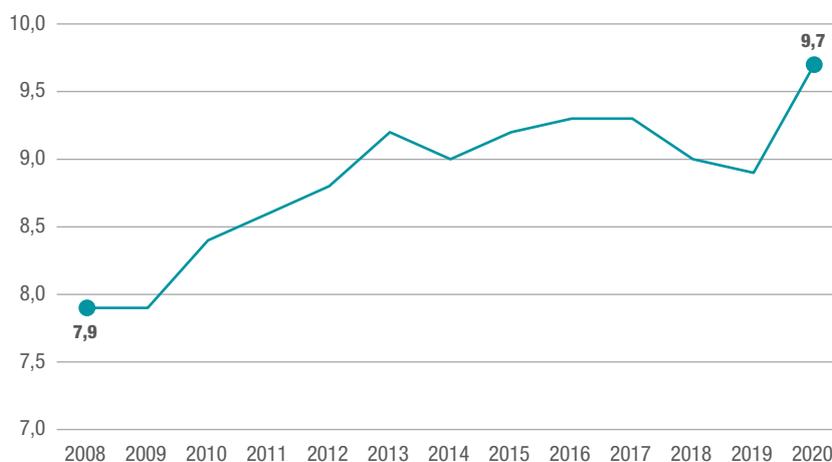
Peso del sector agroalimentario en el total de la economía española (2020). En porcentaje



Fuente: Eurostat. Elaboración propia.

Gráfico 7.

Evolución del peso del sector agroalimentario en la economía española (2020). En porcentaje

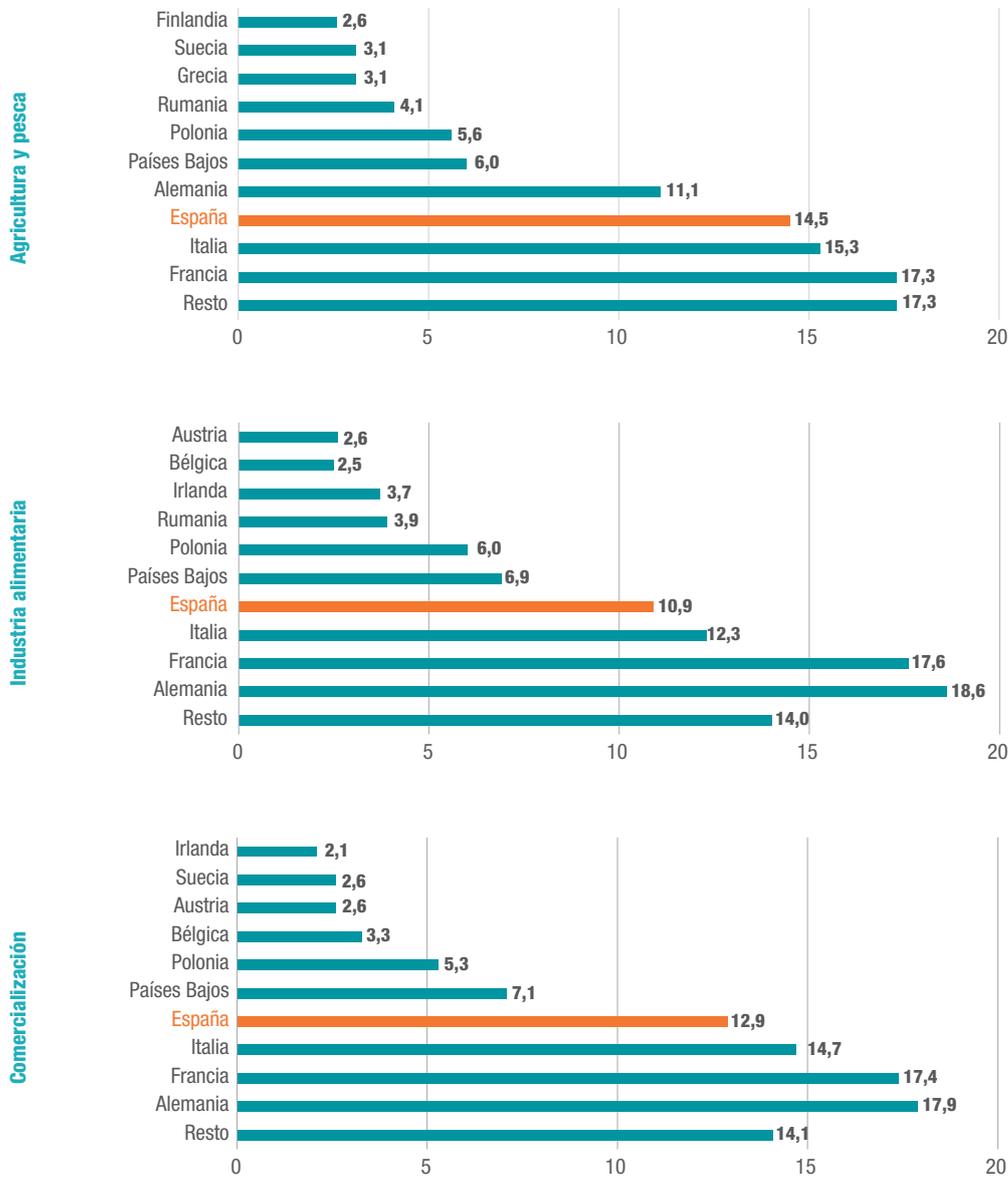


Fuente: Eurostat. Elaboración propia.

En la agricultura y pesca, el peso que tiene España en la UE llega al 14,5 %, siendo el tercero más importante tras Francia e Italia. Para la industria alimentaria descendemos hasta el cuarto puesto, por detrás de Alemania, Francia e Italia, representando el 10,9 %. En la misma posición nos quedamos cuando consideramos la comercialización de alimentos, aunque nuestra cuota de mercado se eleva al 12,9 % (Gráfico 8).

Gráfico 8.

Peso de los principales países de cada sector en el VAB de la UE-27 en el sistema agroalimentario (2019).
En porcentaje



Fuente: Eurostat. Elaboración propia.

3. Relevancia social del sector agroalimentario

Hay dos indicadores que nos muestran la relevancia social del sector agroalimentario en España.

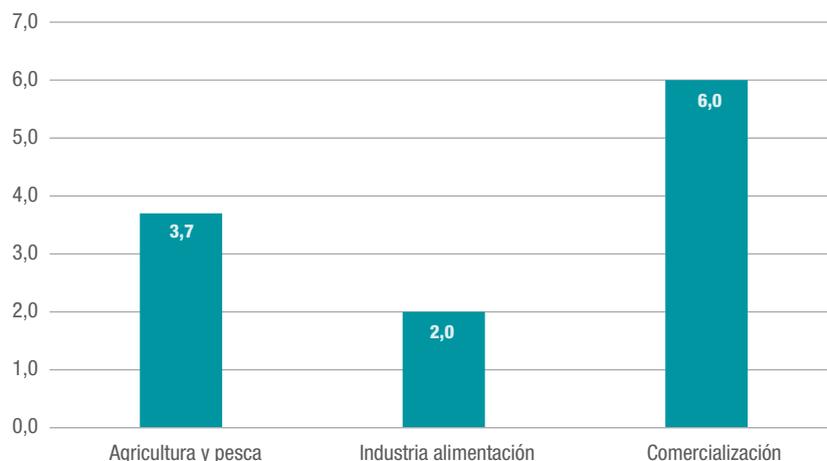
Por un lado, el número de explotaciones agrarias y empresas agroalimentarias, que en la última encuesta de estructuras de las explotaciones agrarias e informe anual de la industria alimentaria española se han situado en 945.024 explotaciones y 30.260 empresas alimentarias, respectivamente. Estos son claros indicadores del gran número de personas, familias y empresas que dependen del sistema agroalimentario y reciben una parte o todos sus ingresos de esta actividad.

Pero el indicador más importante es el que hace referencia al empleo generado. Considerando las tres fases de la cadena, en 2020 dio trabajo a 2.269.524 personas, lo que viene a representar el 11,7 % de todos los trabajadores ocupados en España para ese año.

La distribución entre las tres fases es bastante heterogénea, con un peso mucho mayor del comercio, seguido por la agricultura y la industria alimentaria (Gráfico 9).

Gráfico 9.

Participación de las fases de la cadena alimentaria en el empleo total de España (2020). En porcentaje



Fuente: INE. Elaboración propia.

La proporción de España en el empleo del sector agroalimentario de la UE-27 es inferior al que presentaba en términos económicos, al quedarse en el 10,5 %, siendo la sexta economía en cuanto a trabajadores ocupados. En este *ranking*, los países que aparecen en primer lugar están muy condicionados por el elevado peso que sigue jugando la actividad agraria en el este de Europa, especialmente en Polonia y Rumanía (Gráfico 10).

Gráfico 10.

Peso de los principales países en el empleo del sector agroalimentario ampliado de la UE-27 (2019). En porcentaje



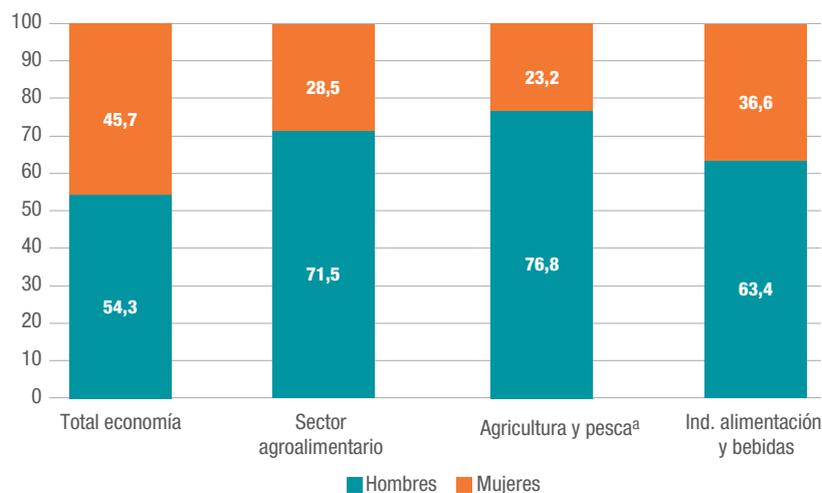
Fuente: Eurostat. Elaboración propia.

4. Características del empleo

Basándonos en la encuesta anual que realiza Eurostat sobre la *Labour Force Survey* podemos conocer las características personales e individuales de los trabajadores, detallando para cada sector de actividad la distribución por edad y sexo (Gráfico 11).

Gráfico 11.

Ocupados por sexo y rama de actividad en España (2019). En porcentaje



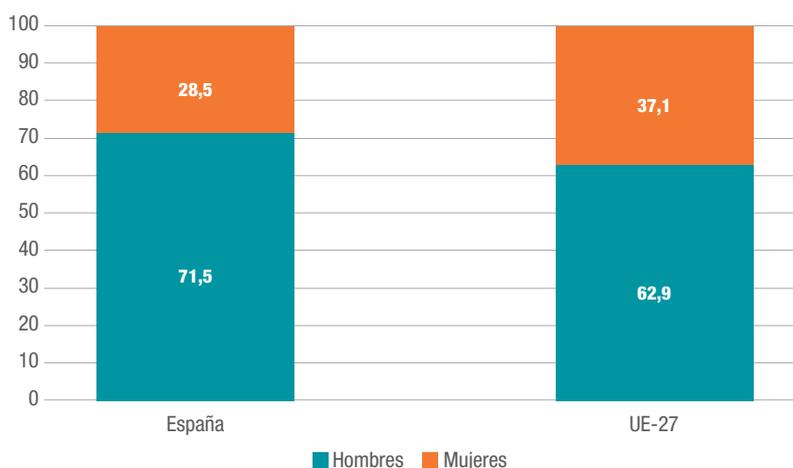
^a Grupo A de la CNAE09 que incluye agricultura, ganadería, silvicultura y pesca.

Fuente: Eurostat. Elaboración propia.

Si realizamos un primer análisis del empleo en el sector agroalimentario por sexo se comprueba que la proporción de hombres es muy superior a la de mujeres, 71,5 % frente a 28,5 %, con notable diferencia con respecto al conjunto de la economía española, que presenta un reparto 54,3 % vs. 45,7 %, e incluso en comparación con la media de los empleos agroalimentarios de la UE-27, que se distribuyen en un 62,9 % para hombres y 37,1 % para mujeres (Gráfico 12).

Gráfico 12.

Ocupados por sexo en el sector agroalimentario en España y UE-27 (2019). En porcentaje



Fuente: Eurostat. Elaboración propia.

El peso de los hombres es todavía más acusado si solo consideramos la agricultura y pesca, donde llegan a representar el 76,8 %.

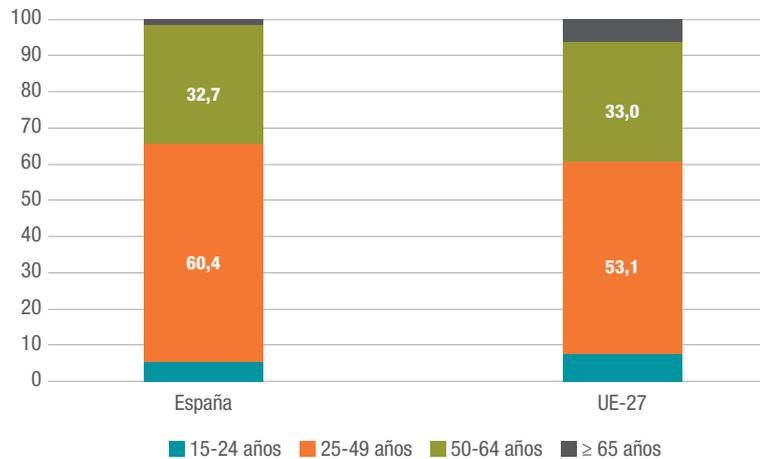
La otra variable que también queremos analizar es la distribución de los trabajadores por rango de edad.

Podemos comprobar en el Gráfico 13 cómo la proporción de trabajadores menores de 50 años es menor en España que para el conjunto de la UE-27, situación que se da tanto en la actividad agraria como en la industria alimentaria.

En el ámbito nacional el envejecimiento es mayor dentro de la agricultura que en la industria. Esta característica puede influir de manera negativa sobre la aplicación de cambios normativos y/o productivos. La población de mayor edad suele caracterizarse por ser inmovilista, rechazando los cambios propuestos por las nuevas dinámicas sociales (Galati *et al.*, 2020).

Gráfico 13.

Ocupados por grupos de edad en el sector agroalimentario en España y la UE-27 (2019). En porcentaje



Fuente: Eurostat. Elaboración propia.

5. Productividad

De la relación entre el valor de la producción generada por el sector agroalimentario ampliado y el número total de ocupados podemos calcular la productividad real, obteniendo como resultado un valor de 45.078 euros, lo que la sitúa por debajo del total de la economía española (53.948 euros). Se observan notables diferencias según las fases de la cadena alimentaria. La mayor productividad la obtiene la industria alimentaria con 64.781 euros, seguida de la agricultura y pesca (49.227 euros) y en último lugar está la comercialización de productos alimentarios (35.750 euros).

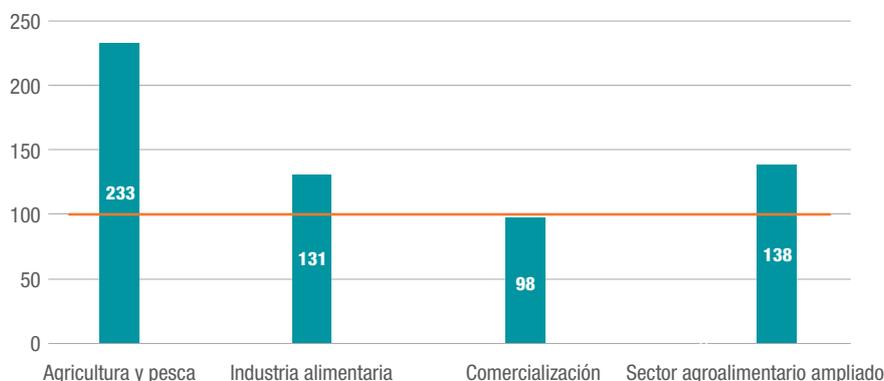
Si comparamos estas productividades con la media de la Unión Europea se observan diferencias significativas según el eslabón de la cadena que consideremos. La mejor posición relativa la conseguimos en la agricultura y pesca, donde la productividad española se sitúa en un 233 % con respecto a la media europea, y la peor situación la tenemos en el comercio, que estaríamos ligeramente por debajo de la media (Gráfico 14).

Estos resultados ponen de manifiesto el gran dinamismo de la actividad primaria en España y, a pesar de las grandes diferencias que existen según sectores, regiones y explotaciones, los empresarios agrarios españoles muestran una favorable predisposición hacia la modernización de sus estructuras productivas y hacia la incorporación de tecnologías que aumenten los rendimientos y el valor de la producción.

Estas conductas pueden ser un factor determinante y muy favorable para la rápida adopción de la digitalización en el sector agroalimentario español.

Gráfico 14.

Posición relativa de la productividad del sector agroalimentario español respecto a la UE-27 (2020) (UE-27=100). En porcentaje



Fuente: Eurostat. Elaboración propia.

6. Diversidad productiva

Otro de los elementos diferenciales que presenta el sector agroalimentario español frente al resto de países de la UE es la gran diversidad de producciones agrícolas y ganaderas, situándonos para muchas de ellas en posiciones de liderazgo europeo.

Aunque las características mediterráneas de nuestro clima nos hacen ser especialmente competitivos en productos como las frutas y hortalizas, el aceite y el vino, a lo largo de los últimos años se han ido intensificando otro tipo de producciones, especialmente las ganaderas.

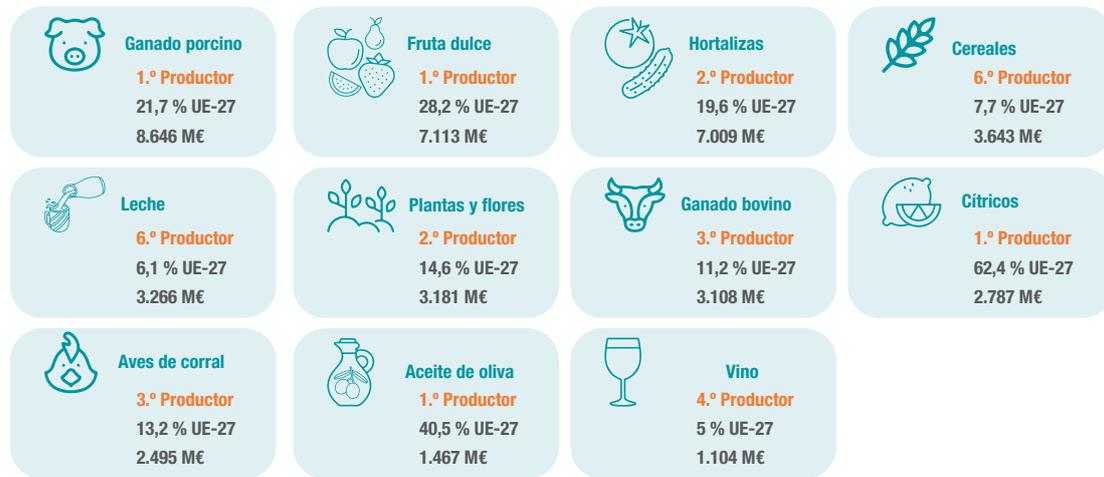
En la Figura 1 se recogen aquellos productos en los que España se sitúa como uno de los principales países europeos, indicando la posición en el *ranking* y el peso que representa.

En porcino, fruta dulce, cítricos y aceite de oliva somos el primer productor europeo en términos de valor, y quedaríamos en segunda posición en la producción de hortalizas y planta y flor.

También hay que reconocer que estos 6 productos representan más de la mitad del valor de la producción agraria española.

Por otro lado, es de destacar la progresión que ha tenido el sector del vacuno en los últimos años. Para la producción de carne ya nos hemos situado en el tercer puesto entre los principales países europeos, representando el 11,2 % del total. En leche seguimos en una posición más retrasada, debido fundamentalmente a la limitación que supuso para el sector el sistema de cuotas lácteas. No obstante, desde el año 2015 la progresión de la producción española está siendo mayor que la media europea, lo que nos está permitiendo ganar cuota de mercado.

Figura 1.
Posición y contribución de los principales productos agrarios españoles en la UE-27



Fuente: Eurostat. Elaboración propia.

En el caso del vino somos el país con una mayor superficie dedicada al cultivo de la vid, oscilando según el año entre el segundo o tercer mayor productor, sin embargo, caemos hasta la cuarta posición en términos de valor, ya que el precio medio que perciben los viticultores españoles es sensiblemente inferior al que obtienen los de otros países europeos.

7. Competitividad

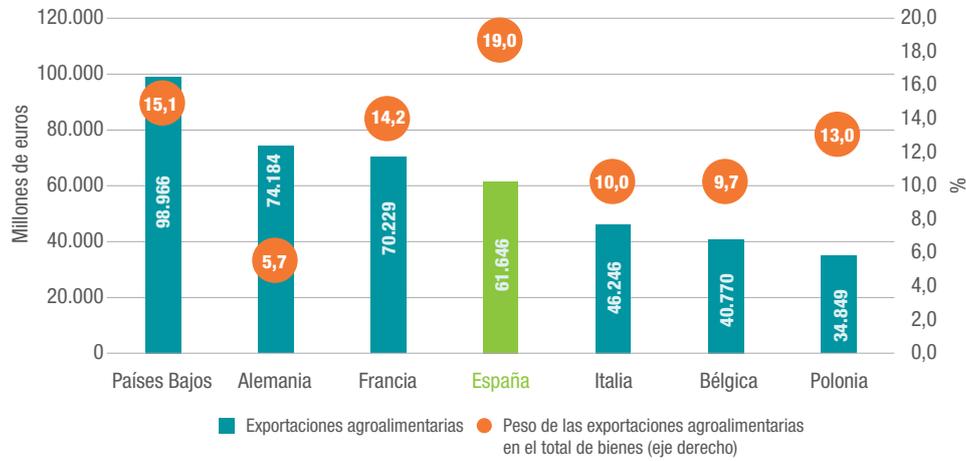
Como consecuencia de los aspectos considerados en los puntos anteriores: de la elevada productividad del sector agroalimentario español, y muy especialmente de la fase agraria, y de la gran diversidad de alimentos que generamos, las exportaciones españolas han tenido un comportamiento muy positivo, hasta situarnos como el cuarto mayor exportador de alimentos de la Unión Europea y el segundo con el mejor saldo comercial, tan solo por detrás de los Países Bajos (Gráfico 15).

En el año 2021, el valor de las exportaciones agroalimentarias españolas alcanzó los 61.646 millones de euros, representando casi el total de las ventas españolas al exterior de bienes, y el saldo comercial fue de 18.831 millones de euros (Gráfico 16). A esta labor exportadora han contribuido un total de 18.077 empresas.

A esta positiva evolución han contribuido de manera decisiva cinco grupos de productos, que representan más del 60 % de las exportaciones, y que están conformados por las frutas, la carne de porcino, las hortalizas, las bebidas y los aceites (Gráfico 17).

Gráfico 15.

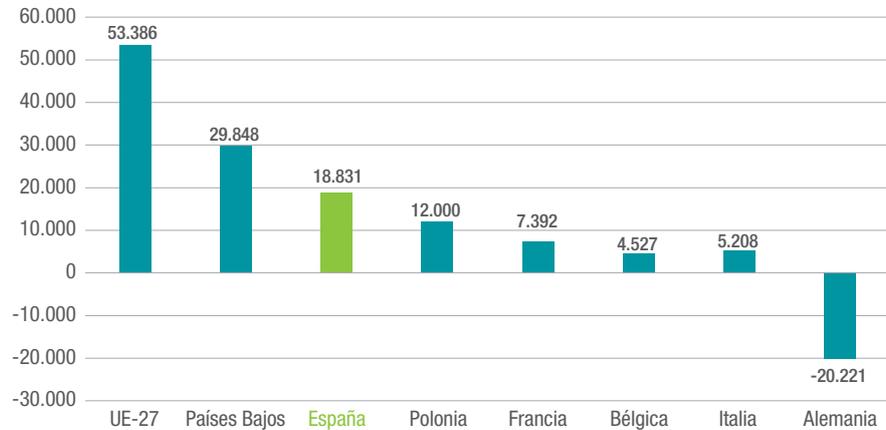
Exportaciones del sector agroalimentario (millones de euros) y el porcentaje que representan sobre el total de bienes de los países que presentan una mayor significación en la UE-27 (2021)



Fuente: DataComex. Elaboración propia.

Gráfico 16.

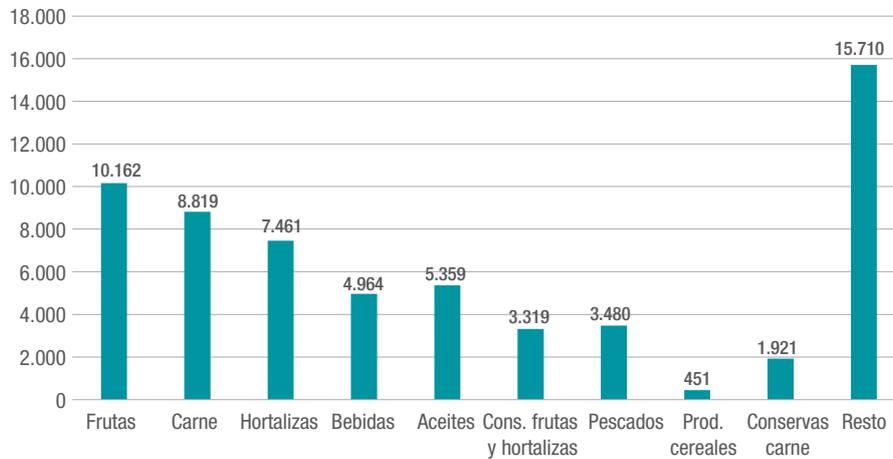
Saldo comercial en el sector agroalimentario de los países de mayor significación en la UE-27 (2021). En millones de euros



Fuente: DataComex. Elaboración propia.

Gráfico 17.

Principales componentes de las exportaciones agroalimentarias españolas (2021). En millones de euros



Fuente: Datacomex. Elaboración propia.

Esta relativa especialización de la exportación y de la producción agroalimentaria española en un limitado número de productos es un claro indicador de hacia dónde se dirigen los mayores esfuerzos del sector para la modernización de las explotaciones agrarias y de los procesos de transformación y comercialización. Además, dentro de los mismos tienen lugar los mayores niveles de integración y de colaboración entre los diferentes agentes de la cadena, lo que va a contribuir positivamente para que se aborden procesos de introducción de nuevas tecnologías para la digitalización y mejora de la eficiencia y sostenibilidad.

8. Equilibrio territorial

Otra característica del sector agroalimentario es su amplia distribución territorial, cubriendo todas las regiones y contribuyendo a generar actividad económica, empleo y conservación del entorno en muchas zonas que durante las últimas décadas se han visto sometidas a serios procesos de despoblamiento.

Sin lugar a duda, si no fuese por la actividad generada por la agricultura y la industria alimentaria, los problemas de desertización de las zonas rurales españolas serían más graves.

Pero también debemos ser conscientes de que ese uso intensivo del territorio va a tener consecuencias muy directas sobre el medioambiente. La conformación del paisaje se ha ido construyendo a través de la acción humana y de la integración de acciones antrópicas en el desarrollo autónomo de la naturaleza. En la medida que estas actividades han sido complementarias entre sí se han creado paisajes multifuncionales de gran valor estético, con una mayor capacidad de resiliencia y generadores de riqueza. Para ello, es fundamental el respeto de la biodiversidad y el evitar que se produzcan fuentes de contaminación ambiental.

8.1. La distribución del uso de tierras

La superficie geográfica total de España es de 50,6 millones de hectáreas, de las cuales 16,9 millones están dedicadas a tierras de cultivo y 8,4 millones a pastos. La superficie forestal asciende a 20 millones de hectáreas, quedando 5,8 millones para otras superficies (Tabla 1). Es decir, más del 50 % de la superficie española está dedicada a la producción de alimentos. Un tercio serían tierras agrícolas y casi el 19 % se destinan a pastos para el ganado.

Tabla 1.
Distribución de la superficie en España según usos y su peso sobre el total de superficie. En hectáreas

	Tierras de cultivo	Pastos	Superficie forestal	Otras superficies
Castilla-La Mancha	3.686.340	532.698	3.041.439	685.455
Castilla y León	3.550.749	1.966.376	3.000.890	904.191
Andalucía	3.528.544	1.459.657	2.645.520	1.126.136
Aragón	1.789.153	310.870	2.096.253	575.932
Extremadura	1.052.867	2.007.417	826.129	277.130
Cataluña	819.181	219.714	1.815.206	356.860
Comunitat Valenciana	635.125	110.482	1.102.757	477.977
Región de Murcia	468.151	12.085	415.049	236.330
Galicia	358.247	478.109	1.798.964	322.431
Com. Foral de Navarra	324.815	99.389	529.711	85.162
Comunidad de Madrid	208.750	126.526	269.361	198.112
Islas Baleares	160.659	30.591	196.874	111.046
La Rioja	158.760	61.366	233.095	51.338
País Vasco	85.399	136.498	424.238	77.194
Canarias	43.807	158.945	282.819	258.939
Principado de Asturias	25.177	433.811	535.226	66.354
Cantabria	6.617	261.838	216.838	47.725
España	16.902.421	9.446.884	19.430.369	4.340.498
Porcentaje sobre el total	33,4	18,7	38,4	8,6

Fuente: Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos (2021). Elaboración propia.

Cabe señalar que el incremento de las tierras forestales ha sido propiciado por la baja productividad de una parte de la superficie de secano, que alterna los años productivos con los de barbecho, con el objetivo de acumular reservas de agua para mejorar los rendimientos de los cultivos. Estas tierras de barbecho han pasado de 3,8 millones de hectáreas hace una década a los 3 millones de hectáreas en la actualidad.

Se observan diferencias significativas según regiones, ya que por las condiciones agroambientales unas tienen una mayor vocación agraria, otra ganadera y las que gozan de mayores precipitaciones y/o tienen un relieve más accidentado se dirigen más hacia la actividad forestal.

Así, aquellas comunidades autónomas que cuentan con más de un 35 % de su territorio dedicado a tierras de cultivo son Castilla-La Mancha, Andalucía, Aragón, Baleares, Castilla y León y la Región de Murcia; las que tienen mayor vocación ganadera son Cantabria, Extremadura y el Principado de Asturias. Y, por último, las que destinan más de la mitad a tierras forestales son Galicia, País Vasco, Cataluña, Navarra y Comunidad Valenciana.

8.2. La distribución territorial de la producción

Una de las características diferenciales que presenta la producción agroalimentaria frente a otras actividades económicas es su capilaridad territorial tanto en términos de distribución por comunidades autónomas como internamente dentro de ellas. Es, sin lugar a duda, el sostén de muchas zonas rurales que se verían más seriamente afectadas por el despoblamiento si no existiese esa base agraria sobre la que se construye todo un tejido productivo, que genera riqueza y empleo.

Pero la propia viabilidad de ese tejido productivo está condicionada por la disponibilidad de los recursos e infraestructuras que les permitan ser competitivos. Entendiendo por competitividad el acceder a las modernas tecnologías e insumos, el disponer de los canales de comercialización adecuados y el de contar con los mejores profesionales. Factores todos ellos críticos para ser muy eficiente en la producción, con la consiguiente reducción en los costes de producción, y muy dinámico en la incorporación de valor a los productos finales, con lo que se puede conseguir un mayor precio y una mejor rentabilidad y como se puede observar en la Tabla 2 se ha comparado la distribución autonómica de la población, de la superficie y el valor de las actividades agrarias y alimentarias.

Como se puede observar, el sector agroalimentario tiene un cierto efecto mitigador sobre el proceso de despoblación que sufren muchas regiones del territorio nacional. Concretamente, para tres de ellas, ya que el peso que tienen en la producción nacional de alimentos es notablemente superior a su peso demográfico. Este es el caso de Castilla y León, que supone el 5,1 % de la población y genera el 9,4 % de la producción de alimentos, Castilla-La Mancha (4,3 % y 9,7 %, respectivamente) y Aragón (2,8 % y 5 %). En sentido contrario, la participación de la Comunidad de Madrid en el total nacional es del 14,3 % en términos demográficos y solo del 3 % en el valor agroalimentario.

Otro aspecto para tener en cuenta ante esta gran ocupación del territorio que supone la agricultura y la ganadería es su efecto sobre el medioambiente. Una agricultura respetuosa, integrada y sostenible puede contribuir a generar paisajes de alto valor tanto desde el punto de vista visual como por el mantenimiento de una adecuada biodiversidad.

En sentido contrario, un mal manejo podría provocar conflictos entre las diferentes funciones del territorio, con su progresivo empobrecimiento y la repercusión negativa a largo plazo tanto para la vida salvaje como para los rendimientos productivos agrarios.

Para alcanzar ese equilibrio es importante que la agricultura tenga en cuenta algunos criterios básicos como la generación de mosaicos de cultivos y su adecuada integración en los espacios naturales, evitando los monocultivos, y la optimización en el empleo de los insumos, especialmente de agua, fertilizantes y fitosanitarios, para evitar así un sobreuso que no beneficia a los cultivos, que puede provocar contaminaciones indeseadas y supone un coste innecesario para los agricultores.

Una vez más, las nuevas tecnologías vinculadas a la agricultura de precisión pueden contribuir de manera decisiva a alcanzar todos estos objetivos.

Tabla 2.

Superficie total, población y valor de la producción agroalimentaria por comunidad autónoma y España, el total en el conjunto nacional (2020)

	Superficie (ha)	Población (nº habitantes)	Valor de la producción (mill. €)	Peso de la superficie (%)	Peso de la población (%)	Peso de la producción (%)
Andalucía	8.759.857	8.483.741	13.735	17,3	17,9	23,2
Aragón	4.772.208	1.331.102	2.940	9,4	2,8	5,0
Principado de Asturias	1.060.568	1.015.423	687	2,1	2,1	1,2
Islas Baleares	499.170	1.215.018	331	1,0	2,6	0,6
Canarias	744.510	2.244.472	1.270	1,5	4,7	2,1
Cantabria	533.018	582.319	580	1,1	1,2	1,0
Castilla y León	9.422.206	2.391.419	5.556	18,6	5,1	9,4
Castilla-La Mancha	7.945.932	2.043.074	5.748	15,7	4,3	9,7
Cataluña	3.211.133	7.656.185	7.934	6,3	16,2	13,4
Comunitat Valenciana	2.326.341	5.036.797	4.531	4,6	10,6	7,7
Extremadura	4.163.543	1.059.278	2.415	8,2	2,2	4,1
Galicia	2.957.751	2.698.476	4.773	5,8	5,7	8,1
Madrid	802.749	6.756.291	1.773	1,6	14,3	3,0
Región de Murcia	1.131.615	1.509.229	2.842	2,2	3,2	4,8
Com. Foral de Navarra	1.039.077	657.189	1.484	2,1	1,4	2,5
País Vasco	723.329	2.189.329	1.416	1,4	4,6	2,4
La Rioja	504.559	316.129	1.187	1,0	0,7	2,0
España	50.597.566	47.353.706	59.212			

Fuente: INE y MAPA (2021). Elaboración propia.

En el siguiente apartado vamos a analizar la evolución que ha tenido el consumo de los principales insumos y su relación con la producción obtenida en términos físicos.

9. El agua como el factor más determinante de la producción agraria

Los insumos que tienen una relación más directa con la producción agrícola son el agua, los fertilizantes y los fitosanitarios, y para la producción ganadera los piensos, así como la energía.

Todos estos factores de producción van a tener una incidencia muy directa sobre los rendimientos, pero, contrariamente al pensamiento mayoritario de una parte de los agentes, la relación no es lineal. Es decir, a partir de un determinado nivel de incorporación de insumos la producción puede no verse afectada o, incluso, la relación puede llegar a ser inversa. Por ejemplo, un exceso de agua puede provocar asfixia radicular, generando enfermedades en los cultivos.

Por otro lado, también es posible que el incremento marginal de la productividad no compense económicamente el coste en el que se ha tenido que incurrir.

Y, por último, hay que tener en cuenta que todos los insumos que no son aprovechados por los cultivos o por el ganado terminan vertiéndose a la naturaleza, con la posible contaminación que ello provoca, aspecto este que hay que evitar.

Para poder realizar un análisis más detallado sería interesante vincular el consumo de cada factor de producción con el cultivo y el territorio donde se lleva a cabo, pero, dado que la disponibilidad de datos no nos permite hacerlo, nos limitaremos a estudiar la evolución nacional de la información disponible.

9.1. La agricultura de regadío. La importancia del agua

La agricultura española tiene una gran dependencia del regadío. De los 16,9 millones de hectáreas dedicadas a cultivos, unos 3,8 millones son tierras de regadío, mientras que los 13 millones restantes son de secano. Es decir, el 22,6 % de la superficie agrícola española depende su producción de la disponibilidad de agua en cantidad y con la calidad suficiente.

Lógicamente, los rendimientos que se obtienen en esta superficie son de vital importancia para la agricultura española.

Según los datos del Anuario del MAPA (2020) para el año 2019, se produjeron un total de 99,5 millones de toneladas de productos agrícolas, de los cuales 41,7 millones de toneladas se obtuvieron en tierras de secano frente a los 57,8 millones de toneladas de las de regadío (Tabla 3).

Pero, además de las diferencias productivas, los alimentos obtenidos en las de regadío alcanzaron un valor de mercado de 22.631 millones de euros contra los 7.311 millones de euros en secano. Es decir, el regadío genera el 76 % de la producción vegetal.

También hay que valorar que una parte importante del comercio exterior de alimentos está basado en productos procedentes del regadío. Y que en torno a este tipo de agricultura se desarrolla todo un complejo de empresas auxiliares que hacen que la repercusión que tiene sobre la generación de empleo en zonas rurales sea muy importante.

Para poder garantizar estos niveles de producción y poder consolidar –y en la medida de lo posible incrementar– la agricultura de regadío en España es necesario realizar una óptima gestión del recurso tanto en cuencas como en la distribución a las explotaciones y dentro de las mismas.

Tabla 3.
Distribución de la producción agrícola y del valor de la producción vegetal en España (2019)

	Producción (t)			Valor (millones de euros)		
	Secano	Regadío	Total	Secano	Regadío	Total
Cereales	11.812.893	8.110.957	19.923.851	2.147	1.474	3.621
Industriales	759.275	3.235.272	3.994.547	163	692	855
Forrajeras	22.044.477	13.837.098	35.881.575	1.133	711	1.844
Hortalizas	129.153	15.193.102	15.322.255	86	10.100	10.186
Patata	268.996	1.990.382	2.259.379	90	665	755
Cítricos	0	6.241.671	6.241.671	0	2.093	2.093
Frutas frescas	213.967	2.779.719	2.993.686	263	3.420	3.683
Frutas tropicales	186	627.900	628.086	0	661	661
Otras frutas	291.063	239.387	530.450	1.270	1.045	2.315
Vino y mosto	2.714.023	3.031.551	5.745.574	578	646	1.224
Aceite de oliva	3.486.100	2.477.940	5.964.041	1.581	1.124	2.705
Producción agrícola total	41.720.134	57.764.979	99.485.114	7.311	22.631	29.942
Secano/regadío (%)	42	58	-	24	76	-

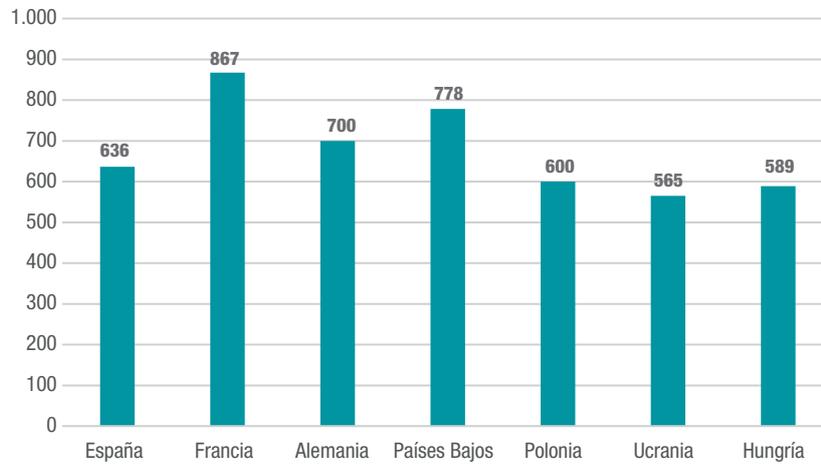
Fuente: Anuario de Estadística del MAPA (2020). Elaboración propia.

La pluviometría media española es similar a la que disfrutaban otros países de nuestro entorno, pero con la dificultad de que la distribución de las lluvias en nuestro país es muy heterogénea tanto temporalmente como territorialmente (Gráfica 18).

Como se observa en el Gráfico 18, las precipitaciones medias españolas se encuentran ligeramente por debajo de las de Alemania, Países Bajos y Francia, pero son superiores a países con agriculturas extensivas muy productivas como son Polonia, Ucrania y Hungría.

Gráfico 18.

Pluviometría registrada en España y otros Estados miembros de la UE. En mm/año



Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.

La principal dificultad que nos encontramos con respecto a estos países es que en España existen unas diferencias muy notables entre las regiones del norte y las del sur, pasando de los 1.323 mm del Cantábrico a los 370 mm del Segura (Figura 2).

Figura 2.

Distribución nacional de las precipitaciones en las principales cuencas hidrográficas españolas (promedio 1981/2010). En mm/año



Fuente: Anuario de Estadística MAPA (1981-2010). Elaboración propia.

Igualmente, la distribución temporal es muy irregular, concentrándose en solo 4 meses más de la mitad de las precipitaciones.

Además, las mayores necesidades de agua en los cultivos coinciden con las épocas de menor pluviometría, por lo que el regadío ha sido un factor crítico para asegurar una diversidad de cultivos y una elevada productividad de estos.

Estas necesidades se han podido cubrir con acuíferos subterráneos y con la construcción de una infraestructura de embalses y pantanos que permiten acumular el agua caída durante los periodos de lluvias para su posterior utilización, así como por otras fuentes de agua «no convencionales», fundamentalmente aguas regeneradas y desaladas.

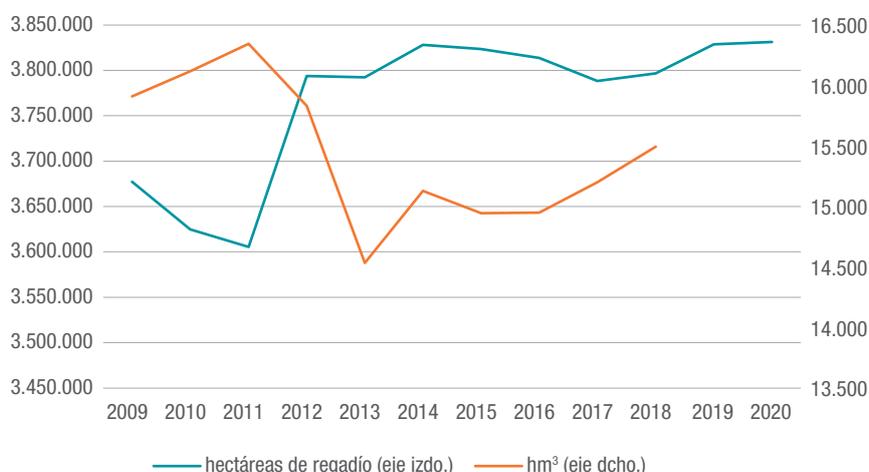
Actualmente, la capacidad de almacenamiento de agua que tiene España en esos embalses supera los 56.000 millones de metros cúbicos. Teniendo en cuenta que el consumo medio anual en el periodo 2010-2018 para todos los usos humanos, doméstico, industrial y agrícola del Instituto Nacional de Estadística; es de unos 19.878 millones de metros cúbicos, una adecuada gestión de los volúmenes embalsados debería de permitir el mantenimiento de todas estas actividades incluso en años de escasas lluvias.

El principal consumidor de agua es el sector agrario, hacia el que se destinan unos 15.500 millones de metros cúbicos, es decir, entre el 70-80 % del agua utilizada en España en el periodo 2009-2018.

Esta cantidad mantiene una cierta estabilidad, o incluso ha descendido ligeramente, durante los últimos años, a pesar de que la superficie total de regadío ha aumentado. Esto ha sido posible a la optimización del uso con una reducción de un 10 % del empleo que se realiza por hectárea, reduciéndose el consumo de agua en regadío comunicado por el Instituto Nacional de Estadística en el periodo 2010-2018 de los 4.446 hasta los 4.081 m³/ha (Gráfico 19).

Gráfico 19.

Evolución de la superficie dedicada al cultivo en regadío y del agua consumida



Fuente: INE y Anuario de Estadística del MAPA (2020). Elaboración propia.

Aunque las necesidades hídricas de los cultivos son muy diferentes en función de la localización, de la época del año en el que se desarrollan y de la intensidad de los sistemas, los valores medios esconden grandes diferencias, que pueden ir desde los 2.000 m³/ha para muchas plantaciones de olivar y viñedo hasta los más de 10.000 m³/ha para cultivos muy exigentes como el arroz o el maíz.

En cualquier caso, una mejora en los sistemas de almacenamiento, distribución y aplicación en parcela puede suponer ahorros significativos en las cantidades de agua consumidas, con lo que se garantizará la disponibilidad del recurso, incluso en años de bajas precipitaciones.

Cuantificando esa potencial mejora en la eficiencia de la gestión de los recursos hídricos en un 15 % estaríamos ahorrando unos 2.325 hm³, un volumen similar al empleado actualmente para el riego de 581.250 ha.

10. Otros insumos de la actividad agraria

Una vez analizada con cierta profundidad la importancia que tiene el agua como factor de producción en la agricultura española, en este apartado vamos a considerar los demás insumos como son los fertilizantes, los fitosanitarios, la energía y los piensos consumidos por la ganadería.

10.1. Evolución en el consumo de fertilizantes

Los tres elementos nutricionales principales empleados para la fertilización de los cultivos son el nitrógeno, el fósforo y el potasio. Por este motivo, los diferentes abonos comerciales consisten en una combinación variable de los mismos, junto a otros componentes de menor concentración.

Las estadísticas oficiales agrupan los distintos tipos de fertilizantes en tres grandes grupos en función del elemento principal que tenga más presencia. De ahí que se clasifiquen en nitrogenados, fosfatados y potásicos.

La superficie fertilizada en España se ha mantenido prácticamente constante durante los últimos años y se sitúa en torno a los 14 millones de hectáreas. Las producciones totales obtenidas presentan ciertas oscilaciones, debido fundamentalmente por las condiciones meteorológicas del año. Así, entre 2009 y 2019, el año con menor producción fue 2010, con 72,2 millones de toneladas de alimentos, y el más abundante fue 2018, cuando se superaron los 100 millones de toneladas.

Frente a la estabilidad en la superficie fertilizada y a la gran variabilidad de la producción, el consumo de fertilizantes muestra una clara tendencia ascendente, pasando de un consumo medio de 1,6 millones de toneladas a principios de 2010 hasta los 1,9 millones de toneladas a finales de ese mismo año.

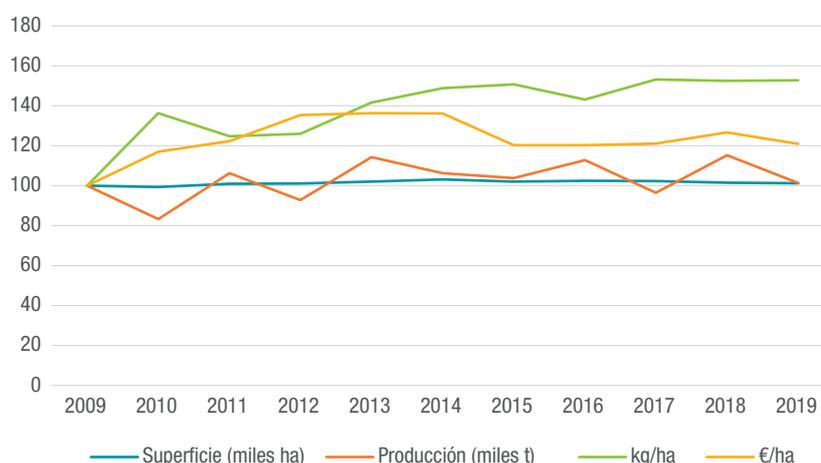
En el Gráfico 20 se muestra la evolución en valores índices (tomando como referencia 100 del año 2009) de la superficie, la producción y la cantidad y el coste de los fertilizantes empleados por hectárea.

Como se puede deducir, la superficie fertilizada mantiene una línea prácticamente plana, la producción total de alimentos no muestra relación con la cantidad de fertilizantes empleados y existe una mayor estabilidad en la evolución del coste de los fertilizantes por hectárea que en las cantidades. Ello nos puede hacer pensar que la decisión de los agricultores se basa más en el precio que en las necesidades reales de los cultivos, ya que cuando el precio de los fertilizantes baja, se incrementa el consumo y viceversa.

Decisiones basadas más en la demanda de los cultivos, unido a una adecuada distribución temporal, y según las características de los suelos podría incrementar notablemente los resultados productivos y, sobre todo, económicos.

Gráfico 20.

Evolución de superficie fertilizada, la producción de alimentos y el consumo de fertilizantes en cantidad y valor (2009=100). En porcentaje



* Entre paréntesis se indican las unidades de origen de los valores.

Fuente: Anuario de Estadística del MAPA (2010-2020). Elaboración propia.

En la Tabla 4 se han recogido los valores absolutos de la superficie fertilizada y las cantidades de cada uno de los tres grupos de tipos de fertilizantes a lo largo de los últimos 11 años.

Hay que recordar que el objetivo marcado por la Unión Europea en sus Estrategias de la Granja a la Mesa y de Biodiversidad es reducir el consumo de fertilizantes en un 20 % (Comisión Europea, 2020). Ello significaría que para el conjunto del país se tendrían que dejar de utilizar unas 374.000 toneladas de fertilizantes y para que esto no tuviese un impacto directo relevante sobre la cantidad de alimentos producidos, habría que realizar una gestión muy eficiente en su aplicación, siendo necesario complementarlo con enmiendas orgánicas procedentes de las explotaciones ganaderas. En este caso, haciendo un adecuado manejo en la gestión y aplicación de los estiércoles y purines para reducir al máximo el impacto negativo por contaminación por nitratos de los acuíferos y la emisión de amoníaco.

Tabla 4.
Superficie fertilizada (miles de hectáreas) y consumo de fertilizantes en España (toneladas)

	Superficie	Fertilizantes			Consumo total
		Nitrogenados	Fosfatados	Potásicos	
2009	13.679	781.069	264.211	166.016	1.211.296
2010	13.585	940.984	337.812	359.583	1.638.379
2011	13.799	846.697	362.672	314.642	1.524.011
2012	13.816	843.410	376.590	320.841	1.540.841
2013	13.956	961.507	432.904	354.738	1.749.149
2014	14.105	1.101.895	398.580	357.875	1.858.350
2015	13.949	1.068.103	411.763	380.303	1.860.169
2016	14.018	982.155	414.974	379.007	1.776.136
2017	13.984	1.072.125	436.110	387.885	1.896.120
2018	13.883	1.033.494	425.960	414.675	1.874.129
2019	13.839	1.010.579	479.562	381.566	1.871.707
2020	13.945	1.059.299	486.618	399.379	1.945.296

Fuente: Anuario de Estadística MAPA (2010-2020) y estadísticas medios de producción (2020). Elaboración propia.

10.2. Evolución en el consumo de fitosanitarios

Otro de los factores que más influyen sobre los rendimientos de los cultivos es la posible incidencia de plagas y enfermedades. Para reducir su impacto, los agricultores hacen uso de manera recurrente al empleo de fitosanitarios. De esta forma se consigue controlar el desarrollo de las poblaciones potencialmente peligrosas, asegurando la producción.

Dentro de este grupo también se incluyen los herbicidas, que evitan la competencia por los nutrientes, el agua y la radicación de los cultivos principales con otras plantas no deseadas.

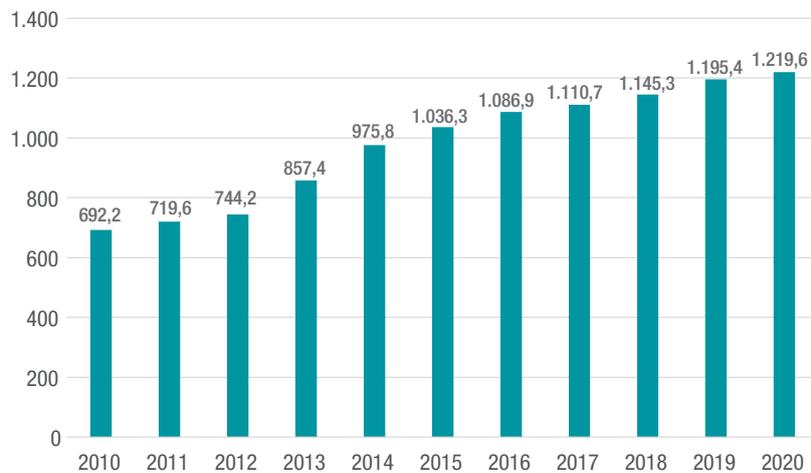
En muchos casos, ante la incertidumbre del momento de aparición de la plaga y de su agresividad, los agricultores realizan con frecuencia tratamientos preventivos.

A lo largo de los últimos años, el coste de estos tratamientos ha mostrado una clara tendencia creciente (Gráfico 21), pasando el coste medio por hectárea de los 50 euros del año 2009 hasta los 88 euros de 2019. Es decir, en solo 11 años este componente ha sufrido un incremento de más del 76 %.

Dentro de la misma estrategia de la UE, señalada anteriormente, de reducir el impacto ambiental de la agricultura europea se ha planteado otro objetivo para disminuir en un 50 % el uso de fitosanitarios y hacer un uso más racional de estos tanto desde un punto de vista medioambiental como económico.

Gráfico 21.

Evolución en el consumo de productos fitosanitarios en España (2010-2020). En millones de euros



Fuente: Anuario de Estadística (2010-2020). Elaboración propia.

Para conseguirlo, la digitalización se presenta como una herramienta básica. Por un lado, se pueden realizar modelos de presencia y evolución de las plagas para que los tratamientos solo se realicen cuando realmente supongan un riesgo para la producción. Por otro lado, los sistemas de aplicación de dichos tratamientos se están perfeccionando para que sean más eficaces y se apliquen solo en los puntos de la explotación donde sean necesarios.

10.3. El consumo de piensos para ganadería

En la misma medida que el agua, los fertilizantes y los fitosanitarios son los principales factores que influyen sobre la producción de los cultivos y además, suponen una parte muy relevante de los costes, para el sector ganadero los piensos tienen una incidencia fundamental sobre la rentabilidad de las explotaciones. En muchos casos este concepto supone más del 70 % de todos los gastos de los ganaderos (Tabla 5).

Aunque el consumo de piensos difiere significativamente según la especie considerada y el tipo de producción obtenida, simplificando el análisis comprobamos que, en los 11 años considerados, el aumento de la cantidad de carne producida ha sido del 34 %, la leche se ha incrementado en un 17 %, mientras que el gasto en piensos ha crecido en un 40 % (Gráfico 22).

Si sobre la evolución del gasto en piensos eliminamos el efecto inflacionista del precio, nos encontramos que el sector ha mejorado su eficiencia, ya que por unidad de carne o leche producida se ha necesitado un 5 % menos de cantidad de pienso.

Tabla 5.

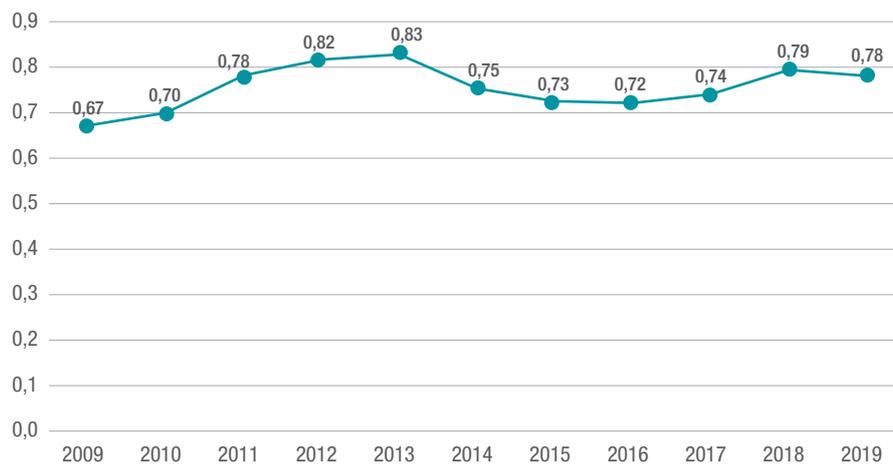
Evolución de la producción de carne y leche del sector ganadero y el coste global del pienso en España (2009-2020)

	Carne (miles de toneladas)	Leche (millones de litros)	Total (carne + leche)	Coste del pienso (millones de euros)
2009	5.406	7.074	12.480	8.944
2010	5.537	7.245	12.782	10.116
2011	5.664	7.270	12.934	10.588
2012	5.654	7.309	12.963	10.733
2013	5.557	7.404	12.961	10.133
2014	5.834	7.620	13.454	10.155
2015	6.129	7.865	13.994	10.471
2016	6.544	7.963	14.507	10.929
2017	6.666	8.087	14.753	12.096
2018	7.033	8.200	15.233	12.144
2019	7.235	8.307	15.542	12.535

Fuente: Anuario de Estadística MAPA (2010-2020).

Gráfico 22.

Evolución del coste de pienso consumido por kilogramo de carne y litro de leche producido en España (2009-2019). En euros



Fuente: Anuario de Estadística MAPA (2010-2020).

10.4. El gasto en energía

El último gran concepto de costes en la cuenta de explotaciones de agricultores y ganaderos es la que hace referencia a la energía. Por dos vías principales, los combustibles fósiles para la maquinaria agrícola y la electricidad para el resto de los equipos. En su conjunto, los diferentes tipos de energía vienen a representar para el agricultor un equivalente al 4 % del valor de su producción.

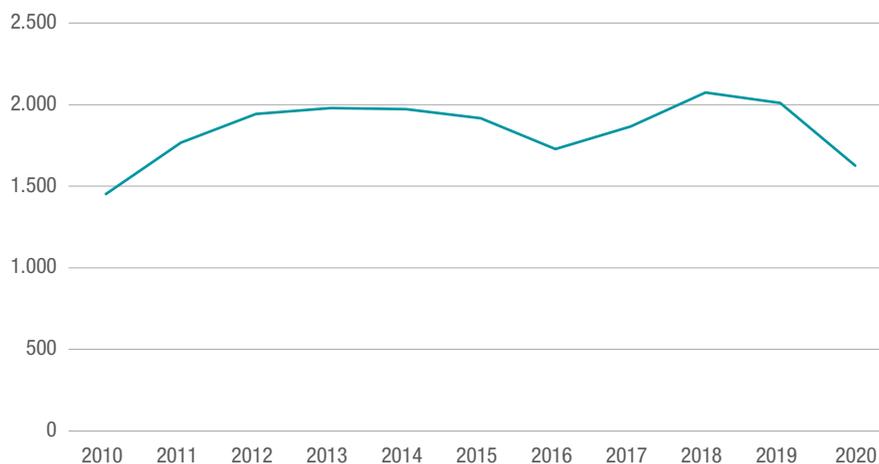
Aunque con ligeras opciones, según los años, y con una gran caída en el gasto durante 2020 por la bajada en el precio de la energía como consecuencia de la pandemia (Gráfico 23), los importes se han mantenido bastante estables a lo largo de la última década. Sin embargo, durante los meses que llevamos de 2021, el encarecimiento ha sido muy relevante y las perspectivas para los próximos años no son muy halagüeñas.

En estas circunstancias es importante que los agricultores y ganaderos actúen por dos vías para intentar mejorar el impacto que este concepto tiene en su cuenta de resultados. Y también para contribuir a limitar la repercusión negativa de la actividad agraria en el medioambiente.

Por otra parte, es necesario optimizar todos los procesos que usan energía para intentar reducir su consumo. La aplicación de las nuevas técnicas de inteligencia artificial y la gestión masiva de datos nos va a permitir controlar el paso de maquinaria por el campo para la realización de las distintas tareas, dimensionar mejor los motores utilizados y disminuir las pérdidas en las instalaciones.

Gráfico 23.

Evolución del gasto energético del sector agrario en España (2010-2020). En millones de euros corrientes



Fuente: Anuario de Estadística MAPA (2010-2020).

Por otro lado, hay que señalar que la gran base territorial de la actividad agraria la hace especialmente propensa para la implantación de las energías renovables y la adecuación de todos los procesos posibles al momento en el que se genera una mayor cantidad de electricidad. La energía fotovoltaica se aplica en todo el territorio nacional, la biomasa en aquellas explotaciones que la tenga a proximidad y la eólica o minihidráulica cuando exista una frecuencia suficiente de flujo de viento o agua para hacer rentable la inversión.

Esta apuesta por las energías renovables puede reducir el coste energético que soporta el sector agroalimentario y puede convertirse en una fuente complementaria de ingresos.

11. La inversión en I+D+i

La competitividad de cualquier sector económico está muy condicionada por la inversión pública y privada realizada en I+D+i. A escala global, el sector agroalimentario dedica una proporción importante de sus ingresos en generar nuevas tecnologías que le permitan ser más eficientes en la producción, llevar a cabo la mecanización y automatización de muchos procesos y el desarrollo de nuevos alimentos. Cabe diferenciar en estas innovaciones las que se realizan en el ámbito de la producción agraria, de la industria de transformación y en la logística, distribución y comercialización de los alimentos.

Cada fase de la cadena de valor presenta unas peculiaridades en cuanto a los agentes que desarrollan las innovaciones y el uso que hacen de las mismas.

En la fase primaria, las inversiones suelen ser realizadas por las organizaciones que desarrollan los insumos de producción como, por ejemplo, las empresas de biotecnología vegetal o animal, las industrias de agroquímicos, las de maquinaria, las de bioproductos, etc. El objetivo de sus inversiones es generar productos que se comercializan mundialmente después entre los productores agrarios.

Sin embargo, las inversiones también pueden proceder de fuentes públicas. Esta puede ser obtenida directamente por las empresas privadas o a través de un acuerdo con Centros de Investigación o Universidades. La Asociación Europea para la Innovación en materia de productividad y sostenibilidad agrícolas (AEI-AGRI) tiene por objetivo activar la innovación en el sector agrario a través de sus actores principales como son los Grupos Operativos. En este sentido, destaca las fuentes de financiación obtenidas desde la política de Desarrollo Rural de la antigua y nueva PAC (periodos 2014-2022 y 2023-2027) y las englobadas en el marco del programa Horizonte2020 y el actual Horizonte Europa. La importancia de la digitalización en las nuevas reformulaciones políticas hace que se destine parte de los fondos para esta temática y modernizar así el sistema agroalimentario.

Este tipo de innovación es fácil que llegue al sector agrario español, independientemente de quien la haya generado. Y podemos afirmar que los agricultores y ganaderos de nuestro país son muy permeables a la adquisición de estas tecnologías, lo que ha permitido el gran crecimiento de la producción agraria española y de que seamos uno de los países más competitivos a escala mundial.

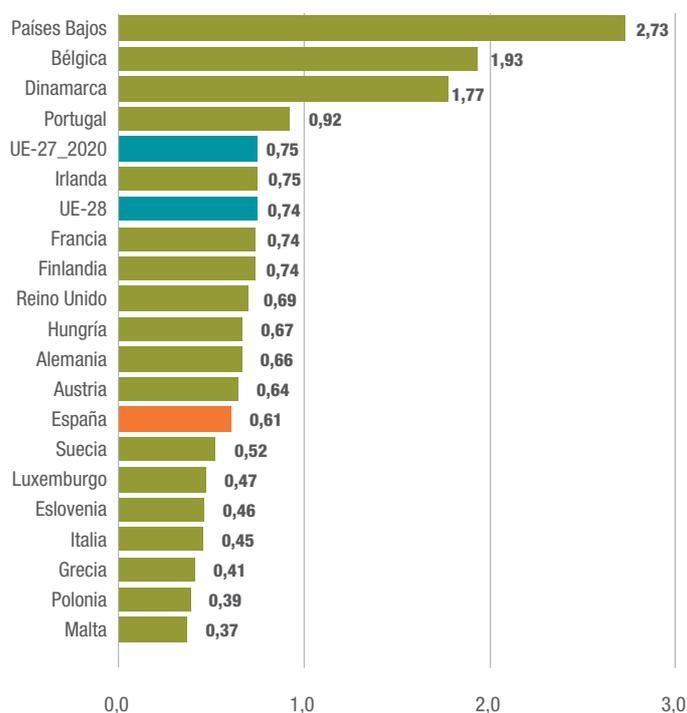
El gran esfuerzo realizado por muchos países por potenciar una industria auxiliar de la agricultura muy dinámica e innovadora los ha llevado a que la generación y comercialización de la tecnología puedan suponer un importe superior al obtenido por la propia actividad agraria. Este sería el caso de los Países Bajos e Israel.

Sin embargo, las innovaciones en la industria transformadora y la comercialización y distribución de alimentos suelen realizarlas cada empresa para su explotación directa y mejorar su posición competitiva. En este caso, el esfuerzo realizado por la industria española es sensiblemente inferior al que han llevado a cabo otros países. Este comportamiento se refleja en el valor generado por la industria alimentaria, donde España pierde peso sensiblemente con respecto a los principales países europeos.

A escala global y para 2018, último año en el que existe estadística oficial, el esfuerzo inversor en I+D+i realizado por el sector agroalimentario español fue de 354 millones de euros, equivalente al 0,61 % del VAB de dicho sector. Este porcentaje es sensiblemente inferior a la media de la UE, que se sitúa en el 0,75 %, y está muy por debajo de los países que más apuestan por la innovación como son Países Bajos (2,73 %), Bélgica (1,93 %) y Dinamarca (1,77 %).

Gráfico 19.

Esfuerzo empresarial por países en la inversión en I+D+i en el sector agroalimentario de la UE-27.
En porcentaje sobre el VAB



Fuente: Observatorio sobre el sector agroalimentario español (2021).



Antecedentes de la transformación digital del sector agroalimentario

1. Introducción

El objetivo de este apartado es poner en contexto el diagnóstico de la situación actual de la transformación digital en la industria agroalimentaria española. Para ello, se lleva a cabo un breve recorrido por la historia reciente de la adopción de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC)¹ y su impacto en el sector.

Un proceso cuyos antecedentes más directos pueden situarse en la década de los ochenta del siglo XX. Y que, si bien presenta un desarrollo gradual a lo largo de casi todo el período, con sucesivas etapas de mayor o menor escepticismo o apertura, se ha acelerado notablemente en los últimos años hasta alcanzar a día de hoy un ritmo de crecimiento exponencial.

La sociedad de la información se define por situar al conocimiento en el centro de la generación de valor, como un activo económico de primer orden. Surge a partir del desarrollo de tecnologías que permiten el procesamiento y análisis de un volumen cada vez mayor de datos susceptibles de ser aplicados a la gestión productiva y empresarial. Y permite la generación y el intercambio de esos contenidos en tiempo real a cada vez mayor velocidad con entre personas y organizaciones desde cualquier dispositivo electrónico.

En el caso de la actividad agroalimentaria, el manejo de la información ha sido siempre de vital importancia. Su materia prima es el material biológico, sobre el que operan simultáneamente multitud de variables difícilmente predecibles o mensurables sin ayuda de tecnología de computación.

Además, se desarrolla en toda clase de entornos, cada uno con sus propias ventajas y limitaciones ecológicas, sociales, empresariales y territoriales, que afectan directamente a las condiciones de posibilidad de la producción primaria.

Hoy en día, el sector se ha integrado de lleno en la sociedad de la información y el conocimiento, ofreciendo multitud de productos y servicios digitales ya consolidados y propuestas y prototipos

• • • • •

¹ Según Cabero (1998), las TIC se definen, en líneas generales, como las nuevas tecnologías de la información y comunicación que giran en torno a tres medios básicos: la informática, la microelectrónica y las telecomunicaciones; pero giran, no solo de forma aislada, sino, lo que es más significativo, de manera interactiva e interconexiónadas, lo que permite conseguir nuevas realidades comunicativas (página 198).

de manejo en el sistema agroalimentario en fase de desarrollo e implementación, al tiempo que explora nuevos modelos de negocio y emprendimiento de la mano de la 'agricultura/ganadería/industria inteligente'.

1.1. De producir cuanto más mejor a producir más con menos

La digitalización de la producción agropecuaria española se corresponde con la etapa más reciente de un proceso de modernización que comenzó a mediados del siglo XX, con el inicio del desarrollismo. En aquel momento, el objetivo fundamental era el incremento de la productividad del sector primario atrasado y descapitalizado que salió de la posguerra, a través de la expansión del regadío, el fomento del cooperativismo y la mecanización y adopción de nuevas técnicas de cultivo y cría de ganado.

Con el paso del tiempo, se fueron incorporando cada vez más capital y conocimiento al sector agroalimentario y se desarrollaron nuevas estructuras comerciales que hicieron posible la progresiva apertura a los mercados exteriores. De manera que, en el último cuarto del siglo XX, la oferta agroalimentaria española alcanzó elevados índices de competitividad que siguen consolidándose desde entonces, liderando la producción y el comercio mundial de una amplia gama de alimentos frescos y procesados.

Sin embargo, conforme se iba avanzando en este proceso de modernización y se añadían nuevos condicionantes al desempeño del sistema agroalimentario, el paradigma técnico-productivista fue dando paso a planteamientos más complejos, equiparables al de resto de economías desarrolladas de nuestro entorno.

Las restricciones al uso de agroquímicos, el consumo excesivo de agua y energía, la cuestión medioambiental, la preocupación por la salud o la exigencia de unos estándares mínimos de calidad y servicio por parte de clientes mayoristas y consumidores finales, orientaron las nuevas estrategias hacia el valor añadido, la producción integrada, la diferenciación, la rentabilidad y el ahorro de costes por la vía de la eficiencia y la racionalidad en el uso de los recursos disponibles y de los insumos agrarios.

La mecanización de labores y procesos, que había ocupado hasta entonces los mayores esfuerzos de gestores políticos, técnicos y productores, vino a ser complementada, y poco a poco hasta superada, por la paulatina incorporación de la electrónica, la informática y la robótica en el sistema agroalimentario².

Se hizo así posible la automatización de ciertos trabajos y el incremento de la capacidad de adquirir, procesar y gestionar información con la que fundamentar la toma de decisiones, tanto agronómicas como empresariales.

² Según Concepto (2021) y RAE (2021) se define: a) *electrónica* como una disciplina técnica y científica, considerada como una rama de la física y como una especialización de la ingeniería, que se dedica al estudio y la producción de sistemas físicos basados en la conducción y el control de un flujo de electrones o de partículas cargadas eléctricamente; b) *informática* como al conjunto de conocimientos científicos y técnicas que hacen posible el tratamiento automático de la información por medio de ordenadores; y c) *robótica* como una técnica que aplica la informática al diseño y al empleo de aparatos que, en sustitución de personas, realizan operaciones o trabajos, por lo general en instalaciones industriales.

1.2. La transformación digital de la economía

Podemos fechar el inicio de la digitalización de la economía global en los años finales del siglo XX, coincidiendo con los primeros pasos de internet. A partir de ahí, especialmente con el desarrollo de la web 2.0, los medios sociales y la generalización del uso de los dispositivos móviles conectados, la transformación digital es el resultado de la progresiva adaptación del mundo de la empresa a las nuevas reglas del mercado y a una nueva forma de relacionarse con sus clientes.

Buena parte de los demandantes de bienes y servicios son ahora también usuarios avanzados de las TIC y tienen acceso a un volumen de información hasta hace poco difícil de imaginar. Con lo que pueden comparar la oferta disponible, tomar decisiones y expresar opiniones en tiempo real, poniendo a prueba la capacidad de innovación, generación de valor y respuesta inmediata por parte de las empresas.

En apenas 20 años las nuevas tecnologías de la información y la comunicación han facilitado y acelerado la dinámica de difusión y adopción de innovaciones. Y, sobre todo, han cambiado nuestra forma de trabajar, de consumir y hasta de comunicarnos e intercambiar experiencias, como quedó de manifiesto durante la crisis sanitaria de 2020. En la que por otra parte el sector agroalimentario demostró su fortaleza y eficacia, asegurando en todo momento la disponibilidad de alimentos a pesar de las restricciones a la movilidad y las dificultades logísticas.

1.3. Dos transiciones simultáneas

En la actualidad, tanto el sector agroalimentario como el conjunto de la economía abordan dos procesos de transición simultáneas y que en cierta manera se solapan: la digital y la ecológica. Ambas se presentan como los dos grandes retos de la humanidad de cara a 2030 y comparten un mismo objetivo: garantizar el bienestar de las generaciones presentes y futuras a partir de un uso responsable de los recursos naturales a nuestro alcance, y aplicando para ello la tecnología y el conocimiento disponibles.

El sector agrario y la industria agroalimentaria conforman uno de los ejes fundamentales de ambas transiciones. Aunque su impacto medioambiental sigue siendo considerable y quede mucho margen de mejora en ese aspecto, el sector es por necesidad socialmente responsable, ya que su misión es la de producir alimentos en cantidad y calidad suficientes para una población global en continuo crecimiento. Y es precisamente en el ámbito de la 'agricultura/ganadería/industria inteligente' (entendida como con una mayor y mejor capacidad de gestión de los medios de producción) donde se están desarrollando algunas de las innovaciones más relevantes de la cuarta revolución industrial que acaba de dar comienzo.

La agroindustria 4.0 se basa en el uso intensivo de soluciones tecnológicas aplicadas como el *big data*, el internet de las cosas (IoT), la IA, la robótica, la computación en la nube, el *blockchain* y la interconectividad de dispositivos digitales. En definitiva, de todo aquello que ha venido en denominarse «habilitadores digitales», con el objetivo de aumentar el control sobre los procesos productivos, la eficiencia en el uso de los recursos y la rentabilidad final de la actividad.

De modo que sostenibilidad y digitalización van de la mano, más allá de los sucesivos adelantos tecnológicos, en tanto que de ellas dependen a medio y largo plazo el bienestar del conjunto de la población mundial y la cohesión territorial del medio rural, tanto en las economías avanzadas como en los países en desarrollo. Y lo que es más importante: todo ello supone, por encima de cualquier innovación, un cambio social y de mentalidad como nunca en la historia.

2. La informática llega al sistema agroalimentario

Desde fuera de los ámbitos especializados es frecuente identificar al sector agroalimentario con una actividad tradicional, atrasada, hasta cierto punto inmovilista y reacia a la incorporación de tecnologías. Pero el proceso de modernización del sector agroalimentario español al que antes se ha hecho referencia pone de manifiesto justo lo contrario.

Pocas actividades han demostrado ser tan proactivas y tan permeables a la adopción de innovaciones como la agroalimentaria, cuyo proceso productivo se nutre permanentemente de disciplinas científicas de vanguardia como la genética o la bioquímica y, más recientemente, la electrónica, la informática y la robótica.

No obstante, en el caso de las aplicaciones informáticas es cierto que en un primer momento convivieron una gran expectación con no pocas resistencias. Pero estas últimas respondieron, más que a cualquier tipo de prejuicio, a la incertidumbre que generaba entre los productores la falta de adecuación de los primeros equipos y soluciones de *software* a las necesidades específicas de un sector tan diverso, al elevado coste de la inversión inicial que requerían y a la escasa evidencia acumulada disponible sobre su impacto positivo en la rentabilidad final de las explotaciones, al menos a corto plazo.

La introducción de la informática en la producción agraria comenzó a mediados de los años 50 en EEUU y los países más desarrollados de Europa. Imitando el modelo de otras industrias como la agroalimentaria se adoptó para tratar de facilitar la gestión contable y el control de los flujos internos de la empresa. Así ocurrió, por ejemplo, en el caso de las centrales lecheras y las explotaciones ganaderas, pioneras en la utilización de grandes centros de procesos de datos (Gómez Torán, 1986). Y aunque pronto demostraron su capacidad para identificar ineficiencias y ahorrar costes, todavía estaban muy lejos de tener un papel protagonista en las labores de planificación.

En los años 60 aparecieron los primeros ordenadores de «tiempo compartido», que ampliaban la base de usuarios potenciales, y en los 70 las primeras calculadoras programables que, aun con limitaciones, facilitaban la gestión financiera y contable. No obstante, el verdadero primer gran hito fue la aparición de los primeros «microordenadores» primero, y del ordenador personal algo después, con los que a un coste relativamente asumible se ampliaba la capacidad de cálculo y archivo de datos, así como los primeros programas diseñados para resolver problemas específicos de las explotaciones agropecuarias y velar por la calidad y la seguridad de los productos alimentarios transformados en la industria agroalimentaria, además, de incrementar el potencial de automatización de los procesos industriales.

En una economía todavía en proceso de desarrollo como la española, estos primeros equipos fueron introducidos por grandes cooperativas, empresas comercializadoras y de servicios de la industria auxiliar. No obstante, la Administración, y más concretamente el MAPA, que ya para entonces contaba con un Servicio de Informática propio, desempeñó desde un primer momento un activo papel como agente difusor de las nuevas tecnologías de la información. Del mismo modo que Extensión Agraria puso en marcha las primeras iniciativas de divulgación, en el marco de la labor pedagógica de gestión contable y empresarial de las explotaciones agropecuarias de nuestro país.

2.1. Una oferta creciente

La implantación de la informática de gestión en el campo español se produce a caballo entre los 80 y los 90. En 1983 se estimaba que en EEUU una tercera parte de los agrónomos con estudios sobre mecanización ya utilizaban ordenadores en su trabajo diario. En España se tardó un decenio en alcanzar una cifra parecida, pero para mediados de los 90 se puede afirmar que la informática ya estaba muy presente en el campo, y que había llegado para quedarse (Gil Sierra, 1994). De igual forma ocurrió con la implementación de tecnologías en la industria alimentaria.

Según Gómez Torán (1986), a principios de los años 80 se podían encontrar en el mercado tres tipos de sistemas de información: programas predefinidos de tratamiento de datos (TPS); sistemas de información gerenciales (MIS) y sistemas de ayuda a la decisión (DSS), aunque este último de forma todavía minoritaria. Igualmente, empezaba a hacerse uso de aplicaciones para la optimización de raciones para la alimentación animal, de los primeros equipos de programación del riego, equipos para controlar la calidad de la producción y un incremento de la automatización de las actividades en la producción agropecuaria e industria agroalimentaria.

Por la misma época comenzaba a hablarse de los sistemas expertos para la ayuda en la toma de decisiones analíticas a partir de recomendaciones de manejo (antecedentes de los que hoy entendemos como inteligencia artificial y aprendizaje automático), pero planteaban la limitación de que todavía no se disponía de bases de datos lo suficientemente amplias de cada subsector como para que fueran realmente operativos (Domínguez Vivancos A., 1994).

Eran los primeros pasos de un proceso de introducción paulatina de la informática en la gestión agraria que se alargó durante más de una década. Conforme se ampliaba rápidamente la capacidad de procesamiento de los equipos y se abarataba su coste, por efecto de la conocida Ley de Moore, quedaba como asignatura pendiente el desarrollo de un *software* especializado capaz de aportar verdadero valor a la empresa agroalimentaria, más allá de las cuestiones administrativas comunes al resto de organizaciones.

Comenzaba también a plantearse la necesidad de seguir avanzado en la introducción automática de datos, y sobre todo en la confección de los primeros repositorios de datos sobre mercados y precios, condiciones climáticas y ambientales, manejo de cultivos, necesidades de riego y fertilización, alimentación y sanidad animal y tratamientos fitosanitarios. Es decir, todo el conjunto de variables ambientales, agronómicas y empresariales que harían verdaderamente útil para el sector las nuevas tecnologías disponibles.

Y se echaba en falta por parte de las primeras empresas desarrolladoras del asesoramiento, la formación y la atención posventa que requerían agricultores y ganaderos, principales agentes del cambio en el sector. Con lo que se hacía complicado romper su desconfianza inicial ante lo que, a fin de cuentas, era una inversión relevante en un contexto de crisis de precios e incertidumbre ante el futuro.

2.2. La consolidación antes de la era de internet

En la década de los 90, en pleno proceso de integración de la agricultura española a la CEE, ya difícilmente se podía plantear la posibilidad de renunciar al uso de la informática en el mundo empresarial, incluidas las firmas agroalimentarias y las cooperativas y otras fórmulas asociativas, que prestaban servicio a los productores individuales y eran los principales clientes de las primeras empresas de servicios.

Los sistemas digitales para la gestión de la información se habían convertido ya en un elemento imprescindible para la organización de unas empresas cada vez más complejas. Además de atender los nuevos requisitos contables y fiscales impuestos por la Administración, era imprescindible llevar un control exhaustivo de precios, proveedores, clientes, y estocajes; que en el caso de las cooperativas agrarias incluía liquidaciones a los socios, anticipos, descuentos y adelanto de suministros (Saura, 1994). Al mismo tiempo, cada vez más agricultores y ganaderos individuales comenzaron a hacer uso de la informática como herramienta de gestión empresarial.

En 1991 el MAPA, en colaboración con la Fundación para el Desarrollo de la Función Social de las Comunicaciones (Fundesco), publicó el primer *Catálogo de software de interés en agricultura*, que recogía unas 450 aplicaciones disponibles en el mercado (Gil Sierra, 1994).

Un año después, en marzo de 1992, nació la Asociación Española de Software Agropecuario, conforme seguía creciendo la demanda de aplicaciones especializadas. Y en 1994 se celebraron en Madrid las I Jornadas sobre Utilización de la Informática en la Agricultura y el Mundo Rural, aunque la presencia de productores fue testimonial.

De hecho, aunque por entonces se crearon las primeras aulas de informática en la universidad española, la disciplina seguía fuera de los planes de estudio de Agronomía (Saura, 1994). Mientras tanto, el mercado informático, todavía en desarrollo, seguía siendo demasiado asimétrico y poco transparente para el sector, que demandaba soluciones más específicas y un mejor asesoramiento posventa.

3. Los inicios de la precisión en la producción de alimentos

El productor y empresario tradicional siempre ha realizado un manejo lo más preciso posible de su actividad, a partir de su experiencia previa y del conocimiento directo de su entorno más inmediato, y tratando de hacer un uso eficiente de la maquinaria y los recursos a su alcance para maximizar la productividad de su empresa (Bernat Juanós, 2000).

La agricultura de precisión, tal y como la conocemos hoy en día, surgió como resultado de la progresiva incorporación de las nuevas tecnologías a las explotaciones agrícolas, con el objetivo de evitar pérdidas innecesarias, ahorrar costes y mejorar la rentabilidad. De hecho, en una etapa inicial se conoció también como «agricultura de prescripción», «gestión agrícola específica del terreno» o «tecnologías de aplicación de dosis variable» (Valero Ubierna, 2001). De igual modo ocurrió con la ganadería de precisión y con la Industria 4.0. En esta última, el término Industria 4.0 se acuñó en la feria tecnológica de Hannover de 2013, expandiéndose hacia las diferentes ramas de la producción industria (Flórez, 2020). El término agroindustria 4.0 se refiere al nuevo gran salto tecnológico de la industria agroalimentaria.

A grandes rasgos, consiste en la utilización de sistema de teledetección (sensores ópticos y electrónicos), de geolocalización y guiado de vehículos vía satélite (GPS y DGPS), de información geográfica (SIG) en espacios delimitados, líneas robotizadas de producción o sistemas automáticos de control de la producción (ERP, CRM y MES), con los que se pretende monitorizar en el estado del terreno, los cultivos y la transformación de los productos alimentarios para poder ejecutar, a partir del análisis informático en tiempo real de los datos obtenidos, las labores y la aplicación óptima de los insumos (semillas, agua, fertilizantes, fitosanitarios, aditivos, productos de origen vegetal, animal o fúngico, etc.) necesarios en cada momento.

Este conjunto de técnicas comenzó a implementarse en las grandes extensiones de cereal de EEUU a principios de los años 90 del siglo XX, cuando se incorporan a las cosechadoras mecánicas sensores de rendimiento e instrumentos de geolocalización, que permitían generar «mapas de cultivo» como herramienta para la toma de decisiones (Bernat Juanós, 2000). De hecho, según Valero (2002), los primeros ensayos de relevancia al respecto se realizaron en 1991 en el Centro de Manejo Sitio-Específico de Cultivos de la Universidad de Purdue (Indiana), bajo la dirección del profesor Jess Lowenberg-DeBoer, uno de los pioneros en el trabajo de difusión y mejora continua de estas técnicas.

A España llegó a finales de esa misma década, tras un proceso previo de experimentación y adaptación, y enfocada a cultivos de alto rendimiento en explotaciones de mucho menor tamaño, como frutales, remolacha o uva para vinificación (Gil, 1998).

En la industria, la incorporación de sistemas informáticos llega de la mano de la tercera revolución industrial desde los años 70 del siglo XX con los ordenadores y controladores programables. Estos acontecimientos permitieron expandir la automatización de los procesos de producción de forma progresiva gracias a los avances realizados en las revoluciones anteriores con la introducción de nuevas formas de energía, la producción mecanizada y el desarrollo de la producción en líneas de ensambles. Este cambio estructural introdujo a la producción mediante robots programables sin necesidad de intervención humana.

No obstante, España sufrió un retraso en industrializar su producción e incorporar los desarrollos tecnológicos incorporados con la segunda Revolución Industrial que permitieron a los demás países europeos recuperar el desarrollo económico tras la Segunda Guerra Mundial a causa del hermetismo que padecía el país por su situación política. Los cambios estructurales llegaron unas décadas más tarde hasta que no se alcanzó el desarrollismo económico de la economía española en el periodo de 1955-1975. Sin embargo, el sector padecía de un carácter inmovilista y algunas deficiencias estructurales que relucieron con la crisis mundial del petróleo de 1973 y provocaron una nueva

introducción de tecnologías punteras en el momento para reconvertir a las industrias y asegurar la viabilidad de las mismas (Monllor, 2012).

Para algunos autores, la agricultura de precisión ya era un hecho en nuestro país a finales de los años 90, e incluso llegan a situar su aparición en nuestro campo en una fecha concreta: 1998, con el inicio de las primeras experiencias agronómicas de centros de investigación públicos en colaboración con agricultores particulares y firmas comerciales de maquinaria en diversas zonas de Navarra, Andalucía y Castilla y León (Villa, 2000), que dieron paso a los ensayos en ganadería. En la industria, la expansión de la informática y robotización comenzó durante la década de los 70 del siglo XX. En 1973 se instaló el primer robot industrial en España de mano de Inser Robótica (Castaño, 2022). Aunque la robotización de la industria española se retrasó con respecto a los países europeos. En 1984 existían 516 robots en España, una cifra similar a la alcanzada por Italia en 1982, por Francia en 1980 y por Suecia en 1979 (Flores *et al.*, 1986).

Tabla 1.
Nivel de adopción de diferentes tecnologías relacionadas con la agricultura de precisión en EEUU en el año 2000. En porcentaje

	Maíz	Soja	Trigo
Monitores de cosecha	30	25	10
Mapas de cosecha	11	8	2
Mapas de suelos	22	17	11
Fertilización variable	11	6	3
Fitosanitarios variable	3	1	<1

Fuente: (Fernández-Quintanillas, 2003), a partir del *USDA Agricultural Outlook* (2002).

Ya desde las primeras experiencias se plantearon ciertos problemas para su generalización. Por un lado, el elevado coste relativo de la inversión inicial. Y por el otro, el peligro de una aplicación incorrecta de las nuevas tecnologías por falta de capacitación o asesoramiento (Mesa Celada, 1997).

En resumen, este conjunto de técnicas permite una manera de «efectuar la intervención correcta, en el momento adecuado y en el lugar preciso», pudiendo modificar los parámetros en cualquier momento y de forma automática. De este modo, los productores agropecuarios y empresarios cuentan con la ayuda de unos «ojos suplementarios» (satélites, captadores, sensores); una «memoria suplementaria» (la capacidad de procesamiento informático) para el tratamiento de datos y la toma de decisiones, y unos «brazos suplementarios», al automatizar los procesos mecánicos y repetitivos en función de las condiciones concretas de cada parcela (Gil, 1998).

Tabla 2.

Avances y tecnologías para una agricultura/ganadería/industria más precisa a finales del siglo XX

		Principales avances		Líneas de investigación
		Métodos de razonamiento	Evolución de las tecnologías	
Agricultura	Siembra	Elección de la densidad de siembra según el medio y las condiciones de siembra	Incremento de la precisión en sembradoras de cereales	Modulación de la dosis durante la siembra según el tipo (textura, profundidad...) y el estado del suelo (desmenuzamiento, humedad...)
	Fertilización	Ajuste de la dosis según objetivos de rendimiento	Calidad de trabajo de las abonadoras centrífugas	Modulación de la dosis intraparcelaria según las características del suelo y el estado del cultivo
	Protección de cultivos	Modulación de las dosis y de los volúmenes. Estimación de riesgos según modelos de predicción	Sistemas de reducción de deriva	Aplicación puntual de plaguicidas Variación en continuo de la regulación de los equipos
Ganadería	Ordeño mecanizado	Extracción mecanizada de leche en ganado bovino	Sistemas de ordeño móviles y salas de ordeño	Desarrollo de equipos adaptados a las condiciones de los animales para realizar un ordeño mecánico
	Salubridad de las instalaciones	Mejora del bienestar animal	Arrobaderas	Desarrollo de equipos mecánicos capaces de limpiar los establos
Industria	Automatización	Aumento del rendimiento productivo en las líneas de producción	Robots industriales	Desarrollo de equipos autónomos capaces de mejorar el rendimiento de los procesos de producción

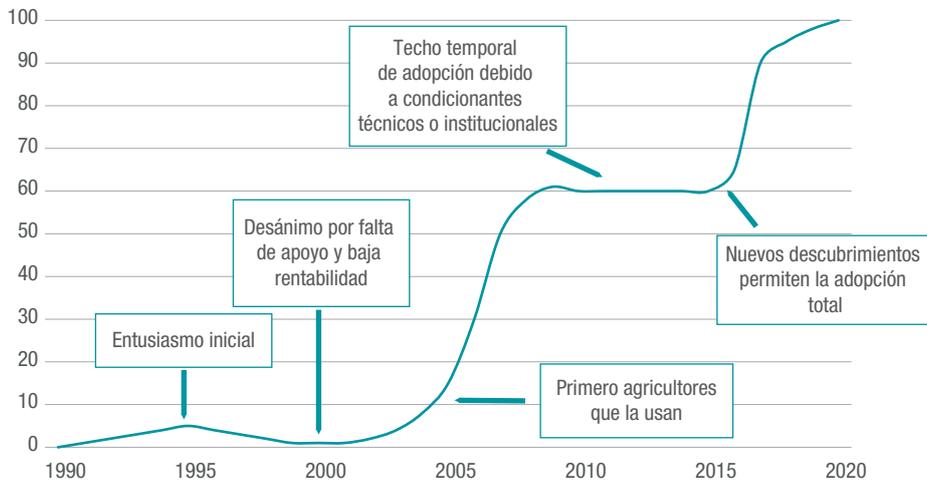
Fuente: tomado de Gil (1998), a partir de Boisgontier, D. y Debroize, D. (1996): «Agriculture de précision. 10 questions/réponses pour bien comprendre»; en *Perspectives Agricoles* (216); pp. 14-19, a partir de Flores, F.; Scheifler, M. A. y Zabalo, F. (1986): «La política industrial en España»; en *Economiaz* 3; pp. 135-155, a partir de González, J. M. P. (2004): «Los sistemas de limpieza en establos libres de ganado vacuno»; en *Ganadería*; pp. 14-17 y a partir de Valero-Ubierna, C. y Ortiz-Cañavate, J. (2000): «Evolución de las máquinas de ordeño»; en *Mundo Ganadero* 122; pp. 66-74. Elaboración propia.

Siguiendo de nuevo a Valero (2001), el profesor Lowenberg-DeBoer defendió en su momento que «la agricultura de precisión es uno de los cambios tecnológicos más importantes en la agricultura desde la introducción del tractor a principios del siglo XX. En aquella ocasión el uso del tractor pasó por etapas de euforia y retroceso, a la vez que se ajustaba la forma de producción a la nueva tecnología, y se modificaba el tractor para ajustarlo a las necesidades de producción. En el caso de la agricultura de precisión el proceso está siendo similar, y la tendencia será claramente a que se incorpore en las explotaciones agrícolas de forma más eficiente y económicamente rentable según se siga desarrollando».

En 2001, y según se recoge en el Gráfico 1, este mismo ingeniero y economista agrario norteamericano estaba convencido de que, tras pasar por diferentes etapas, la implantación de la agricultura de precisión sería «total» en los países desarrollados hacia 2020.

Gráfico 1.

Proyección de J. Lowenberg-DeBoer sobre el progreso en la adopción de la agricultura de precisión (2001)



Fuente: elaboración propia a partir de Valero (2004).

4. Más de 20 años combatiendo la brecha digital

Desde los inicios de la implantación de internet en España, a mediados de los años 90, las dificultades de conexión en el mundo rural se presentaron como el principal obstáculo para su plena integración en la sociedad de la información, y en consecuencia como un freno a cualquier política de desarrollo socioeconómico y de vertebración territorial. De hecho, en 2020, en plena pandemia, un 21,7 % de la población rural seguía sin acceso regular a internet³.

La Agenda de Lisboa, aprobada por el Consejo Europeo celebrado en marzo de 2000, se había marcado como objetivo de convertir a Europa en la sociedad basada en el conocimiento más competitiva de la economía global en el horizonte de 2010. Y aunque por entonces nadie podía prever el impacto de la crisis de 2008 en la evolución posterior de este tipo de políticas públicas, está en la base del espíritu de estrategias posteriores, como Horizonte 2020 y la actual Horizonte Europa.

Lo cierto es que, a principios del siglo XXI, unos 255.000 usuarios de la España rural seguían limitados al uso del denominado sistema TRAC (Telefonía Rural de Acceso Celular), implantado por Telefónica en los 90, que no era compatible con la conexión a internet (Martín, 2002). Ese mismo año, la Directiva 2002/22/CE, relativa al servicio universal y a los derechos de los usuarios, declaró esencial el derecho de acceso a la web, lo que obligaba a la operadora a sustituir la red analógica por nuevas tecnologías compatibles y con mayor obertura.

³ Eureka-Kantar (2021): *Cómo la España Vacía llena su tiempo en internet. El primer informe sobre el consumo de internet en la España rural.* Disponible en <https://recursos.bps.com.es/files/1030/61.pdf>

En 2002 el Gobierno fomentó la creación de Red.es, una entidad pública empresarial financiada con fondos europeos para impulsar la sociedad de la información en España y favorecer la colaboración entre las diferentes Administraciones y el sector privado. La entidad sigue operando en la actualidad, y entre otras muchas competencias gestiona el **Observatorio de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (ONTSI)**.

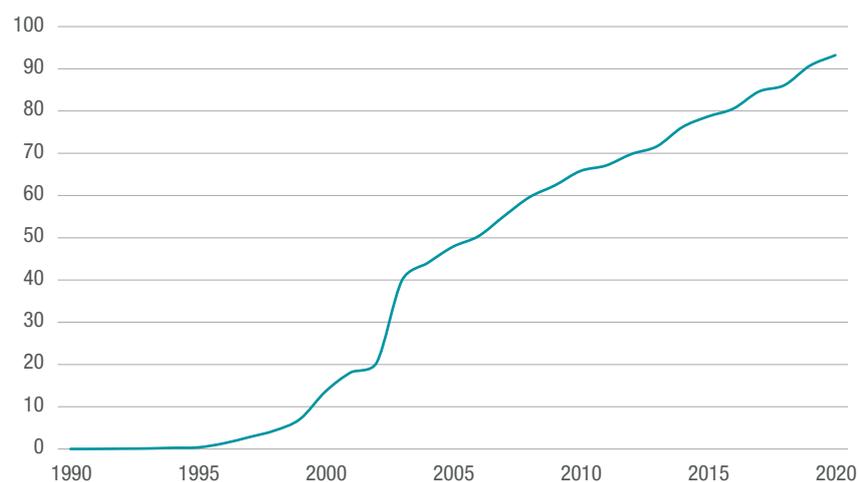
En febrero de 2003, la denominada ‘Declaración de Valencia’ concluyó que «la base para que el territorio rural pueda competir en pie de igualdad con las zonas urbanas, aprovechando las nuevas posibilidades que la sociedad de la información y el conocimiento ofrece, es que las infraestructuras de telecomunicaciones ofrezcan allí las mismas prestaciones en cuanto a capacidad de transmisión de la información y de transferencia de tecnologías y conocimiento» (Abellán Pérez, 2004).

Ese mismo año, muchas de las actuaciones que se estaban desarrollando desde Red.es se integraron en el «Programa de Actuaciones para el Desarrollo de la Sociedad de la Información en España», del que a su vez surgió el primer Programa de Internet Rural, vigente entre 2003 y 2009, impulsado a su vez por los objetivos del Plan de Acción eEurope 2002 (Red.es, 2005).

Según su memoria final, a lo largo del periodo se invirtieron más de 50 millones de euros en llevar el acceso a internet de alta velocidad, vía ADSL o cable, a más de 3,8 millones de habitantes de unos 1.500 municipios rurales de toda España⁴. Además, se llegaron a crear unos 3.000 «telecentros»⁵, aulas locales de informática donde muchas personas pudieron tener su primer contacto directo con las nuevas tecnologías.

Gráfico 2.

Porcentaje de usuarios de internet sobre el total de la población española (1990-2020)



Fuente: Banco Mundial.

• • • • •

⁴ Memoria 10 años de Red.es. Disponible en <https://www.red.es/es/area-prensa/multimedia/memoria-10-años-redes>

⁵ Internet Rural. Centros de Acceso a internet: http://www.telecentros.info/pdfs/ir_presentacion_del_programa.PDF

5. La primera información agraria en la red

Además de las imprescindibles infraestructuras de conexión, la plena integración del sector agrario y mundo rural en la sociedad de la información requería de la consolidación de espacios web con contenidos específicos dirigidos a atender sus necesidades y sus expectativas de desarrollo profesional y personal.

Con la generalización del uso del ordenador en el ámbito empresarial y doméstico, e incluso antes de la popularización de internet, comenzaron a desarrollarse diversas aplicaciones «telemáticas» para el acceso a la información especializada en el sector agroalimentario.

Entre ellas, destacaron en los primeros años 90 los servicios prestados por Efeagro, Inforural, Telenojas o Agritel, o el servicio de videotex del MAPA, desde las que se podía acceder a la evolución de las cotizaciones en los principales mercados mayoristas, previsión de cosechas, resúmenes de prensa, novedades normativas o alertas fitosanitarias (Gómez, 1994; y Tormos Gorriz, 1995).

A finales de la década, el Ministerio de Medio Ambiente puso en marcha un servicio gratuito de información meteorológica a través de internet (existió un precedente a través de la línea telefónica), que se apoyaba en la red de estaciones del Instituto Nacional de Meteorología y ofrecía imágenes diarias del Meteosat, y que llegó a contar con 1,4 millones de usuarios (Delgado, 2000).

En 2004, desde la propia web del MAPA, que por entonces ya recibía más de 765.000 visitas anuales, se podía acceder a un amplio catálogo de «e-contenidos», aplicaciones integradas con información relevante por sectores y herramientas para la tramitación de ayudas públicas, además de permitir la consulta de su Catálogo Editorial y de una de las primeras hemerotecas *online* de España (Domínguez, 2004; y Abellán Pérez, 2004 y 2005).

- **SIG Oleícola:** sistema de información geográfica para la gestión de las ayudas al olivar.
- **SIGA** (Servicio de Información Geográfico Agrario) con información cartográfica y alfanumérica relacionada con la Organización Común de Mercado de Cultivos Herbáceos y el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de España.
- **SIG-PAC:** sistema de información geográfica para la gestión Integral de las ayudas de la Política Agraria Común.
- **SIMOGAN:** Sistema Nacional de Identificación y Registro de los Movimientos de los Bovinos.
- **SIMOPORC:** Sistema nacional de Identificación y Registro de los Movimientos de los Porcinos.
- **SIAR:** Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SiAR), red de estaciones meteorológicas (518) ubicadas en zonas de regadío del territorio nacional, instaladas para la toma de datos agroclimáticos, cuya finalidad es obtener los parámetros meteorológicos necesarios para poder realizar un cálculo estimado sobre las demandas hídricas de los cultivos en regadío, con el objeto de conseguir un uso más eficiente del agua en el regadío.

Caracterización de los agentes del sistema agroalimentario

¿Se encuentran digitalizadas las explotaciones e industrias?

1. Introducción

La transformación digital, por su naturaleza holística y transversal, es un elemento de unión y pieza fundamental para alcanzar los objetivos de bioseguridad y sostenibilidad contemplados, entre otros, en la nueva PAC.

La incorporación de tecnologías debe ser un proceso simple, dinámico y masivo para que llegue a todos los profesionales. Y que todos se beneficien de las oportunidades que brinda.

En definitiva, democratizar el acceso y favorecer que la transformación digital sea patrimonio del conjunto del sector agroalimentario multiplican las posibilidades de mejorar la producción de alimentos y atender las demandas de la sociedad.

Para ello, conocer el escenario de partida de los profesionales que forman el sector agroalimentario nos permitirá identificar los puntos clave para favorecer el desarrollo de la digitalización a partir de sus protagonistas.

A continuación, se describen algunos factores que nos permiten evaluar la permeabilidad del sector al proceso de digitalización, distinguiendo por un lado a los titulares de las explotaciones (la comunidad de profesionales tomadores de decisiones), y por el otro a las propias estructuras (las explotaciones agroalimentarias).

Sin embargo, antes de iniciar el análisis es importante destacar la necesidad de actualizar las series de datos oficiales que definen la caracterización de los productores agropecuarios. Los últimos datos disponibles datan de 2016. La alta velocidad de cambio que experimenta la sociedad puede conllevar a una baja precisión de las variables. Por ello, una de las medidas propuestas por el Observatorio es actualizar las series de datos en colaboración de las Administraciones competentes, al menos, de aquellas variables que presentan una mayor relación con la digitalización.

2. Análisis de los titulares de las explotaciones

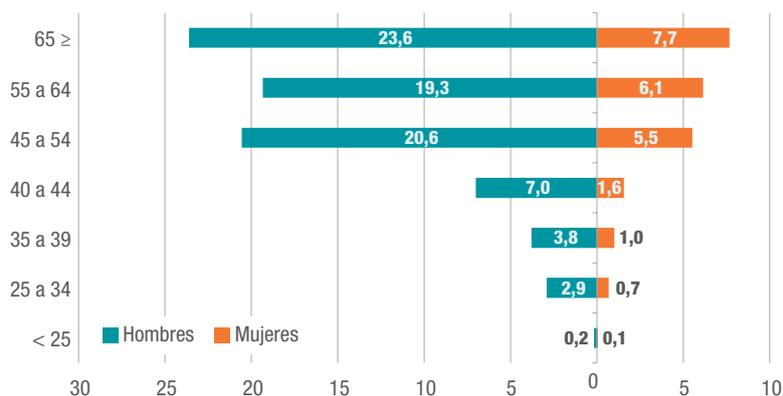
2.1. Titularidad de las explotaciones según grupo de edad y sexo

Evaluar el reloj biológico de la comunidad de titulares de las explotaciones agroalimentarias en España y seguir su evolución es fundamental para conocer su capacidad de reacción frente a la transformación digital. Habitualmente los responsables de las explotaciones son aquellos que toman decisiones diarias sobre la gestión productiva, financiera y organizacional.

A simple vista se puede observar una pirámide poblacional invertida, donde la mayoría (56,7 %) de los titulares de las explotaciones son mayores de 55 años. Y solo un 8,6 % tiene menos de 40 años (Gráfico 1).

Gráfico 1.

Distribución de los titulares de explotación según grupos de edad y sexo en España (2016). En porcentaje



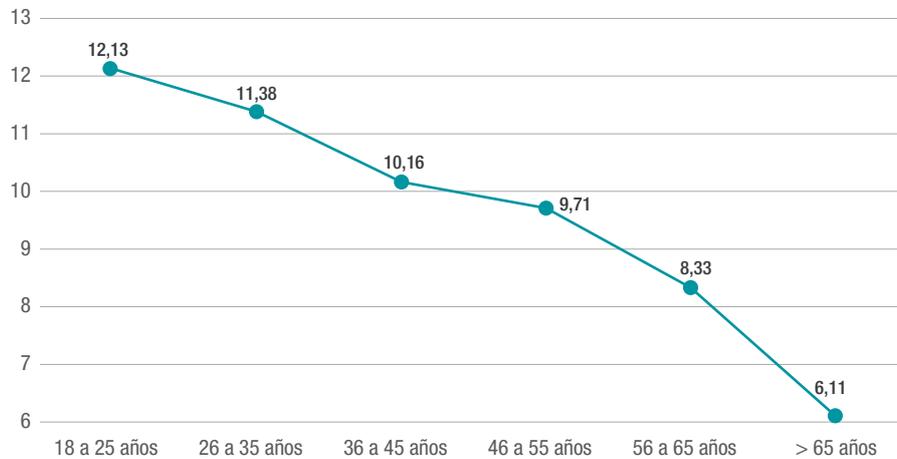
Fuente: Eurostat.

Respecto al género, el 77 % de los tomadores de decisión de las explotaciones agroalimentarias son hombres y un 23 % mujeres.

La edad es un factor clave en la digitalización tal y como señala ASAJA (2019). Los resultados arrojan una evidente realidad: los jóvenes entre 18 y 25 años duplican el índice de digitalización de las personas mayores de 65 años. Siguiendo esta tendencia, los jóvenes son los que testan un número mayor de tecnologías en sus explotaciones agropecuarias (Gráfico 2).

Asimismo, estos resultados describen un escenario desequilibrado respecto al género, que deberá tenerse en cuenta en el desarrollo del Observatorio para intentar corregir las desigualdades y hacer más atractiva la actividad agraria para las mujeres.

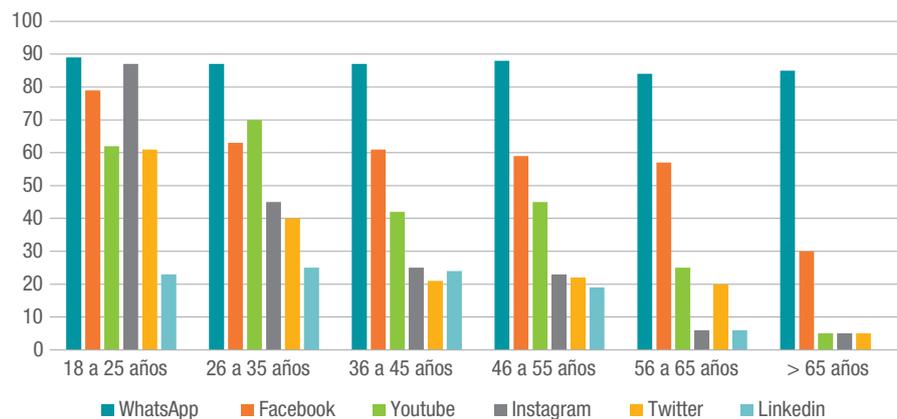
Gráfico 2.
Grado de digitalización por edad



Fuente: ASAJA (2019).

Las diferencias de edad tienen relevancia sobre la preferencia en el uso de redes sociales para comunicar, vender, publicitar, generar marca personal y/o empresarial. El estudio de ASAJA ahonda en la relevancia de los grupos de edad en el uso de las redes sociales y se aprecian diferencias significativas entre los canales de comunicación utilizados según las distintas generaciones. Siendo LinkedIn la red social más relevante para el grupo de edad entre 36 y 45 años, Instagram la red más importante para el grupo entre 18 y 25 años y, por último, YouTube la red más utilizada entre el grupo de edad de 45 a 55 años (Gráfico 3).

Gráfico 3.
Uso de redes sociales por grupos de edad. En porcentaje



Fuente: ASAJA (2019).

En consecuencia, la distribución representada en el gráfico 1 respecto a la edad evidencia una comunidad de titulares de explotaciones envejecida, y subraya el interés y la necesidad de fomentar una transformación digital adaptada a todas las edades.

2.2. Nivel de formación

La gestión diaria de una explotación y la toma de decisiones sobre la misma requiere el desarrollo constante de habilidades específicas, y contar con formación digital y específica del sector agroalimentario ofrece mayores oportunidades de éxito.

Por ello, de cara al proceso de transformación digital se refuerza la necesidad de acompañar este cambio con el asesoramiento específico para la adquisición de habilidades digitales.

Al analizar los perfiles de los titulares de explotaciones según su nivel de formación, se refleja como la mayoría solo tienen experiencia práctica (78 %). Mientras que solo el 2 % de ellos ha seguido una formación completa en agronomía y el 19,8 % tiene una formación agronómica básica (Tabla 1). La formación es la principal barrera interna que presentan los agentes del sistema agroalimentario para aplicar las nuevas tecnologías. En este sentido, el MAPA ha formulado una batería de medidas para mejorar la formación de los agentes. Estas medidas se abordarán en el «Capítulo 9 de este diagnóstico».

Tabla 1.

Análisis de los titulares de explotación en España según niveles de formación (2016). En porcentaje

Solo formación práctica	Formación básica	Formación completa
<i>Experiencia práctica en una explotación</i>	<i>Formación profesional media o superior en agronomía</i>	<i>Estudios universitarios en agronomía</i>
78,0	19,8	1,9

Fuente: Eurostat.

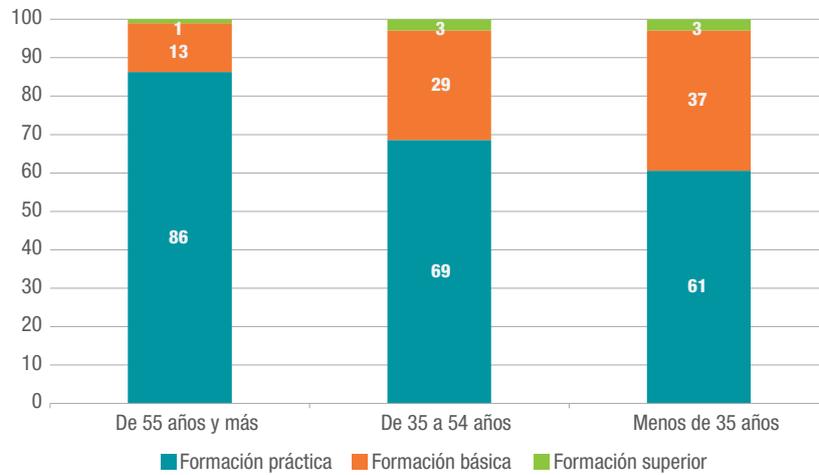
Al profundizar en el análisis distinguiendo por edades, los resultados sugieren que los titulares de explotaciones de mayor edad, de 55 años en adelante, son el grupo que han recibido menos formación específica en agronomía (Gráfico 4). Y, la mayoría (86,3 %) aprendieron su profesión a través de experiencia práctica solamente.

Al comparar estas cifras con los grupos de edad más jóvenes, la proporción de titulares con formación básica o completa aumenta en ambos grupos de edad, pero sigue siendo minoritaria.

Para los menores de 25 años se observa el mayor incremento en el nivel de formación básica (36,5 %). Sin embargo, el porcentaje de titulares con una formación completa sigue siendo reducido (2,9 %) y aún más de la mitad han aprendido su profesión a través únicamente de su práctica diaria (60,6 %).

Gráfico 4.

Distribución de los titulares de explotación según niveles de formación y grupos de edad (2016). En porcentaje



Fuente: Eurostat.

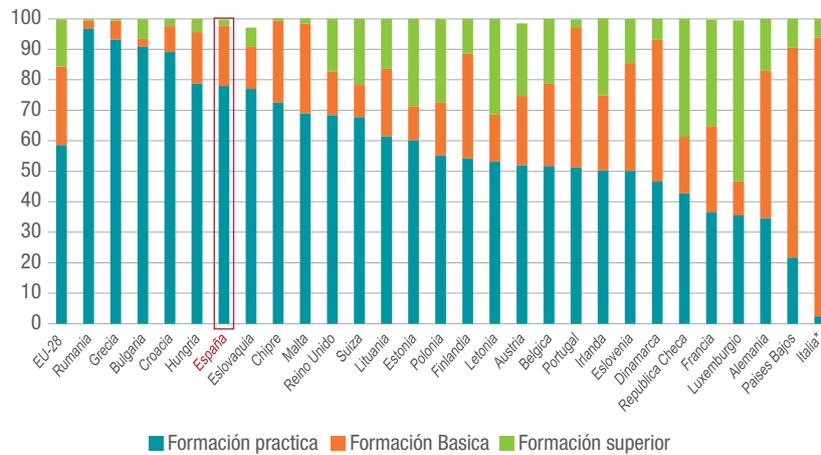
Estos datos muestran niveles de formación especialmente bajos entre los titulares de las explotaciones, mientras que la experiencia práctica es mayoritaria. No obstante, la presencia de un porcentaje creciente de titulares con formación entre los más jóvenes permite ser optimista. Y, evidencia que cada vez más los jóvenes incorporan nuevas capacidades y conocimientos en la gestión de sus explotaciones.

En el marco de estas nuevas capacidades destaca el grado de adopción de las herramientas digitales para la toma de decisiones o un uso más frecuente de redes sociales para la divulgación de las actividades de la entidad.

Respecto al nivel de formación de los titulares de las explotaciones en la Unión Europea, el 41 % ha completado un ciclo básico o superior de formación frente al 22 % en España (Gráfico 5). Aún es mayor la diferencia al comparar estos niveles medios de formación con países como Francia o Alemania, donde más de la mitad de los titulares de explotaciones ha seguido algún ciclo de formación específica.

Gráfico 5.

Distribución de los titulares de explotación según niveles de formación en Europa (2016). En porcentaje



* En Italia se han utilizado diferentes definiciones para los niveles de experiencia práctica y formación básica, por lo que no es comparable.

Fuente: Eurostat.

La formación de los productores agropecuarios puede ser una barrera para la implantación de tecnologías en sus explotaciones. A continuación, se resumen los resultados obtenidos por ASAJA (2019) en los que se refiere al grado de adopción de nuevas tecnologías en las explotaciones agropecuarias españolas:

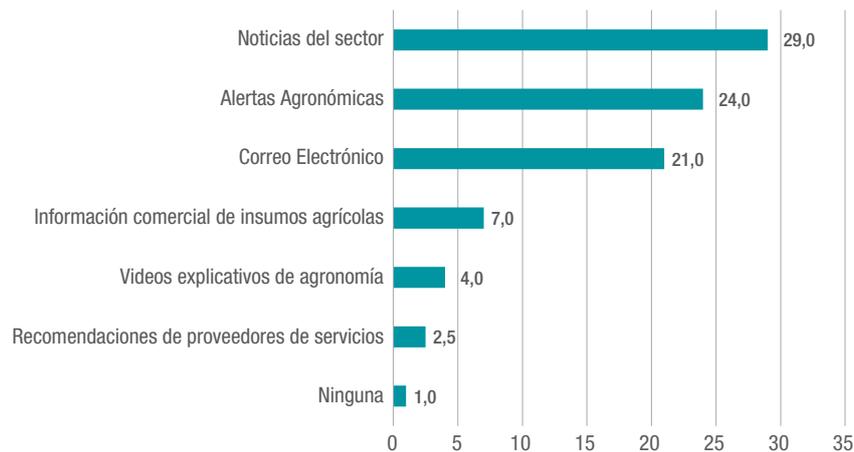
- El 82 % de los encuestados tiene ordenador portátil para trabajar en su explotación frente a un 18 % que no.
- El 95,3 % tiene conexión a internet en la explotación donde trabaja frente a un 4,7 % que no tiene.
- El 66 % ha realizado alguna compra de manera *online* frente al 33 % que no lo ha hecho. De los que han sí han comprado *online* el 37,7 % ha utilizado el portal de ventas de Amazon.
- El 33,7 % de los encuestados usa Whatsapp como red social de comunicación más utilizada.
- El 31 % utiliza un tractor que cuenta con sistema de guiado GPS frente al 69 % que trabaja con un tractor sin este sistema guiado por GPS.
- El 20 % de los encuestados dispone y utiliza monitores o sistemas de aplicación selectiva de fertilizantes o productos fitosanitarios.
- El 70 % de los agricultores o ganaderos reconoce hacer registro de sus actividades laborales a través del cuaderno de campo. Aunque solo el 28 % de ellos lo hace en formato digital.
- El 11 % de los encuestados se conecta al riego a través de medios remotos.

- El 69,7 % no utiliza sistemas tecnológicos en su explotación ganadera frente al 30 % que si utiliza algún tipo de herramienta tecnológica en su explotación ganadera. Dentro de los que si utilizan:
 - El 3,4 % usa robots de ordeño.
 - El 3,1 % realiza control de luminosidad.
 - El 4,2 % tiene sistemas de control de dispensación el alimento.
 - El 4 % controla la humedad.
 - El 4,2 % tiene automatizada alguna tarea.
 - El 5,7 % registra la temperatura.
 - El 5,7 % tiene chips de localización para el ganado.

No obstante, también destaca el estudio que prácticamente la totalidad de los encuestados utiliza el móvil a diario para realizar consultas informativas. En total un 91 % de los encuestados afirmaron tener móvil inteligente frente a un 9 % que no lo tiene. Las consultas a través del móvil especialmente están dirigidas a buscar información sobre el tiempo, noticias del sector, así como información relacionada con su actividad principal, por lo que se puede constatar que se trata de un sector activo en la búsqueda de información y permeable a una formación que amplíe y mejore sus capacidades digitales.

Gráfico 6.

Consultas realizadas para gestionar temas relacionados con las explotaciones agropecuarias. En porcentaje



Fuente: ASAJA (2019).

En definitiva, existe margen de mejora para incrementar y actualizar el conocimiento de los profesionales que lideran las explotaciones y este proceso es esencial para que la transformación digital alcance el impacto deseado.

3. Análisis de la estructura de las explotaciones

La estructura de las explotaciones varía según múltiples factores: características naturales como la geología, la topografía, el clima y los recursos naturales disponibles; así como el tamaño económico, la dimensión, la orientación, la infraestructura regional, costumbres sociales, etc.

A continuación, con intención de caracterizar el tipo de explotaciones y prever su predisposición a avanzar en el proceso de la transformación digital, se han seleccionado y analizado algunas de estas variables.

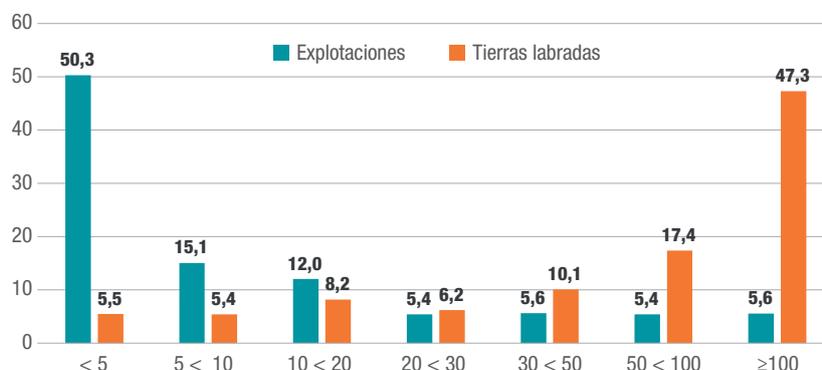
3.1. Distribución por número, superficie agrícola utilizada y grupos de edad

Al analizar la situación estructural del sector agroalimentario respecto al número de explotaciones y la superficie de tierras labradas, se observa que la mitad (50,3 %) tiene una dimensión menor a 5 hectáreas (Gráfico 7).

Concretamente la mayor parte de las explotaciones (77,4 %) presenta una dimensión menor a 20 hectáreas y en total ocupan el 19,0 % de la superficie de tierras labradas. Mientras que solo el 5,6 % de las explotaciones abarcan una superficie de más de 100 hectáreas y comprenden el 47,3 % de las tierras labradas.

Gráfico 7.

Distribución de las explotaciones y las tierras labradas en España según el tamaño de la explotación en hectáreas (2016). En porcentaje



Fuente: INE.

Esta distribución permite interpretar que gran parte de las estructuras son explotaciones de carácter familiar y representan la base social del sector agroalimentario en España.

Por lo tanto, gran parte de los negocios agroalimentarios a los que va dirigida la transformación digital tienen estructuras pequeñas, lo que podría implicar que no cuenten con suficientes recursos de partida para implementar todos los cambios que se plantean.

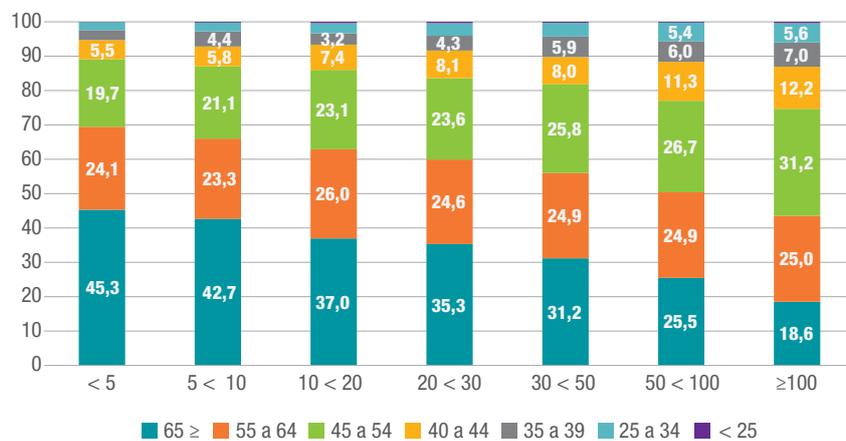
No obstante, al comparar la evolución con respecto a años anteriores, la tendencia confirma que se está produciendo un proceso de consolidación (se registran pocos cambios en la superficie utilizada y cada vez un número menor de explotaciones). Por tanto, cada vez las explotaciones más grandes representan una proporción creciente de la tierra cultivada.

Asimismo, al realizar el análisis del tamaño de las explotaciones según la edad, se observa que los titulares de explotaciones con mayores de 65 años son los que gestionan explotaciones de menor dimensión.

Concretamente el 45,3 % de los titulares de las explotaciones de menos de cinco hectáreas son mayores de 65 años mientras que el 56,4 % de las explotaciones mayores de 100 hectáreas las lideran titulares de 54 años o menos (Gráfico 8).

Gráfico 8.

Distribución del tamaño de las explotaciones expresada en hectáreas según los grupos de edad de los titulares (2016). En porcentaje



Fuente: INE.

En términos generales, los titulares de explotaciones con edades avanzadas se caracterizan por tener bajos ingresos y es menos probable que hayan recibido formación específica en agricultura. En cambio, los titulares de explotaciones jóvenes pueden haber recibido mayor formación, lo que les puede llevar a introducir prácticas y métodos de gestión innovadores que permitan liderar explotaciones de mayor tamaño.

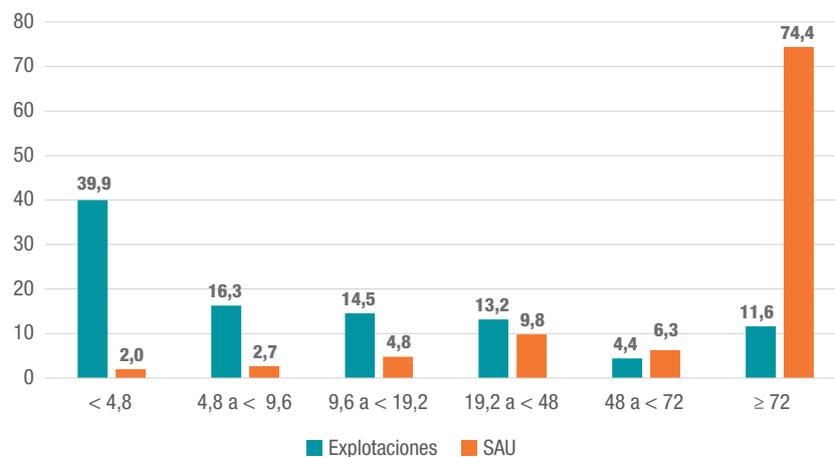
En definitiva, existe margen de mejora para incrementar y actualizar el conocimiento de los profesionales agropecuarios, sobre todo el relacionado con la transformación digital. Para ello, las Administraciones deben fomentar las medias de formación y las comunidades de conocimiento, donde los Sistemas de Conocimiento e Innovación agrícolas (AKIS) cobran una importancia vital para la modernización de los sistemas agropecuarios que busca la nueva PAC.

3.2. Distribución según la dimensión económica de las explotaciones

Al realizar el análisis según el tamaño económico de las explotaciones agroalimentarias en España se encuentran considerables divergencias. Se observa que la mitad del valor de la producción (50,7 %) la ocupan el 11,6 % de las explotaciones que se caracterizan por tener una dimensión económica mayor. Mientras que el 39,9 % de las explotaciones genera solo el 6,2 del valor de la producción y se corresponden con las explotaciones de menor dimensión económica (Gráfico 9).

Gráfico 9.

Distribución de las explotaciones y del valor de la producción según el tamaño económico de la explotación (OTE*) (2016). En porcentaje



* Orientación técnico-económica (OTE): operación que tiene como finalidad agrupar a las explotaciones agrarias en clases homogéneas, basándose en la proporción relativa del margen bruto que aporta cada cultivo y cada especie de rebaño.

Fuente: INE.

Cabe señalar que existe una gran diversidad de tipos de explotaciones que pueden tener una producción y rentabilidad considerable con superficies muy pequeñas de tierras agrícolas, por ejemplo, la horticultura o la ganadería intensiva.

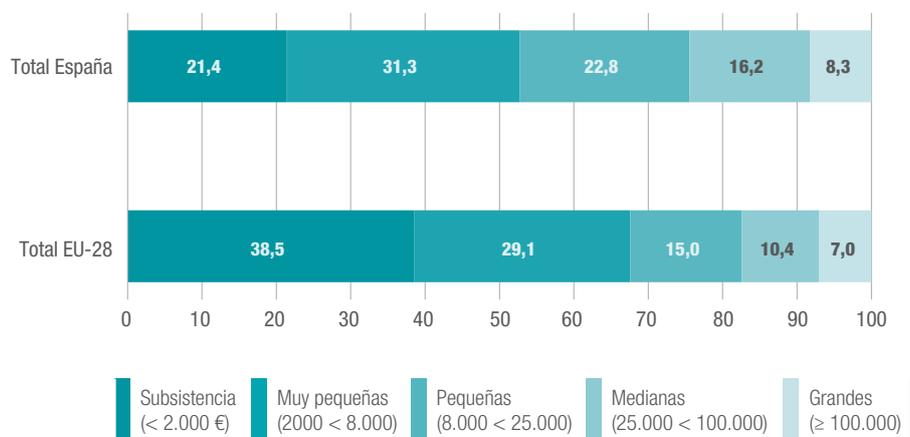
En línea con las estadísticas anteriores, esta situación se explica por la elevada cantidad de explotaciones de subsistencia y muy pequeñas dedicadas principalmente al autoconsumo o como complemento de renta familiar (y en general de carácter no profesional).

Al analizar la dimensión económica de las explotaciones en España, según la clasificación y metodología de la UE, recogida en el Gráfico 10, se observa que, de las 945.000 explotaciones registradas en 2016, el 52,7 % tenían una producción media inferior a 8.000 euros.

Por el contrario, un 8,28 % explotaciones tienen una producción media de más de 100.000 euros (Gráfico 10). Este perfil de explotaciones se caracteriza por ser negocios especializados y orientadas a la búsqueda de rentabilidad.

Gráfico 10.

Análisis de la dimensión económica de las explotaciones en España y Europa (2016). En porcentaje



Fuente: Eurostat.

Al comparar la situación en España con la media de la UE-28, se observa que se mantiene la diferencia entre los umbrales más extremos. En el conjunto de la Unión Europea se contabilizaron 10,5 millones de explotaciones en 2016, y el 67,5 % registraron una producción media inferior a 8.000 euros frente al 7,0 % de explotaciones grandes (con una producción superior a 100.000 euros).

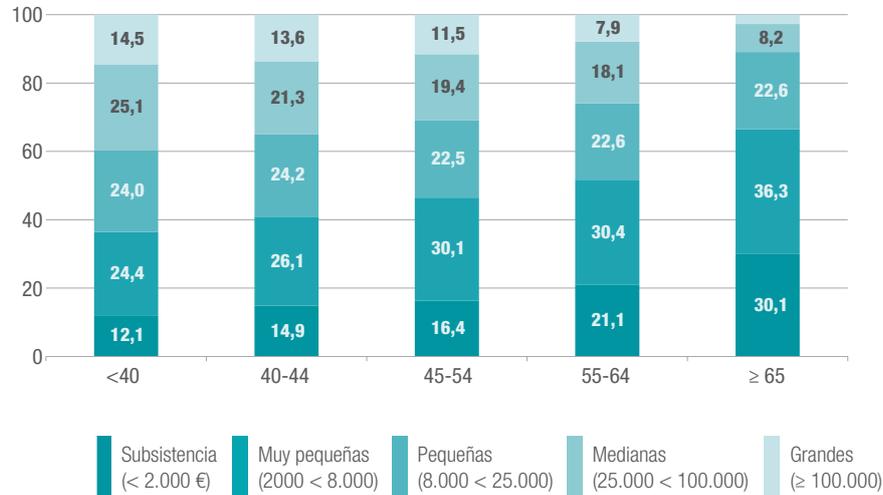
A menudo este tipo de explotaciones son gestionadas a tiempo parcial, y se entienden como actividades no lucrativas o como complemento de renta (o se caracterizan por incorporar una alta proporción de mano de obra familiar).

Por el contrario, en las explotaciones de mayor tamaño económico es más común encontrar mayor proporción de personal contratado a tiempo completo y con perfiles con formación específica en agricultura.

Al analizar la dimensión económica de las explotaciones según la edad del titular se confirma esta tendencia y se observa que la mayor parte de las explotaciones de subsistencia están gestionadas por titulares de más de 65 años, mientras que los titulares más jóvenes lideran explotaciones de mayor tamaño económico.

Gráfico 11.

Análisis de la dimensión económica de las explotaciones según la edad del titular en España (2016).
En porcentaje



Fuente: Eurostat.

3.3. Distribución según orientación productiva

Al profundizar en el análisis de la distribución del valor de la producción según la orientación productiva y tamaño económico de las explotaciones agrarias se observa como el porcentaje de valor agraria utilizada aumenta principalmente en empresas de mayor tamaño económico, sobre todo en las explotaciones orientadas a sectores como el avícola y el porcino con un alto grado de integración (Gráfico 12).

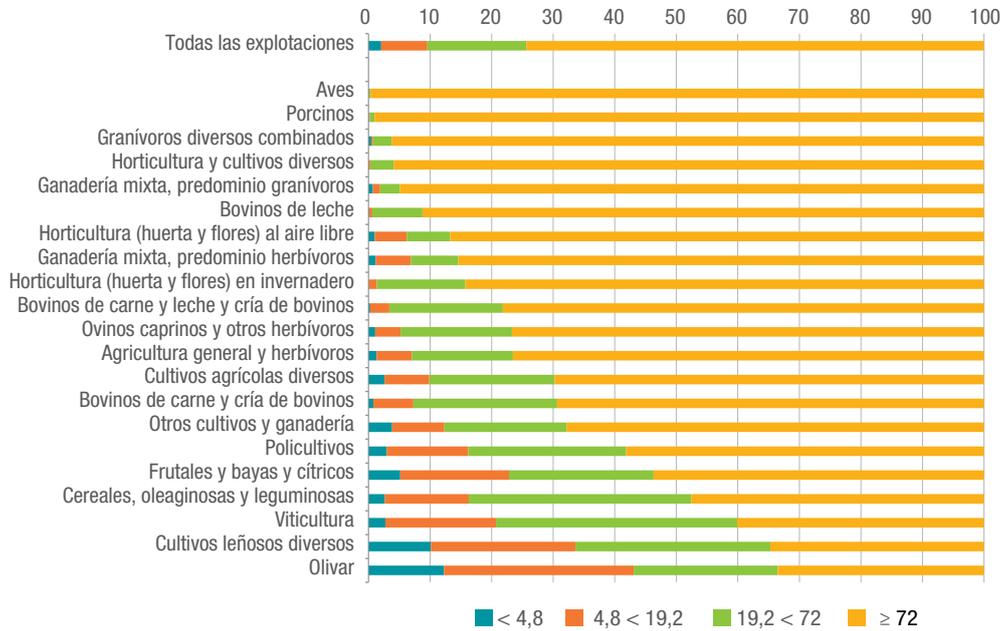
Por otro lado, en cultivos como el olivar o el viñedo se produce una situación diferente, donde la producción esta más repartida entre los diferentes rangos de empresas por tamaño económico.

Al observar los resultados del estudio elaborado por ASAJA, las cifras de digitalización por tipo de cultivo parecen indicar que, en olivar y viñedo, para explotaciones menores de 20 hectáreas, los niveles de digitalización son bajos (Gráfico 13).

Habría que profundizar en este ámbito con una encuesta más detallada en función de la orientación productiva. Esto podría también incluirse como labor del Observatorio. Merece la pena reflexionar al respecto, pues es lógico pensar que el tamaño y la orientación productiva pueden incidir en el grado de digitalización por lo que a la hora de elaborar políticas en esa dirección es necesario tener en cuenta ambas variables.

Gráfico 12.

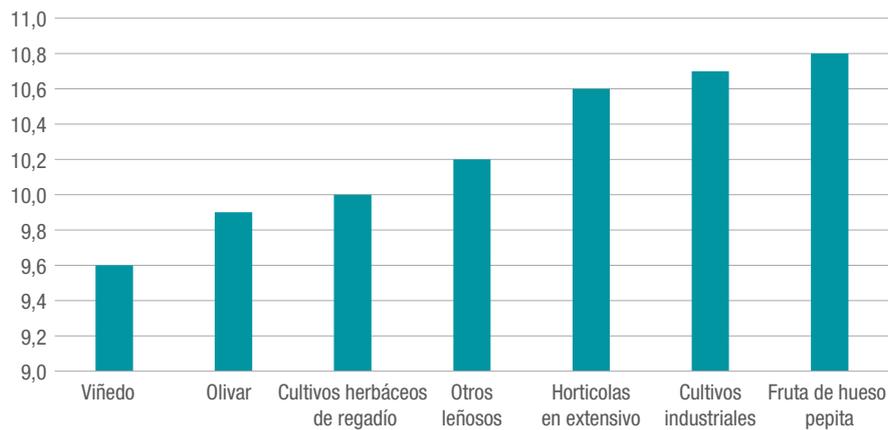
Orientación productiva y distribución del valor de la producción según el tamaño económico de la explotación en España (2016). En porcentaje



Fuente: INE.

Gráfico 13.

Digitalización por tipo de cultivo. En porcentaje



Fuente: ASAJA (2019).

4. Análisis de la relación entre las fases de la cadena agroalimentaria

El patrón de las estructuras agroalimentarias y sus gestores evoluciona hacia una concentración en explotaciones de mayor tamaño, más especializadas, intensivas en mano de obra profesional e inversiones en tecnología, junto con instalaciones que tienden a beneficiarse de las economías de escala. No obstante, la incorporación de nuevas tecnologías requiere la inclusión del grueso del ecosistema agroalimentario que actualmente siguen siendo pequeñas y medianas empresas.

Asimismo, para lograr que la implantación de la estrategia de digitalización tenga el mayor impacto posible es necesario entender como están engranados los distintos eslabones de la cadena entre sí y el nivel de comunicación y colaboración entre ellos.

De forma muy esquemática, el ecosistema agroalimentario está formado por agricultores y ganaderos que venden sus productos a través de intermediarios, cooperativas o distintas industrias agroalimentarias. Este segundo nivel escala los productos a cooperativas de segundo grado, la industria de transformados o a los siguientes eslabones de la cadena de distribución, para hacer llegar el producto al mercado a través de los distintos canales de ventas (minoristas, mayoristas, *online*, *retail*, *horeca*, supermercados, centrales de compra, etc.); y, por último, al consumidor.

A pesar de las múltiples vías que ofrecen los distintos eslabones de la cadena agroalimentaria todos comparten la necesidad de intercambiar información como herramienta fundamental para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

Asimismo, es primordial entender la comunicación y colaboración entre los distintos eslabones de la cadena de manera holística y no únicamente en una dirección. Cada vez más la incorporación del componente tecnológico favorece el acceso al conocimiento y este proceso obliga a entender la comunicación como una herramienta horizontal donde la información fluye en todas direcciones desde el productor al consumidor y viceversa.

En este sentido, la inclusión y la accesibilidad de tecnologías que favorezcan esta comunicación y acorten distancias entre los distintos circuitos de la cadena y en todas las direcciones, tiene un impacto directo que genera mayor eficiencia tanto en la producción como en la distribución de alimentos.

En el amplio espectro del sector agroalimentario podemos destacar dos subsectores donde se visibilizan los beneficios de fomentar la integración de los distintos eslabones de la cadena tal y como se observa en la Tabla 2.

Otro movimiento para destacar en favor de la coordinación del sector agroalimentario es la evolución del número de cooperativas y su facturación. Actualmente según la última publicación del Directorio Anual de Cooperativas 2020 (información publicada por Cooperativas Agro-alimentarias España, el Ministerio de Trabajo y el Ministerio de Trabajo y Economía Social), se estima que el sector cooperativo agroalimentario en España está formado por 3.669 entidades (Tabla 3). Esta cifra reúne 3.190 cooperativas agrarias y 479 cooperativas de explotación comunitaria de la tierra.

Tabla 2.**Análisis de la relación entre las fases de la cadena agroalimentaria en distintos subsectores**

	Descripción
Porcino	El sector porcino es uno de los más competitivos de la agroindustria. Se caracteriza por su industrialización y alta profesionalización. Este crecimiento es el resultado del elevado nivel de eficiencia alcanzado en todas y cada una de las fases de la cadena productiva (desde la fabricación de piensos hasta los mataderos y la industria de elaboración, pasando por las granjas de cría, de transición y de cebo). Toda esta coordinación se ha abordado a través de la organización en sistemas de integración que permiten alcanzar elevados niveles de especialización en cada una de las fases.
Lácteo	El sector lácteo se caracteriza por estar profundamente globalizado y este escenario hace aún más necesaria la colaboración de todos los que desde diferentes eslabones de la cadena para responder a un mercado hiperconectado con las mayores posibilidades de éxito. A modo de ejemplo podemos destacar la labor de Danone. Desde su fundación en 1919 la empresa incorpora una visión integradora que ha dado lugar en la actualidad a coordinar y dar seguimiento a más de 200 ganaderos que le suministran la mayor parte de la materia prima que transforman en España.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.**Número de cooperativas y facturación conjunta y media en España (2006-2019)**

	2006	2015	2016	2017	2018	2019
Facturación Cooperativas (millones de euros)	20.095	26.198	28.993	30.181	29.365	30.556
Número Cooperativas	4.022	3.762	3.740	3.699	3.669	3.669
Facturación media (millones de euros/cooperativa)	5,0	7,0	7,8	8,2	8,0	8,3

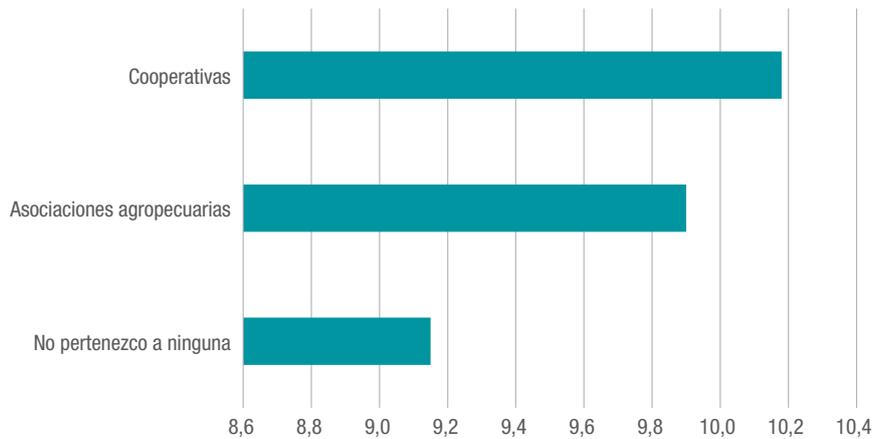
Fuente: OSCAE (2019).

Al analizar la evolución de las estadísticas cooperativas se refleja la búsqueda por optimizar la dimensión empresarial. Desde el año 2006 ha descendido el número de cooperativas un 8,8 %. Esta reducción se traduce en una agrupación que ha dado lugar a fortalecer estructuras económicas y la facturación media se ha incrementado un 52,1 %.

Este análisis del esfuerzo y evolución del sector agroalimentario por agruparse y consolidar un tamaño y poder de negociación es de interés, especialmente, porque el asociacionismo tiene un impacto positivo sobre la digitalización, actuando como catalizador de la misma. La no pertenencia a cooperativas o asociaciones implica un menor grado de digitalización (Gráfico 14; ASAJA, 2019).

Respecto a la situación de las empresas que forman la industria agroalimentaria en España es interesante destacar la evolución positiva de la cifra de negocio (actualmente representa el 23,3 % del conjunto del sector industrial; Tabla 4). Esta tendencia positiva refuerza la estrategia de avanzar y consolidar la vertebración de los distintos subsectores de la industria agroalimentaria.

Gráfico 14.
Digitalización de agricultores asociados. En porcentaje



Fuente: ASAJA (2019).

Tabla 4.
Número de entidades, facturación conjunta y facturación media de la industria agroalimentaria en España (2006-2019)

	2006	2015	2016	2017	2018	2019
Facturación industria alimentaria (millones de euros)	89.717	108.826	112.353	119.714	118.502	124.425
Número de entidades	31.855	28.185	29.000	29.018	31.342	30.573
Facturación media (millones de euros/entidad)	2,82	3,9	3,9	4,13	3,8	4,1

Fuente: INE. Encuesta Industrial de Empresas. CNAE 93 y MAPA Informe anual de la industria alimentaria española.

4.1. Transformación digital en la industria agroalimentaria

Antes de comenzar a exponer los últimos datos de la encuesta sobre el uso de TIC y comercio electrónico publicados por el INE para el año 2020 y el primer trimestre del año 2021 es necesario destacar lo siguiente:

- Las empresas evaluadas corresponden a las agrupadas en los CNAE 10-18, donde se encuentran las empresas de la industria de alimentación y bebidas. No obstante, se incluyen otras industrias como la textil, cuero, calzado, madera, corcho, papel, artes gráficas y reproducción de soportes grabados. Por ello, los resultados pueden mostrar una baja precisión.

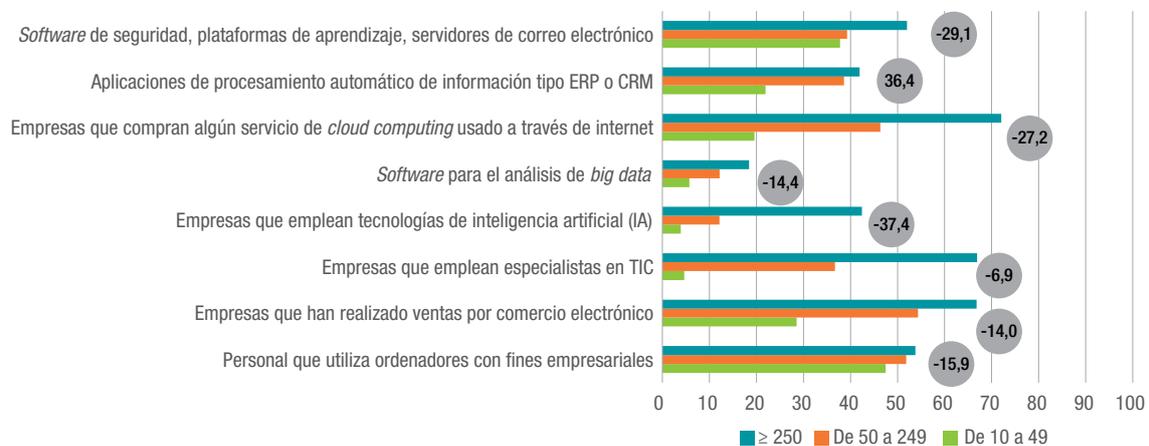
- En esta estadística solo se contemplan las empresas que poseen un número de trabajadores igual o superior a 10. El menor músculo económico que suelen mostrar las microempresas puede hacer que estas muestren un índice de digitalización menor.
- El Observatorio debe ampliar el rango de estudio debido a la importancia que presentan las microempresas (menor de 10 trabajadores) y autónomos para la economía española y para el sistema agroalimentario, donde el 80 % de las empresas tiene menos de 10 trabajadores (MAPA, 2020).

Realizadas las consideraciones iniciales, se destacan los siguientes resultados:

Las empresas con un número de trabajadores mayor de 250 obtuvieron la mayor implantación de herramientas digitales. En términos generales se entiende que aquellas empresas con una mayor plantilla también presentan un tamaño físico y económico mayor. Y, por tanto, pueden hacer frente a los costes de adopción y reconversión de las instalaciones. La mayor diferencia entre la adopción de recursos se encuentra en la contratación de especialistas TIC y uso de *cloud computing*. Sin embargo, referente a los especialistas TIC, hay que destacar que la estadística no contempla la externalización de los servicios en consultorías especializadas para dicho fin.

Gráfico 15.

Análisis del grado de implantación de herramientas digitales en empresas del código CNAE 10-18 en función del número de empleados y tasa de variación del conjunto de estas empresas en comparación con el resto de la industria. En porcentaje



Fuente: INE.

La digitalización del tejido empresarial no es uniforme, existen varias velocidades y aquellas empresas con mayor número de personas (más talento profesionalizado) son las que están liderando el proceso de transformación digital. No obstante, hay que manifestar que para todas las variables medidas y tamaño de empresas la implantación de tecnologías no es elevada, sobre todo para las tecnologías de mayor impacto como *big data* o inteligencia artificial (IA) que ofrecen un potencial de innovación elevado con el que incrementar la productividad de los sistemas. Por ello, la Unión Europea ha

destinado 7.590 millones de euros a acelerar la transformación digital de la economía e industria a través de financiar proyectos de supercomputación, IA, ciberseguridad, competencias digitales avanzadas y para la generación del uso de tecnologías digitales en todos los sectores de economía y la sociedad. Y, España, ha formulado para ello la Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial como se ha comentado en capítulos anteriores.

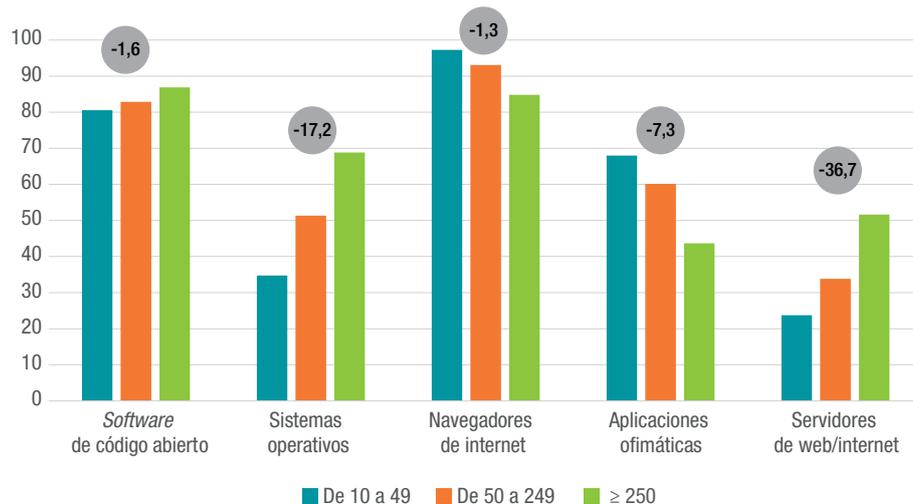
En línea con la evolución de agrupación e integración de las empresas del sector descrito anteriormente, este análisis demuestra que aquellas de menor tamaño encuentran más barreras para adoptar herramientas digitales mientras que aquellas más grandes tienden a incluir personas especializado en estas tecnologías.

Al comparar la adopción de estas mismas herramientas digitales de la industria alimentaria con respecto a la media del conjunto de la industria se observa que para todas las herramientas existe un amplio margen de mejora, ya que el resto de la industria está por encima del nivel de implementación de la industria agroalimentaria. Excepto en la línea «Empresas que han realizado ventas por comercio electrónico» y esto puede deberse a que en la agrupación de empresas de alimentación y bebidas también están contempladas empresas textiles que tienen mayor trayectoria y experiencia en la venta *online* (precisamente por el carácter no perecedero y almacenable de sus productos).

Para seguir profundizando en el análisis del uso de herramientas digitales, en el Gráfico 16 se refuerza la idea de que las empresas con mayor plantilla son también las que operan con herramientas digitales más sofisticadas. Y de nuevo, las empresas del sector alimentario están por debajo del resto de la industria.

Gráfico 16.

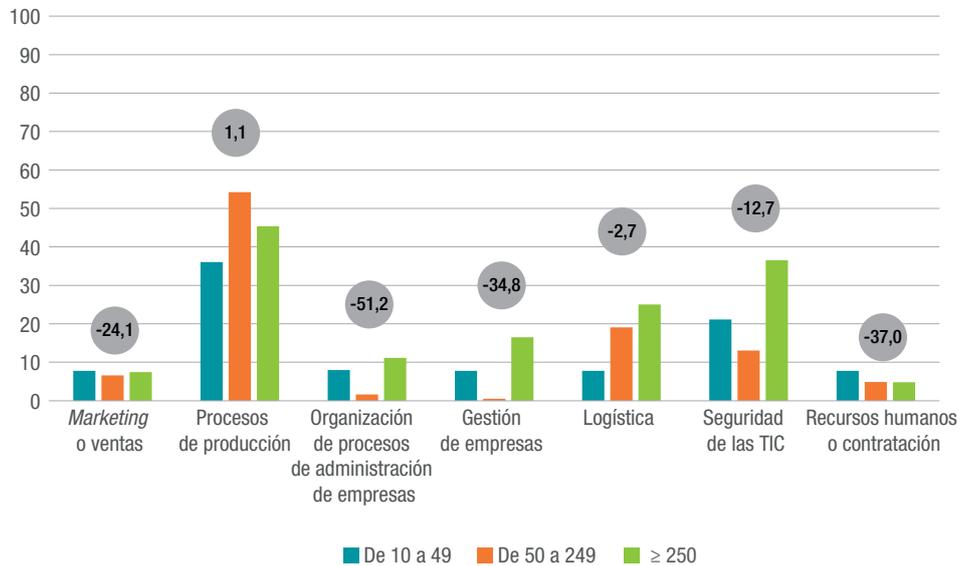
Análisis del uso de IA para empresas del código CNAE 10-18 en función del número de empleados y tasa de variación del conjunto de estas empresas en comparación con el resto de la industria. En porcentaje



Fuente: INE.

Gráfico 17.

Análisis del uso de IA para empresas del código CNAE 10-18 en función del número de empleados y tasa de variación del conjunto de estas empresas en comparación con el resto de la industria. En porcentaje



Fuente: INE.

Es interesante destacar las cifras aportadas para el canal horeca del último estudio publicado por Deloitte en 2020 sobre el sector de la distribución. El estudio expone que el 95 % de las empresas de distribución de última milla aún no han digitalizado su cadena de suministro y más del 60 % no tiene diseñado un plan o estrategia digital. Esta baja tasa de digitalización evidencia la cantidad de establecimientos que manejan la contabilidad y los recibos en papel y las dificultades a la hora de implementar cambios digitales en su gestión interna.

También apunta en esta misma línea un informe anterior elaborado por *Alimarket* en el 2018 sobre logística 4.0 en España. El informe recogía que para el año 2018 el 62 % de las compañías de logística en España no contaba con una estrategia digital. A pesar de tratarse estos dos últimos de estudio son específicos el sector agroalimentario, reflejan fielmente la situación en la que se encuentra el conjunto de las empresas de distribución y logística.

5. Aspectos para tener en cuenta en el diagnóstico

En este apartado se recogen de forma sintética las evidencias más destacables del análisis realizado:

Al acompañar el proceso de la transformación digital a través de este enfoque integrado y holístico, incluyendo a las personas que lideran las explotaciones agroalimentarias y a las propias estructuras, se espera que los resultados reviertan en:

- 1) La edad es un factor fundamental en el grado de adopción del proceso de digitalización. Habrá que tener en cuenta que el grueso de la población del sector agroalimentario no se encuentra en una franja de edad donde la digitalización es innata por ello el esfuerzo en adaptar la transformación digital a los grupos de edad será clave para el éxito del proceso.
- 2) Existe margen de mejora para incrementar y actualizar el conocimiento y las habilidades digitales de los profesionales del sector agroalimentario y este proceso es esencial para que la transformación digital alcance el impacto deseado.
- 3) El tamaño (tanto físico como económico) y la orientación productiva inciden en el grado de digitalización por lo que a la hora de elaborar planes y políticas en esa dirección es necesario tener en cuenta ambas variables.
- 4) El impacto de la implementación de herramientas de digitalización es evidente y con una tendencia claramente al alza en aquellas empresas que tienen mayor plantilla de empleados.
- 5) El conjunto de la cadena del sector agroalimentario tiene un impacto directo sobre la lucha contra la despoblación del medio rural y la creación de riqueza en el mismo. Por tanto, este desarrollo empresarial contribuye de forma directa a las arcas públicas, la creación de empleo, el mantenimiento de infraestructuras y servicios, la gestión del medioambiente sirve como reclamo para otros sectores asociados y contribuye al bienestar social. Y en línea con lo anterior, la dinamización y digitalización del medio rural debe tener un enfoque holístico que incluya toda la cadena del sector agroalimentario.

En definitiva, como se indica en la propia Estrategia de la Digitalización del MAPA, la transformación digital del sector no es una opción sino una necesidad y ya una realidad. A partir de este análisis se pone de manifiesto la necesidad de democratizar el acceso al conocimiento a través de las nuevas tecnologías digitales, colocando en el centro a las personas que forman parte del sector agroalimentario. Así como la necesidad de atender a toda la cadena de valor y las características propias del medio rural para así poder aprovechar todo el potencial y los beneficios que ofrece la digitalización al conjunto de la sociedad.

Conectividad

¿Están preparadas las zonas rurales para acceder a internet?

La conectividad se considera un aspecto clave en el proceso de transformación digital, ya que a través de ella se puede conseguir reducir tanto la brecha salarial y de género como la generacional, territorial o medioambiental.

En 2013, el Gobierno de España aprobó la Agenda Digital para España. Con ella lo que se pretendía era prosperar en torno a la digitalización socioeconómica del país y para ello se estableció desarrollar unas infraestructuras que permitieran el acceso a banda ultra rápida como uno de los objetivos estratégicos de primer orden para la década anterior y siguiendo las indicaciones de la Unión Europea. Así, se estableció que para el año 2020, toda la población española debía tener acceso a banda ancha con una velocidad superior a 30 Mbps y que al menos la mitad de los habitantes dispusiesen de una velocidad de descarga superior a los 100 Mbps.

Para ello se puso en marcha el Programa Nacional de Extensión de la Banda Ancha de Nueva Generación (PEBA-NGA) 2013-2021. Con él se quería apoyar a los inversores privados y facilitar la llegada de la cobertura a las zonas rurales y de menor densidad de población. El PEBA-NGA ha inyectado 1.123 millones de euros en 798 proyectos de más de 100 operadores. El 80 % de capital procedía del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

En 2020 se presentó la nueva agenda digital España Digital 2025, donde se recogen diversas medidas agrupadas en 10 ejes estratégicos para impulsar la transformación digital del país durante los próximos 5 años. El primer y el segundo eje estratégico hacen referencia a la conectividad. En el primero se pretende garantizar la conectividad digital para toda la población y, por tanto, reducir la diferencia de cobertura entre zonas rurales y urbanas y con el objetivo de que el 100 % de la población disponga del servicio de 100 Mbps en 2025. El segundo eje es una apuesta clara y decidida por el 5G y se fija como objetivo que en 2025 el 100 % del espectro radioeléctrico esté preparado para el mismo.

Para sacar adelante estos dos ejes, en diciembre de 2020 se presentó el plan para la conectividad y las infraestructuras digitales de la sociedad la economía y los territorios y la Estrategia de impulso de la tecnología 5G. En el primero de los planes, con una inversión prevista de 2.320 millones de euros hasta 2025, se pretende eliminar las brechas territoriales y sociales, impulsar el crecimiento económico, favorecer la transformación digital de actividades económicas y facilitar el acceso de la población a los servicios esenciales a distancia. En el plan se enumeran una serie de medidas en torno a 5 cinco ejes, tres verticales y 2 horizontales.

- *Extensión de la banda ancha para favorecer la vertebración territorial.* Continuar con la extensión de la cobertura de banda ancha de alta velocidad hasta alcanzar al 100 % de la población en 2025. Incentivando el despliegue en centros urbanos, zonas despobladas, centros de referencia y asistenciales con una velocidad de 100 Mbps por segundo.
- *Conectividad para la empresa.* Se reforzará la conectividad de las empresas, los polígonos industriales, centros logísticos o parques empresariales con el objetivo de que el 100 % de los polígonos industriales tengan una conexión escalable a un gigabit por segundo para 2025 (en línea con los objetivos de la estrategia europea «la Sociedad del Gigabit»). Para las pymes se facilitará bonos de conectividad digital para las que participen en programas públicos de impulso a su digitalización.
- *España Hub de datos.* Implementación de un esquema energético favorable para las infraestructuras digitales transfronterizas, mejora de la conectividad de infraestructuras digitales transfronterizas y participación en proyectos IPCEI de infraestructuras digitales transfronterizas (Cloud y satélites). Para 2025 se pretende conseguir un incremento del 30 % de la potencia TI actual con nuevas infraestructuras y ampliación de las existentes.
- *Reforma normativa y sistemas de información.* Nueva Ley General de Telecomunicaciones y renovación de los sistemas de información pública.
- *Mejora de las infraestructuras de telecomunicaciones* en edificios, incluyendo medidas de apoyo a la eficiencia energética.

Estos dos ejes de la agenda España Digital 2025 son prioridades del Mecanismo de Recuperación y Resiliencia de la Unión Europea y del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR) de la economía española que tiene previsto destinar alrededor de un 30 % de sus fondos a la digitalización.

En 2021 se ha puesto en marcha el Programa de Universalización de Infraestructuras Digitales para la Cohesión-Banda Ancha (ÚNICO-Banda Ancha) que da continuidad al PEBA-NGA. Es una actuación que se enmarca en el PRTR y que está financiado por la Unión Europea-*NextGeneration EU*.

El objetivo del programa ÚNICO-Banda Ancha es la universalización de las redes públicas de comunicaciones electrónicas con capacidad para proporcionar servicios de banda ancha de muy alta velocidad. La ejecución de los proyectos seleccionados en ÚNICO-Banda y de los que se encuentran en curso de las convocatorias PEB-NGA pretenden dar cobertura al 95 % de la población española con una velocidad mayor a 100 Mbps para 2023.

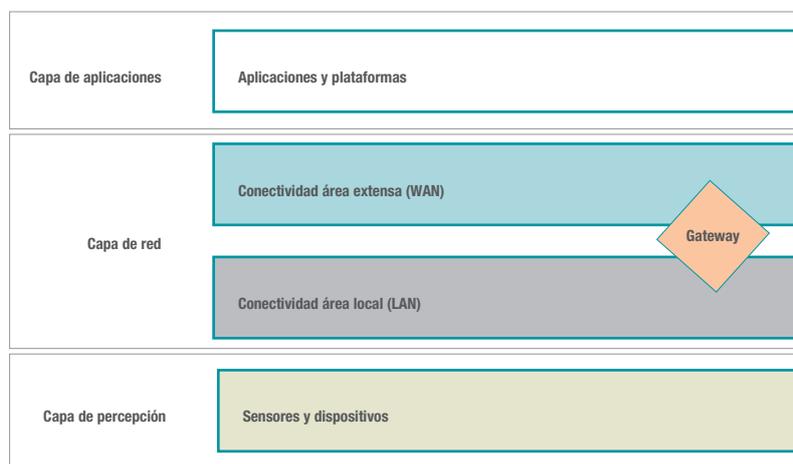
El programa UNICO es un marco para diferentes convocatorias que faciliten el acceso a la banda ancha ultra rápida y la extensión de 5G.

La primera convocatoria se resolvió en diciembre de 2021 concediendo ayudas por un valor de 249,9 millones de euros. En marzo de 2022, en MINECO, lanzó una consulta pública para identificar con precisión las zonas susceptibles de recibir ayudas (zonas blancas¹ o grises²). Debido a la extensión de la banda ancha 92 % de la población de España, cada vez resulta más complicado identificar las zonas sin cobertura. Por ese motivo se ha pasado de una identificación ligada a entidades singulares a una identificación por parcela catastral. La partida presupuestaria para 2022 alcanza los 215 millones de euros.

1. Tecnologías

Los modelos más complejos de digitalización se encuentran estructurados en varias capas. En la capa inferior o de percepción se ubican dispositivos, sensores y actuadores. La capa de red se encarga de conectar la capa anterior con la capa de las aplicaciones en la que residen las plataformas y aplicaciones que procesan, analizan y almacenan los datos registrados en otra capa de percepción. Los dispositivos y sensores de la explotación se conectan entre sí a través de una red LAN (red de área local). A esto se le ha dado denominado el internet de las cosas (IoT) (en inglés, *internet of things*). Estas redes de área local se conectan a través de un *gateway* a una WAN o internet y, por tanto, a la capa de las aplicaciones. En los casos más sencillos o básicos se accede a la WAN o internet para llegar a la capa de las aplicaciones (Figura 1).

Figura 1.
Capas en la digitalización de una explotación agrícola



Fuente: elaboración propia.

• • • • •

¹ Zonas blancas, en las que la cobertura de red no alcanza los 30 Mbps y no hay planes para su dotación en los próximos tres años.

² Zonas grises las que tienen una cobertura de muy alta velocidad por debajo de los 100 Mbps prestada por un solo operador.

La capa de red agrupa la conectividad de área local o LAN y la conectividad de área extensa o internet.

Los servicios de banda ancha son aquellos que permiten al usuario, utilizando un terminal específico (ordenador, móvil, televisor, etc.) disponer de una conexión de datos permanente y de capacidad de transmisión elevada. Estos servicios constituyen el núcleo de la WAN.

La tecnología que permite ofrecer servicios de banda ancha engloba las redes de líneas de abonado digital sobre pares de cobre (ADSL y VDSL), las de cable, con soluciones híbridas de fibra y coaxial (HFC); la de fibra óptica hasta el hogar (FTTH); las inalámbricas de servicio fijo y las redes móviles 3,5G (UMTS con HSPA), 4G (LTE) y 5G.

1.1. Tecnologías de conexión de área local (LAN)

En este apartado repasaremos las tecnologías más utilizadas para interconectar los diferentes dispositivos dentro de la explotación, además de sus ventajas e inconvenientes. En este tipo de redes predominan las tecnologías de conexión inalámbrica.

RFID

Es un sistema de comunicación por radio frecuencia unidireccional que sirve para identificar un objeto, lo que se conoce como identificación automática o etiquetas digitales. Estos microchips tienen mayor capacidad de almacenamiento de datos que las etiquetas de códigos de barras, son difíciles de duplicar y se pueden leer instantáneamente, a distancia y sin necesidad de contacto visual.

NFC

Comunicación de campo cercano es una integración de las tecnologías RFID, tarjetas inteligentes y de comunicación inalámbrica. Diseñada para transmitir pequeñas cantidades de información a una alta frecuencia en distancias cortas. Opera en los 13,56 MHz a una velocidad de 424 kbps a una distancia de unos 10 cm. Es fácil de usar, intuitiva y no requiere conocimientos sobre la misma. Adecuada para la identificación y validación de equipos y personas.

Bluetooth

Red inalámbrica de Área Personal (WPAN) de corto alcance que opera en la banda ISM (2,4 Ghz). Presenta una evolución constante de los estándares (versión 1-5). La última versión la 5.2 es de 2020. Se utiliza en redes en las que no se requiere un gran alcance (10 m) ni una gran capacidad de transmisión para la comunicación de datos entre dispositivos digitales.

Wifi

Tecnología inalámbrica que se basa en el estándar IEEE 802.11. Utiliza de modulación OFDM que mejora la eficiencia espectral. Presenta una gran evolución en los estándares manteniendo la retrocompatibilidad (IEE 802.11 a/b/g/n/ac/ah/ax). El último estándar 802.11ax, también conocido **wifi 6**, ofrece una capacidad máxima teórica de 10 Gbps. Actualmente puede presentar en determinados entornos una masificación e interferencias.

LoRa

Es una red LPWAN (*Low Power Wide Area Network*) utilizada tanto para redes LAN como WAN. Utiliza un tipo de modulación en radiofrecuencia patentado por Semtech. La tecnología de modulación se denomina *Chirp Spread Spectrum* (CSS) de espectro ensanchado con robustez a interferencias y muy utilizada en entornos IoT.

Zigbee

Es una red inalámbrica de área personal (WPAN) basada en el estándar IEEE 802.15.4. Entre sus características figura un bajo consumo, baja transferencia de datos, topología de red de tipo *mesh* y tamaño reducido. Una red *Zigbee* puede constar de un máximo de 65.535 nodos distribuidos en subredes de 255 nodos. Esta tipología permite a los nodos actualizar de forma dinámica la tabla de rutas, lo que aporta robustez y eficacia a la red.

1.2. Tecnologías de conexión de área extensa (WAN)

En las WAN se utilizan conexiones por cable o vía inalámbrica dependiendo de la tecnología. El Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital (MINECO, 2021) identifica en su informe sobre el estado de la banda ancha en España estas tecnologías, que son: ADSL, VDSL, FTTH, HFC (DOCSIS 3.1), inalámbrico servicio fijo ≥ 30 Mbps, WiMAX, UMTS con HSPA y LTE. Las definiciones de cada una de ellas están recogidas en la Tabla 1.

No obstante, dentro de esta categoría existen otras tecnologías, entre las que se destacan las siguientes:

Lte-m

LTE-M es la abreviatura de LTE Cat-M1 o *Long Term Evolution* (4G) es una tecnología LPWAN hecha para que los dispositivos IoT puedan conectarse a una red 4G sin necesidad de una puerta de enlace. Es compatible con las redes LTE actuales por lo que su despliegue puede ser muy rápido.

NB-IoT (*Narrowband-IoT*)

Es una de las soluciones de 3GPP para las necesidades de IoT. Utiliza las bandas de frecuencia 800, 1800, 2600 MHz, (GSM y LTE), e incluso utilizando el espacio que hay entre canales.

LoRaWAN

LoRaWAN es una LPWAN que se encarga de unir diferentes dispositivos LoRa gestionando sus canales y parámetros de conexión: canal, ancho de banda, cifrado de datos, etc.

Sigfox

Es una compañía francesa que proporciona cobertura LPWAN. Utiliza modulaciones UNB (*Ultra Narrow Band*) para alcanzar grandes distancias con un bajo consumo energético a costa de una capacidad muy baja. Es una alternativa a GSM/3G/4G. Utiliza la banda 868 Mhz, cada nodo cubre un área bastante extensa y las empresas que necesiten mejorar la cobertura pueden instalar un equipo repetidor. Existe una limitación a 140 paquetes diarios por dispositivo que no superen los 12 bytes cada uno lo que da una transmisión entre 0,3 y 50 kbps. Otra ventaja de *Sigfox* es que los dispositivos que utilizan esta tecnología pueden permanecer en estado latente si no hay datos que transmitir, lo que reduce notablemente el consumo (Venco, 2019).

Debido al reducido consumo, la buena cobertura en áreas remotas, así como no tener que instalar un *Gateway* hacen de *Sigfox* una buena solución para entornos rurales.

5G

Esta tecnología es la evolución de la conectividad a través de 4G o 4,5G. Con ella se pueden conseguir una velocidad de conexión en movilidad superior a 100 Mbps y con máximos que pueden alcanzar los 1.000 Mbps. Además, de reducir sensiblemente la latencia, de 20-30 milisegundos en 4G a 1 milisegundo en 5G. Esta tecnología se postula como un pilar fundamental para acelerar el proceso de transformación digital. El 5G permitiría ascender la capacidad de establecer conexiones simultáneas, lo que favorecería la instalación masiva de sensores mIoT (*massive IoT*, comunicaciones máquina a máquina masivas) (MINECO, 2021b).

Satélite

Las zonas donde no llega la banda ancha por cable y la cobertura móvil 4G es precaria tienen una solución con las conexiones de **internet por satélite**. La cobertura satelital en España es del 100 %. Este tipo de acceso requiere el uso de una antena parabólica y un *router* más sofisticado. Entre las ventajas figura la amplia cobertura, el ancho de banda superior a tecnologías como el ADSL o el 3G, pero por debajo de la fibra y el 4G, cobertura del servicio y seguridad. Entre los inconvenientes figura la latencia (el tiempo que tarda en responder desde que se hace *click*), en torno a los 500-700 ms, frente a 20 ms que suele ofrecer la fibra óptica. Este retardo perjudica el uso de determinadas aplicaciones e incluso las videollamadas, además la velocidad no está garantizada y puede fluctuar en función de la carga de la red o las condiciones meteorológicas.

Entre las ofertas de internet satelital figura **Starlink** constelación de satélites de la empresa SpaceX que con 1.800 satélites en órbita ofrece una conexión constante y en todo el mundo. En España está en fase beta desde el mes de febrero de 2021 y en producción desde enero de 2022. En las pruebas se han conseguido conexiones entre 50 Mbps y 150 Mbps y una latencia de 20 y 40 ms, aunque con algunos periodos sin conectividad. En 2027 esperan contar con 42.000 satélites (Granados, 2021). La órbita de estos dispositivos se sitúa a 550 kilómetros por encima de la superficie terrestre, unas 60 veces más cerca que los satélites tradicionales lo que les permite mejorar la cobertura, la velocidad y la latencia.

Tabla 1.
Tecnologías de conexión de área extensa identificadas por MINECO

Tecnología	Definición
ADSL	El ADSL (<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>) es una técnica de transmisión que, aplicada sobre las líneas de abonado constituidas sobre pares de cobre de la red telefónica tradicional, permite la transmisión sobre ellos de datos de hasta 25 Mbps. Se basa en utilizar frecuencias más altas que las empleadas en el servicio telefónico.
VDSL	El VDSL (<i>Very high rate Digital Subscriber Line</i>) es una evolución de la tecnología ADSL que emplea cuatro bandas de frecuencia distintas, dos para subida y dos para bajada, y permite velocidades de superiores a los 25Mbps. Como contrapartida, el VDSL tiene unas exigencias mayores a las del ADSL en cuanto a la adecuación de las señales, por lo que necesita líneas de abonado de corta longitud, normalmente del orden de 500 metros.
FTTH	La arquitectura de las redes FTTH (<i>Fibre To The Home</i>) se basa en la utilización de la fibra óptica desde la central hasta el domicilio del abonado. La fibra óptica es un medio de transmisión con muy buenas características de propagación, idóneo para ser utilizado en las redes de telecomunicaciones, que permite prestar servicios de transmisión de datos a velocidades de 100 Mbps o superiores. En otros foros se utiliza el término FTTP (<i>Fiber to the Premise</i>).
HFC (DOCSIS 3.1)	La arquitectura de las redes HFC (<i>Hybrid Fibre Coaxial</i>) se basa en la utilización de la fibra óptica, complementada en el último tramo de conexión con el usuario con cable coaxial. El estándar DOCSIS 3.1 permite prestar servicios de transmisión de datos a velocidades de 100 Mbps o superiores.
Inalámbrico servicio fijo ≥ 30 Mbps	Engloba a aquellas tecnologías que utilizan las ondas electromagnéticas (microondas) como medio para establecer la conexión entre la red de telecomunicaciones y el domicilio del cliente con velocidad en sentido descendente de al menos 30Mbps, durante la mayor parte del tiempo, utilizando sistemas WiMAX de última generación o 4G.
WiMAX	WiMAX (<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>) es una tecnología de redes de acceso basada en el estándar 802.16 del IEEE que permite la comunicación inalámbrica a través de ondas electromagnéticas (microondas).
UMTS con HSPA	Las redes móviles de tercera generación (3G) basadas en el estándar UMTS (<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>) y equipadas con HSPA (<i>High Speed Packet Access</i>), también conocidas como 3,5G, son capaces de proporcionar servicios de transmisión de datos con velocidades de pico superiores a los 21 Mbps.
LTE	LTE (<i>Long Term Evolution</i>), también conocido como 4G, es la evolución de las redes 3,5G de comunicaciones móviles. Las características de estas redes las hacen idóneas para soportar los servicios móviles del futuro al poder proporcionar, en determinadas condiciones, servicios de transmisión de datos con velocidades de pico superiores a los 100 Mbps.

Fuente: MINECO (2021a).

2. Conectividad en España. Evolución

La Secretaría de Estado de Telecomunicaciones e Infraestructuras Digitales (SETELECO) publica un informe todos los años desde 2012 en el que se analiza el grado de cobertura de las infraestructuras existentes en España por plataforma tecnológica y por velocidad descendente.

Los resultados fueron obtenidos, según el MINECO (2013), de la siguiente manera: «En el presente informe, se recoge la caracterización de la cobertura de banda ancha por tipo de infraestructura o plataforma tecnológica, obteniendo la cobertura global de todos los operadores como la mayor en cada entidad de población (aproximación conservadora que presupone un 100 % de solape de coberturas). Estas coberturas globales por plataforma tecnológica, así obtenidas, presentan a su vez importantes grados de solape entre sí. Por ejemplo, la cobertura de VDSL está solapada en su totalidad con el ADSL, la de FTTH en su práctica totalidad con la del HFC, ambas (HFC y FTTH) con el ADSL y todas las coberturas de red fija con la cobertura de red móvil, que es la plataforma con mayor cobertura de banda ancha en España». En el primer semestre de 2012 se realizó el primer análisis, y se observó que la conectividad a internet registrada en España parecía no cubrir las necesidades de la población. La cobertura mostraba, por ejemplo, que tres de cada diez españoles no podían disfrutar de líneas de ADSL (10 Mbps) (Tabla 2) o que alrededor del 50 % de la población solo podía acceder a una velocidad de cobertura de 30 o 100 Mbps (Tabla 3).

En el informe de 2014 se empieza a incluir análisis de datos y comparativas sobre la cobertura de banda ancha en las zonas rurales. Se entiende por municipio rural aquel cuya densidad de población es inferior a 100 habitantes por kilómetro cuadrado (Ley 45/2007 de 13 de diciembre, para el Desarrollo Sostenible del Medio Rural). Según este criterio de los 8.131 municipios que recoge el Nomenclátor del Instituto Nacional de Estadística de 2019, 6.697 son municipios rurales.

Tabla 2.
Población con conectividad a internet bajo distintos tipos de tecnologías en España (2012). En porcentaje

Tecnología	Cobertura poblacional
ADSL (10 Mbps)	68
VDSL (30 Mbps)	11
HFC	46
FTTH	9
HSPA (3,5G)	96

Fuente: MINECO (2012).

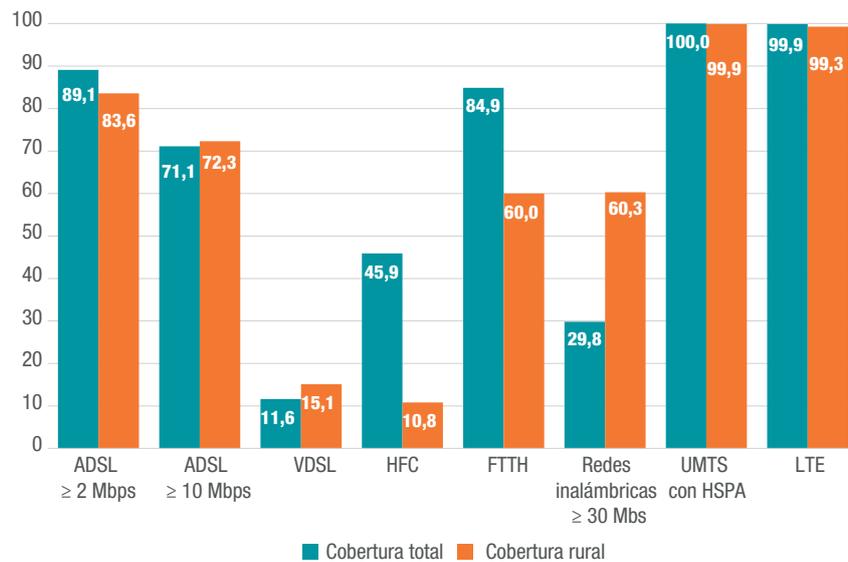
Tabla 3.
Población con conectividad a internet bajo distintos tipos de velocidades de conexión en España (2012).
En porcentaje

Velocidad	Cobertura poblacional
30 Mbps	53
100 Mbps	47

Fuente: MINECO (2012).

Así, MINECO (2021a) publicó el informe correspondiente al análisis de conectividad de primer semestre de 2020. En él se observa como la conexión a internet incrementó significativamente su cobertura en el territorio español con respecto a la alcanzada en 2012 (Gráficos 1 y 2 y Tablas 2 y 3). Por ello, las Administraciones están realizando sendos esfuerzos para cumplir con las necesidades de su población, además, de favorecer la entrada de la digitalización en todo su territorio.

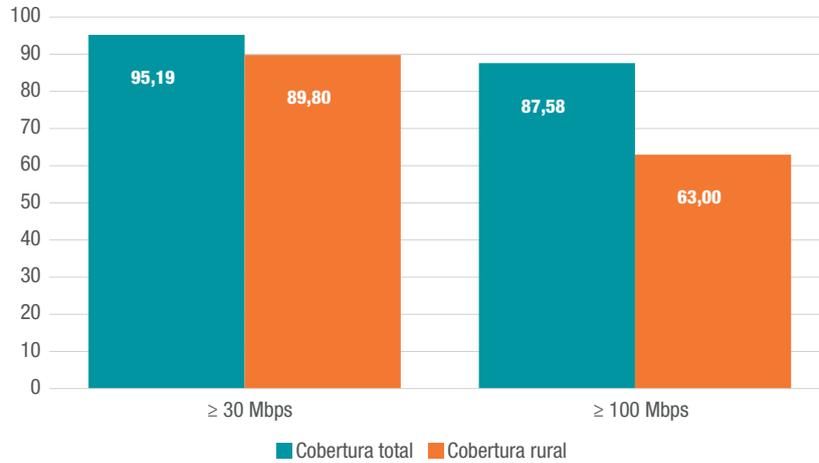
Gráfico 1.
Cobertura total y rural de internet bajo diferentes tecnologías de conexión en España (2020). En porcentaje



Fuente: MINECO (2021a).

Gráfico 2.

Comparativa de la cobertura a internet rural y total segmentada por velocidad de conexión en España (2020). En porcentaje



Fuente: MINECO (2021a).

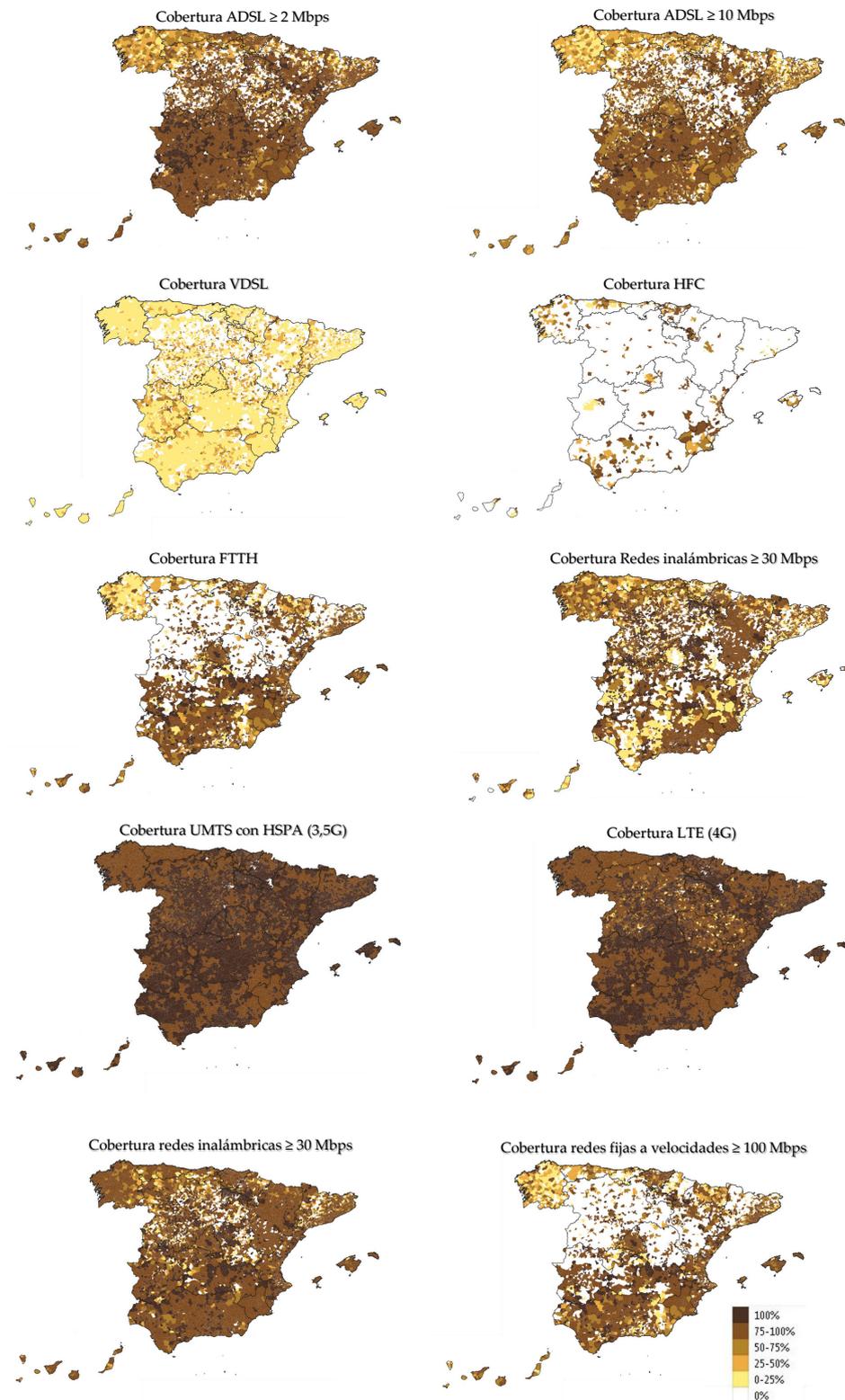
La plataforma con mayor cobertura es la de acceso móvil 3,5G (UMTS con HSPA) que alcanza a casi a la totalidad de los hogares. La siguiente generación LTE ha crecido rápidamente con la reutilización de las infraestructuras existentes alcanzando en 2020 el 99,9 % de la población y el 99,3 % de los municipios rurales. Precisamente, casi la totalidad de los municipios españoles presenta coberturas del 75-100 % en estas tecnologías (Figura 2).

De esta forma, varios de los territorios que no disponen de algunas de las tecnologías de conexión coinciden con la «España vacía». Generalmente se caracterizan por poseer una baja densidad de población, unos habitantes de avanzada edad y una actividad económica que gira en torno al sector agroalimentario. Sin embargo, en estas demarcaciones, tecnologías como el 3,5G o 4G muestran un potencial elevado a consecuencia de su cobertura.

Irrumpe en el escenario las redes móviles 5G, que a mediados de 2020 con servicio comercial en 21 ciudades alcanza una cobertura del 12,5 % de la población.

En las redes de acceso fijo la plataforma de mayor crecimiento sigue siendo FTTH, creciendo de orden de cinco puntos respecto al año anterior a pesar de la mayor inversión necesaria. Parte de este crecimiento se ha debido a la migración de redes HFC hacia FTTH, que explica el descenso de tres puntos de la plataforma HFC. En el ámbito rural y debido a sus altos costes de despliegue alcanza una cobertura del 60 % de los hogares.

Figura 2.
Distribución geográfica de la conectividad en España bajo diferentes tecnologías de conexión a internet (2020)



Fuente: MINECO (2021a).

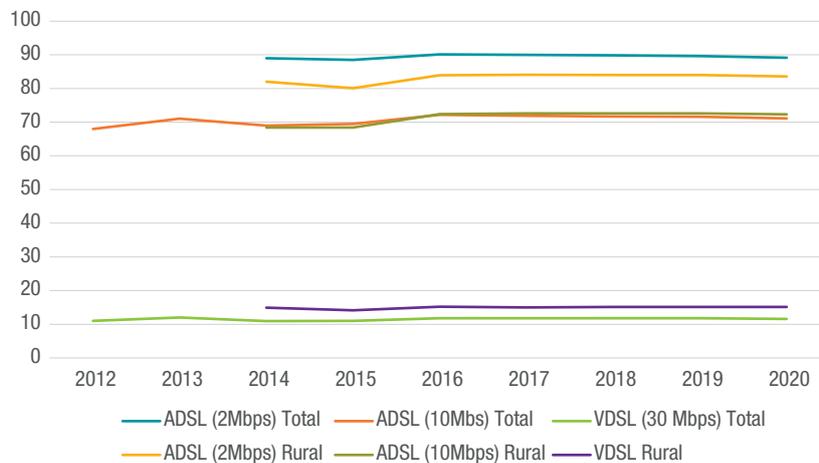
2.1. Evolución del grado de cobertura

En estos nueve años (2012-2020) la evolución ha sido rápida e intensa para cumplir con los objetivos de la Agenda Digital.

Las tecnologías ADSL y VDSL basadas en hilo de cobre se han caracterizado por su estancamiento durante el periodo 2012-2020, en parte debido a que de ellas solo VDSL puede garantizar velocidades de más de 30 Mbps que es la velocidad mínima que se especifica en el Programa de Extensión de banda Ancha de Nueva Generación (PEBA-NGA) (Gráfico 3).

Gráfico 3.

Evolución de la cobertura a internet a través de tecnología ADSL y VDSL en España (2012-2020). En porcentaje



Fuente: MINECO (2012-2021a).

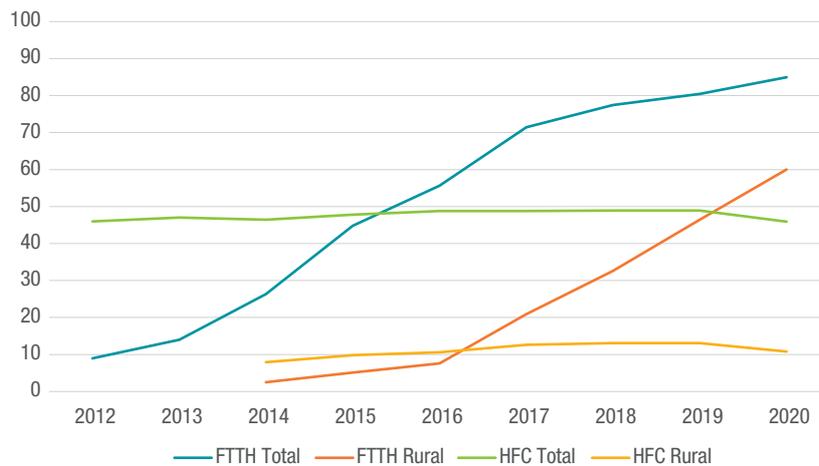
Destaca en el caso de España la apuesta de los operadores por tecnologías como la FTTH (fibra óptica) a base de las redes ultrarrápidas, que la ha convertido en una de las plataformas con mayor crecimiento (Gráfico 4). En los municipios rurales también ha sido importante el crecimiento, aunque en menor medida debido al alto coste de su despliegue. Este crecimiento se vio favorecido por **Plan 300x100** para impulsar al Programa de Extensión de la Banda Ancha de Nueva Generación (PEBA-NGA) puesto en marcha en 2013. Este plan contempla el despliegue de FTTH en todos los núcleos de población de España, con especial incidencia en las pequeñas poblaciones y las zonas rurales.

Tecnologías como HFC capaces de velocidades por encima de los 100 Mbps no han experimentado prácticamente ningún crecimiento e incluso en los últimos años se ha dado migración hacia FTTH (Gráfico 4).

La plataforma de acceso fijo mediante redes inalámbricas con capacidad de ofrecer servicios con velocidades de descarga de hasta 30 Mbps ha experimentado un importante crecimiento, particularmente en el ámbito rural para dar servicio vía radio. Es importante el salto en 2018 debido a la aprobación del **Plan 800 Mhz** para proporcionar cobertura de banda ancha a velocidades de 30 Mbps o superior a los municipios de menos de 5.000 habitantes antes de enero de 2020 (Gráfico 5).

Gráfico 4.

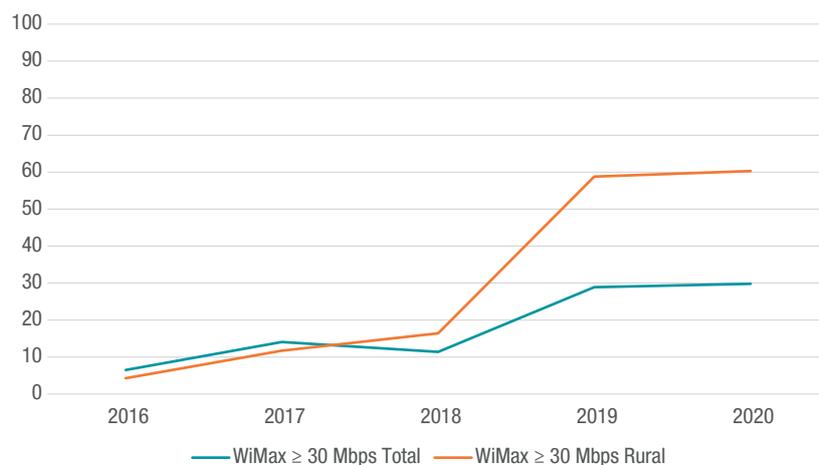
Evolución de la cobertura a internet a través de tecnología FTTH y HFC en España (2012-2020). En porcentaje



Fuente: MINECO (2012-2021a).

Gráfico 5.

Evolución de la cobertura a internet a través de conexión inalámbrica fija en España (2012-2020). En porcentaje

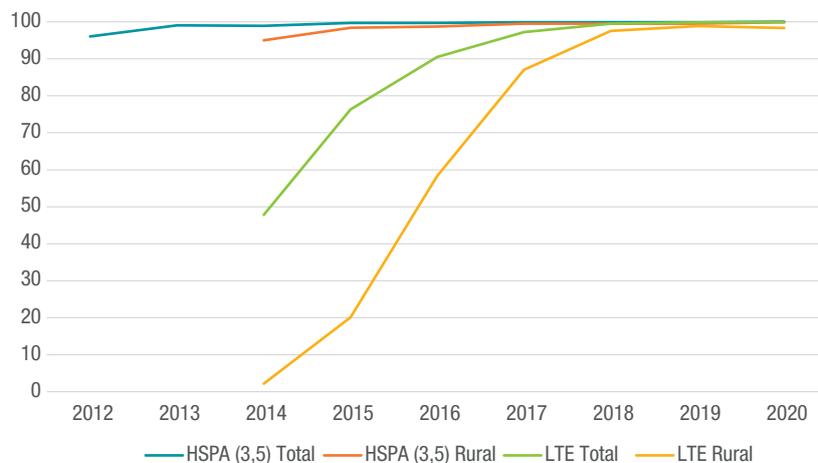


Fuente: MINECO (2016-2021a).

La plataforma tecnológica de mayor cobertura es la banda ancha de acceso móvil 3,5G (UTMS con HSPA) durante el periodo ha alcanzado una cobertura del 100 %. La banda de 4G (LTE) que mejora las capacidades del 3G con velocidades que pueden superar los 100 Mbps, ha experimentado un rápido crecimiento desde 2014 motivado en parte por el despliegue realizado sobre las infraestructuras existentes y la disponibilidad de frecuencias de 800Mhz, tras la liberación del dividendo digital en 2015 (Gráfico 6).

Gráfico 6.

Evolución de la cobertura a internet a través de UMTS con HSPA (3,5G) y LTE (4G) en España (2012-2020). En porcentaje



Fuente: MINECO (2012-2021a).

La cobertura satelital ofrecida a través de cualquiera de los sistemas de satélites con cobertura sobre España ha garantizado una conectividad del 100 % en todo el territorio. Con objeto de reducir la brecha digital y facilitar la conexión de pequeñas empresas en las zonas rurales el proyecto ‘**Conéctate por satélite**’ pone a disposición de los usuarios finales ayudas de hasta 400 euros para la instalación de internet vía satélite con velocidades de hasta 100 Mbps.

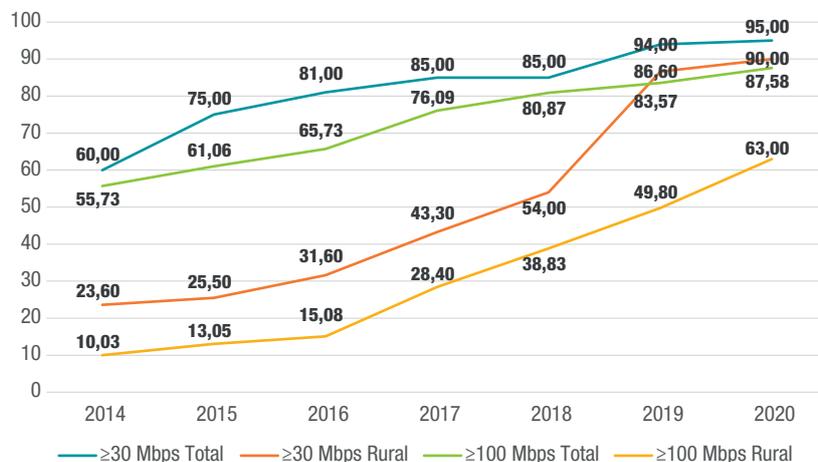
La novedad en este sector puede venir de la mano de las constelaciones de satélites de órbita baja que pueden mejorar las prestaciones de un modo importante en las zonas remotas del país.

La evolución de la cobertura por velocidad agregada de todos los operadores y plataformas tecnológicas se muestra en Gráfico 7. En el grupo de velocidad ≥ 30 Mbps se agrupan las inalámbricas de acceso fijo de más de 30 Mbps, las plataformas tecnológicas VDSL, HFC y FTTH y en el grupo de ≥ 100 Mbps las plataformas HFC y FTTH.

La cobertura de banda ancha a 100 Mbps alcanzó en 2020 al 88 % de la población y al 63 % en las zonas rurales. La cobertura de banda ancha con velocidad de 30 Mbps alcanza el 95 % de la población frente al 90 % de las zonas rurales. En la evolución se aprecia un importante crecimiento en los últimos años alentado por el **Plan 800**.

Gráfico 7.

Evolución de la cobertura total y rural de banda ancha de 30 y 100 Mbps en España (2014-2020). En porcentaje



Fuente: MINECO (2012-2021a).

2.2. 5G: una tecnología disruptiva

En España, los primeros pasos comerciales del 5G se dieron en junio de 2019, con el lanzamiento del servicio en 15 ciudades españolas. A mediados de 2020 se contaba con servicio comercial en 21 ciudades, con una cobertura del 50 % de las mismas, lo que suponía el 12,5 % de la cobertura nacional en la banda de 3,5 GHz, considerada entre las bandas preferentes de despliegue de 5G en Europa. Las ciudades en cuestión eran: Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla, Málaga, Zaragoza, Bilbao, Vitoria, San Sebastián, La Coruña, Vigo, Gijón, Pamplona, Logroño, Santander, Benidorm, Badajoz, Alicante, Murcia, Palma de Mallorca y Valladolid. En 2020, la totalidad de los operadores de redes móviles lanzaron su servicio 5G.

En 2018, se presentó el **Plan Nacional 5G 2018-2020** en el que se especificaban las medidas a desarrollar en torno a los siguientes ejes:

- Gestión y planificación del espectro radioeléctrico.
- Impulso a la tecnología 5G. Pilotos de red y servicios y actividades I+D+i. Experiencias piloto y casos de uso impulsados por la Administración.
- Aspectos regulatorios.
- Coordinación del plan y cooperación internacional.

A finales de 2020 se presentó la **Estrategia de Impulso de la Tecnología 5G**, desarrollando el segundo eje de la nueva agenda digital **España Digital 2025** para aprovechar la irrupción de esta nueva tecnología en la transformación económica. En el documento se recogen las medidas para impulsar el despliegue del 5G mediante actuaciones en tres ejes:

- **Un espectro radioeléctrico habilitado para los servicios 5G.** Asignación del espectro 5G y ordenación del espectro. En 2020, el espectro preparado para 5G era del 30 % y la meta es alcanzar el 100 % en 2025.
 - La banda de los 700 MHz fue licitada en julio de 2021.
 - Puesta a disposición de la banda de 26 GHz
 - Reordenación de la banda de 3,6-3,8 GHz que fue licitada en julio de 2018.
- **Apoyo efectivo al despliegue de redes y servicios 5G.** Incentivos al despliegue de redes 5G y fomento de la demanda y ecosistemas 5G. La meta es alcanzar una cobertura del 75 %, como la cobertura de un modo ininterrumpido en las principales carreteras, ferrocarriles y puntos singulares como aeropuertos. Apoyo del uso del 5G en proyectos tractores de digitalización.
- **Un marco regulatorio y administrativo dinamizador del despliegue de la tecnología 5G.** Reducción de las barreras administrativas para el impulso de la tecnología 5G y desarrollos legislativos para el impulso de la tecnología 5G (Ley de Ciberseguridad, trasposición de las medidas adoptadas en la Unión Europea) para crear un entorno seguro y confiable que fomente el despliegue y la adopción del 5G.

El 5G para el sector agroalimentario es clave ya que puede contribuir a reducir la brecha digital de los servicios de banda ancha entre zonas rurales y urbanas, utilizando estaciones base para dar cobertura a pequeños núcleos de población (Tabla 3). Está diseñado para IoT por número de dispositivos conectados que soporta y por la velocidad de transmisión, la latencia y el bajo consumo, lo que facilitará el despliegue de soluciones IoT.

España ya ha implementado una serie de pilotos que le permitirán explorar e identificar casos de uso y aplicaciones de la tecnología 5G en diferentes sectores. En 2020, la Unión Europea comunicó que España lideraba la lista de experiencias precomerciales 5G en su territorio. Contaba con 32 de las 245 experiencias piloto identificadas en la Unión Europea (MINECO, 2020). Entre esos pilotos que afectan al sector agroalimentario destacamos los que aparecen en la Tabla 4.

Tabla 3.
Aplicaciones y beneficios del 5G para el sector agroalimentario digital

Tendencias clave del sector	Ejemplos de casos de uso	ODS*	Transformación habilitada
<ul style="list-style-type: none"> Avances en procesos inteligentes debido a la evolución del internet de las cosas y la automatización La demanda de mayor transparencia sobre los procesos y productos agroalimentarios por parte de los consumidores 	<ul style="list-style-type: none"> Industria 4.0 Colaboración humano-robot 	7	<ul style="list-style-type: none"> La utilización de dispositivos conectados permite mejorar la productividad del sector. La venta de productos directamente al consumidor final a través de plataformas basadas en la ubicación permite incrementar la competitividad de las empresas del sector. El mantenimiento predictivo avanzado puede llevar un mejoramiento en la disponibilidad y desempeño de la maquinaria. Gestión digital del desempeño y procesos que conllevan una eficiencia operacional mejorada. Fábricas del futuro con manufactura automatizada inteligente.
	<ul style="list-style-type: none"> Mantenimiento predictivo Gemelos digitales 	8	
	<ul style="list-style-type: none"> Realidad aumentada Realidad virtual 	9	
	<ul style="list-style-type: none"> Drones para la supervisión de los terrenos 	2	
	<ul style="list-style-type: none"> Conducción autónoma de maquinaria en las labores de campo 	13	
		14	
		15	

* ODS: Objetivo de Desarrollo Sostenible.

Fuente: MINECO (2020).

Tabla 4.
Experiencias piloto 5G con aplicación en el sector agroalimentario en España

Proyecto	Empresas	Descripción
5G-LEAN: Emplazamiento rural con 0 emisiones	Cellnex, Nokia, Quobis	Persigue el despliegue de infraestructuras avanzadas de telecomunicaciones de banda ancha móvil, neutras y compartidas en zonas rurales extremas sin conectividad con objeto de promover su desarrollo económico sostenible y facilitar la transformación digital. Para ello se ha desarrollado un nuevo tipo de emplazamiento dotado con la última generación de elementos de telecomunicaciones, incluyendo conectividad 5G, radioenlaces de alta capacidad para evitar la instalación de fibra óptica y un servidor MEC para alojar servicios y aplicaciones de utilidad en el ámbito rural seleccionado. Combinado energía solar y eólica para garantizar un suministro energético constante y de cero emisiones.
Agricultura de precisión IoT	Orange, Ericsson, Qampo y Agroamb (Galicia); Orange	Piloto para optimizar el rendimiento de las explotaciones agrarias mediante la correlación de parámetros agronómicos y medioambientales aportados por sensores conectados mediante IoT, 5G y mapas satelitales. El caso de uso se localiza en un entorno rural con actividad productiva e industrial, predominantemente. El cuerpo de paquetes se ha implementado en una localización central (no distribuida). La propuesta consiste en desplegar nueva cobertura 5G en el área de Castro de Rey (Lugo) mediante la instalación de un nodo 5G (gNodeB), colocalizado con un nodo LTE (eNodeB), que presta servicio en esta área.
Smart Agriculture IoT	Orange, Huawei, Qampo, CATEC y Explotaciones Agrícolas Rajalu (Valencia)	Solución con drones y sensores que optimiza el regadío, analiza la calidad del agua empleada y monitoriza el estado del cultivo en tiempo real. Se lleva a cabo en varias parcelas de cítricos que cubren una totalidad de 150 ha situadas en la Vega Baja (Alicante). El manejo de la información captada por los sensores constituye un caso típico de tipo mMTC (mIoT) inherente a 5G, donde la latencia y la necesidad de súper banda ancha no son especialmente relevantes, siendo por tanto adecuada su implementación en una frecuencia de largo alcance y no excesivo ancho de banda (700 u 800 MHz) para cubrir una zona agrícola extensa.
Agricultura de precisión 5G	Vodafone, Cellnex y TROPS (Andalucía)	Máquina recolectora de fruta dotada de inteligencia artificial, capaz de decidir en tiempo real si debe o no recolectar el fruto, en función de si las piezas tienen el calibre y el punto de maduración óptimo. La tecnología 5G permite la consulta, análisis y transmisión de datos, ejecución de algoritmos sobre las imágenes captadas.

Fuente: Digitales (2021) y Red.es.

Red.es lleva a cabo las convocatorias para el desarrollo de proyectos y experiencias piloto de tecnología 5G impulsados por MINECO y cofinanciados con FEDER³. Los objetivos de estas iniciativas son:

- Experimentar los despliegues de red 5G, su uso, configuración y posibilidades de las diferentes bandas de frecuencia.
- Experimentar con las técnicas de gestión de red que permite la tecnología 5G como la virtualización de la red, el edge computing, la asignación dinámica de servicios de red o el *network slicing*, entre otras.
- Desarrollar casos de uso con la implicación de todos agentes, incluyendo usuarios.

La iniciativa está dotada de un presupuesto de 81 millones de euros y se han realizado dos convocatorias; en la primera se plantearon 40 casos de uso y 83 casos en la segunda.

3. Conectividad en Europa

Los objetivos de cobertura de banda ancha que figuran en la **Agenda Digital para Europa** son: 'Cobertura de banda ancha universal con velocidades de al menos 30 Mbps y el 50 % de los hogares deberían tener suscripciones de banda ancha de 100 Mbps o más para 2020'. Estos objetivos se ampliaron aún más en las medidas de **Conectividad para una Sociedad Gigabit Europea de 2016**, que incluye el objetivo 'Conectividad universal de al menos 100 Mbps, actualizable a velocidad Gigabit para 2025'.

El informe *Broadband Coverage in Europe 2019-Mapping progress towards the coverage objectives of the Digital Agenda*, diseñado para monitorear el progreso de los Estados miembros de la UE hacia sus objetivos específicos de cobertura de banda ancha. El informe cubre 31 países de Europa: UE-28, más Noruega, Islandia y Suiza, y analiza la disponibilidad de nueve tecnologías de banda ancha (DSL, VDSL, Vectorización VDSL2, cable módem DOCSIS 3.0, DOCSIS 3.1, FTTP, FWA, LTE y Satélite).

La situación la EU-28 a finales de junio de 2019 se recoge en los Gráficos 8 y 9, en los que se compara la cobertura total frente a la rural.

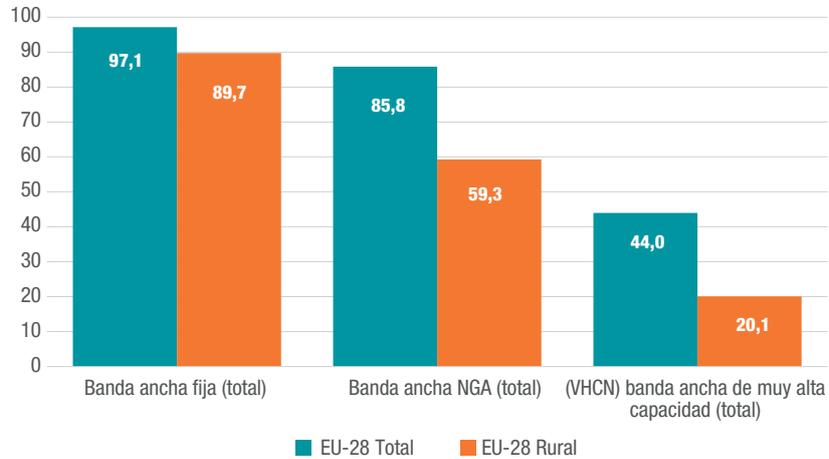
La cobertura de banda ancha tenía una diferencia de 7,4 puntos porcentuales entre la disponibilidad de servicios de banda ancha fija total (97,1 %) y rural (89,7 %). La brecha era mucho mayor en términos de tecnologías NGA (VDSL, VDSL2, Vectoring, DOCSIS 3.0, DOCSIS 3.1 y FTTP), ya que las redes NGA superaron el 59,3 % de los hogares rurales de la UE, un 26,6 % menos que la cobertura total de NGA. Pero a pesar de esas diferencias, la brecha entre la cobertura rural y nacional tanto para tecnologías fijas como NGA continúa reduciéndose debido a una mayor inversión en banda ancha rural.

•••••

³ MINECO en colaboración con FEDER apoya iniciativas para desarrollar proyectos y experiencias piloto basadas en tecnología 5G. Se encuentran enmarcadas en el Plan Nacional 5G y en el Plan Nacional de Territorios Inteligentes con el fin de que los beneficiarios experimenten con esta tecnología. Se han desarrollado 40 y 83 casos de usos con la primera y segunda convocatoria, respectivamente. La relación de proyectos puede ser consultada en: <https://red.es/es/iniciativas/tecnologia-5g>

Gráfico 8.

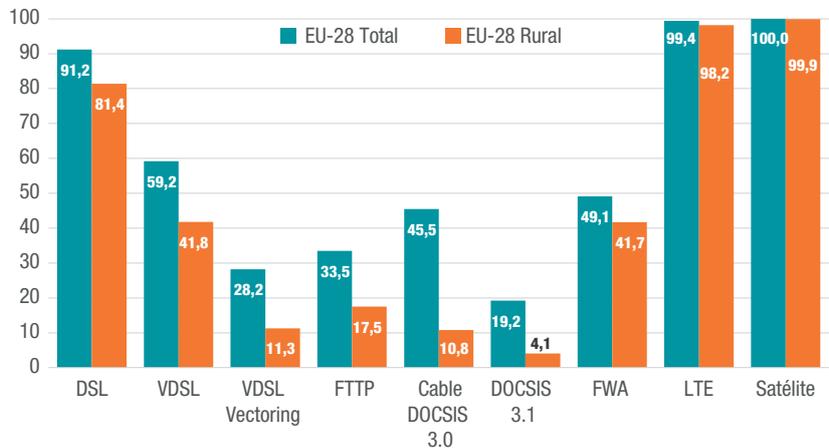
Variación de la cobertura a internet total en la UE-28 bajo distintos tipos de tecnologías (2018-2019). En porcentaje



Fuente: Comisión Europea (2020).

Gráfico 9.

Cobertura a internet total y en el ámbito rural de la UE-28 bajo distintos tipos de tecnologías combinadas (2019). En porcentaje



Fuente: Comisión Europea (2020).

La tecnología de acceso fijo más utilizada en Europa es la DSL, con el 91,2 % de los hogares. En las áreas rurales sigue siendo también la más utilizada, pero con un 81,4 %. Entre las tecnologías de Nueva generación la más utiliza es VDSL con el 59,2 % del total y un 41,80 % en las zonas rurales (Gráfico 9).

La disponibilidad de servicio FTTP ha seguido aumentando a buen ritmo, ha sido la tecnología de banda ancha de más rápido crecimiento durante segundo año consecutivo, alcanzado una cobertura total 33,5 % de los hogares y el 17,5 % de los hogares de las zonas rurales.

La cobertura de redes móviles LTE se sitúa en el 99,4 % de los hogares totales y del 98,2 % de los hogares de las zonas rurales. En el informe no se consideran la tecnología HSPA (3G) ya que ha alcanzado coberturas casi universales y se ha vuelto menos relevante frente al LTE.

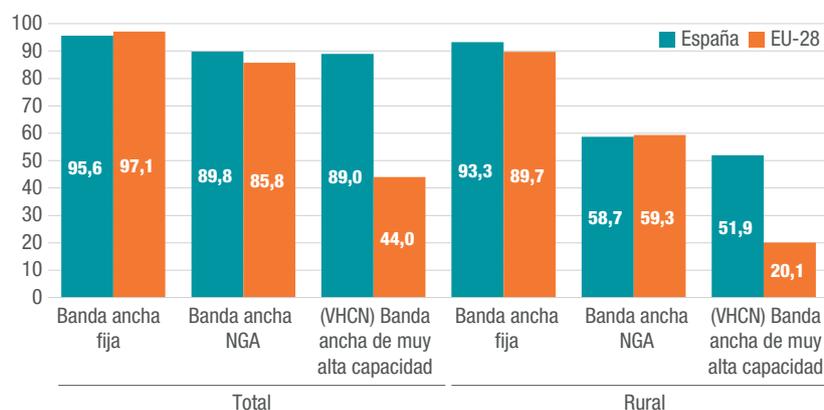
3.1. Conectividad la Unión Europea frente a España

En 2019, la conectividad de los hogares españoles a servicios de banda ancha era ligeramente inferior a la media de la UE-28, el 95,6 % frente al 97,0 %; no así en las áreas rurales en donde, en España, se alcanzó el 93,3 % frente al 89,7 % de la UE.

En Banda Ancha NGA también hubo incrementos respecto a los ejercicios anteriores manteniendo niveles muy parecidos en España y la UE. En las redes de banda ancha de muy alta capacidad (VHCN), es decir DOCSIS 3.1 y FTTP, España obtuvo mejores niveles de cobertura que la media de la UE tanto en el ámbito general como en el rural.

Gráfico 10.

Cobertura a internet total y en el ámbito rural de la UE-28 y España bajo distintos tipos de tecnologías combinadas (2019). En porcentaje



Fuente: MINECO (2021a) y Comisión Europea (2020).

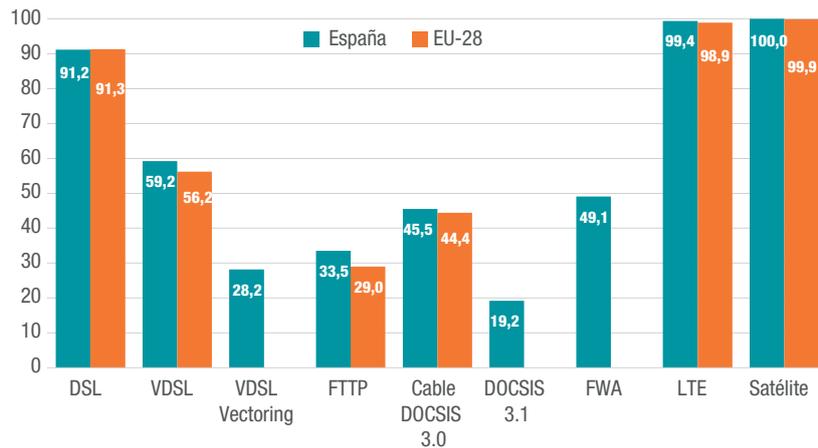
En cuanto a las tecnologías individuales, DSL con un 89,9 %, sigue siendo la tecnología más extendida en España, aunque con un comportamiento muy estable en el tiempo, lo mismo que VDSL con un 11,8 %. Este bajo nivel VDSL se debe a que los operadores se centran en la tecnología FTTP antes que actualizar las DSL a VDSL basadas en cobre (Gráfico 11).

En banda ancha NGA continua la ampliación de la infraestructura de red FTTP disponible en 80,4 % de los hogares (Gráfico 12). La cobertura de cable módem DOCSIS 3.0 se mantuvo estable sobre

el cual los operadores han desplegado el estándar DOCSIS 3.1. Los avances registrados en FTTP y DOCSIS 3.1 hacen de España uno de los líderes entre los países del estudio en términos de conectividad de velocidad gigabit.

Gráfico 11.

Cobertura a internet total en la UE-28 y España bajo distintos tipos de tecnologías individuales (2019). En porcentaje

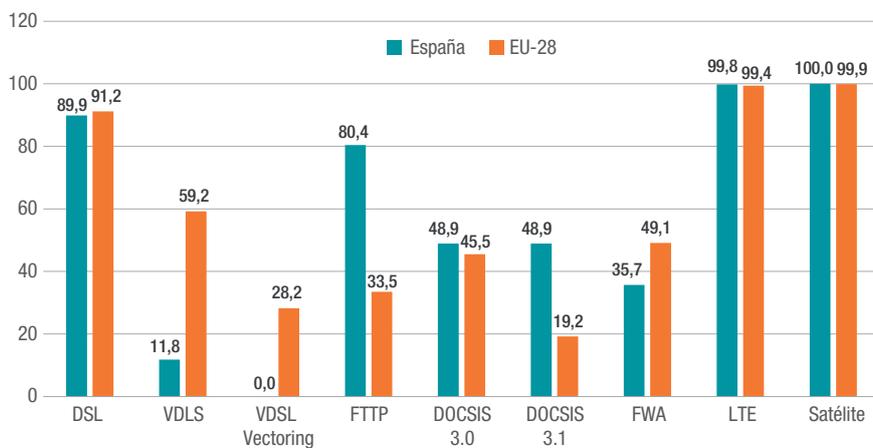


Fuente: MINECO (2021a) y Comisión Europea (2020).

En las zonas rurales la plataforma tecnológica DSL es la más extendida con un 84,1 % de los hogares, seguido por el acceso inalámbrico Fijo (FWA) con 62,9 % (Gráfico 12).

Gráfico 12.

Cobertura a internet en el ámbito rural de la UE-28 y España bajo distintos tipos de tecnologías individuales (2019). En porcentaje



Fuente: MINECO (2021a) y Comisión Europea (2020).

En cobertura NGA la tecnología que más creció fue FTTP con un 46,40 % de los hogares rurales cubiertos. Desde mediados de 2018 a junio 2019 se produjo un crecimiento 13,8 %. Este rápido crecimiento ha estado impulsado por el **Plan 300 x100** para el despliegue de fibra óptica en todos los núcleos de población de España, con especial incidencia en las pequeñas poblaciones y las zonas rurales.

La cobertura rural de VHCN se situó en 51,9 % uno de los niveles de cobertura más altos registrados en el informe de Comisión Europea.

La cobertura LTE en ámbito rural se situó en el 98,8 % de los hogares, manteniéndose por encima de la media de la UE del 98,2 %.

Acrónimos

3,5G	Versión intermedia entre la tercera generación de móviles (UMTS) y la cuarta (LTE)
3GPP	Del inglés <i>3rd Generation Partnership Project</i> , entidad encargada de establecer los estándares de telefonía móvil.
4G	Cuarta generación de móviles (LTE)
5G	Quinta generación de móviles
ADSL	del inglés <i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i> (línea de abonado digital asimétrica)
BW	Del inglés <i>Bandwidth</i> (ancho de banda)
CPE	Del inglés <i>Customer premises equipment</i> (equipo en casa del cliente)
DSLAM	Del inglés <i>Digital Subscriber Line Access Multiplexer</i> (multiplexor de línea de acceso de abonado digital)
DOCSIS	Del inglés <i>Data Over Cable Service Interface Specification</i> (especificación de interfaz para servicios de datos por cable)
FTTH	Del inglés <i>Fiber To The Home</i> (fibra hasta el hogar)
GATEWAY	Pasarela que comunica redes de distinto tipo o estructura. Por ejemplo, una LAN con una WAN
GSM	Del inglés <i>Global System for Mobile Communication</i> (sistema global de telecomunicaciones móviles)
HFC	Del inglés <i>Hybrid Fibre Coaxial</i> (híbrido de fibra y coaxial)

HSPA	Del inglés <i>High Speed Downlink Packet Access</i> , también denominada 3.5G
IoT	Del Inglés <i>Internet of Things</i>
LAN	Del inglés <i>Local Area Network</i> (red de ordenadores o dispositivos que cubre un área reducida)
LPWAN	Del inglés <i>Low Power Wide Area Network</i>
LTE	Del inglés <i>Long Term Evolution</i>
MAN	Del inglés <i>Metropolitan Area Network</i> (red de área metropolitana)
Mbps	Megabits por segundo
NGA, Banda ancha	Banda ancha de nueva generación
NFC	Del inglés <i>Near Field Communication</i> (comunicación de campo cercano)
PEBA-NGA	Programa de Extensión de la Banda Ancha de Nueva Generación
RFID	Del inglés <i>Radio Frequency IDentification</i>
UE	Del inglés <i>User Equipment</i> (equipo terminal de usuario)
UI	Unidad inmobiliaria
UMTS	Del inglés <i>Universal Mobile Telecommunications System</i> (servicio universal de telecomunicaciones móviles)
VDSL	Del inglés <i>Very high rate Digital Subscriber Line</i> (bucle de abonado digital de muy alta tasa de transferencia)
WAN	Del inglés <i>Wide Area Network</i> (red de área amplia, la propia internet)
Wifi	Del inglés <i>Wireless Fidelity</i>
WiMax	Del inglés <i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i> (interoperanilidad mundial para acceso por microondas)
WPAN	Del inglés <i>Wireless Personal Area Network</i> (una red inalámbrica de área personal)



Tecnologías de base para la digitalización en el sector agroalimentario

1. Introducción

Comenzábamos el capítulo de conectividad con una referencia a la cuarta revolución en la que se encuentra inmerso el sector agroalimentario. Esta revolución se asienta sobre el uso inteligente de los datos y las comunicaciones para lograr la optimización del sistema de producción y comercialización, mejorando la productividad, la eficiencia y la sostenibilidad de los procesos.

Una vez descritas las infraestructuras que permiten la conectividad, en este capítulo nos centraremos en las herramientas que, utilizando como materia prima los datos, nos van a permitir la transformación digital de la cadena de valor, siendo múltiples y variadas. Sin embargo, es conveniente precisar los términos que vamos a utilizar.

Digitalizar, de acuerdo con la RAE (2021), es el proceso de registrar datos en forma digital; también se aplica «a convertir, o codificar en números, datos o informaciones de carácter continuo, como una fotografía, un documento o un libro». También se extiende a la mejora de procesos, cambio de los modelos comerciales o reestructuración de los dominios de la vida social en torno a la comunicación digital y las infraestructuras de medios. Por ende, la transformación digital es un concepto relacionado con la implementación de tecnologías digitales (Steen, 2020).

Las tecnologías que permiten ese proceso de transformación digital son muy abundantes, tal y como recoge Steem (2020). No obstante, en su opinión, hay que diferenciar entre las tecnologías digitales de carácter general de aquellas que, realmente, provocan una transformación de nuestro entorno. Estas últimas, en su opinión, las tecnologías transformadoras han de cumplir tres condiciones:

- Aprovechar el crecimiento exponencial de la capacidad de computación, el almacenamiento y la conectividad.
- Basarse en datos.
- Tener una naturaleza transversal que permite un impacto en toda la sociedad.

En este capítulo vamos a profundizar en este ámbito. En un primer apartado describiremos el modelo en el que se basa el proceso de digitalización. En el segundo describiremos las tecnologías disponibles para la digitalización agroalimentaria y en los siguientes nos centraremos en las tecnologías que, en opinión de algunos autores, van a revolucionar la transformación digital en esta cadena de valor.

2. Bases para la digitalización

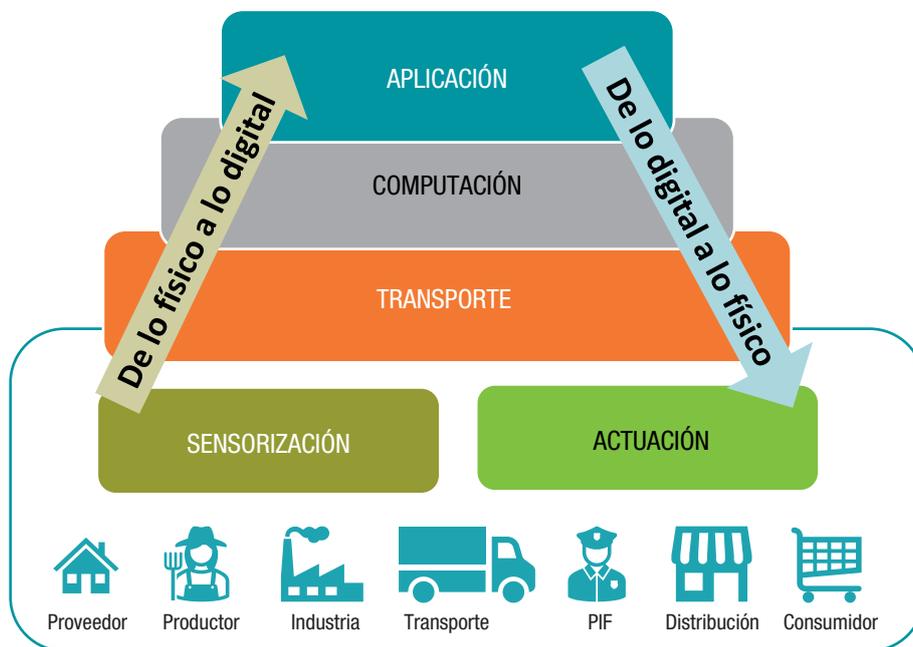
El proceso de digitalización requiere una interacción permanente entre el mundo físico, la realidad de una explotación agraria o de una industria alimentaria, con el mundo de las redes y aplicaciones informáticas. En ese proceso de continuo intercambio de información se crea el denominado sistema ciberfísico, tal y como describen Bacco *et al.* (2020). Ese sistema tiene la capacidad de interactuar y ampliar las capacidades del mundo físico a través de la computación, la comunicación y el control.

Los autores describen ese sistema en cuatro capas (Figura 1), que son las siguientes:

- *Capa de detección y actuación.* Es la capa situada en el ámbito de la realidad de las explotaciones, la industria o cualquier otro eslabón de la cadena agroalimentaria. En este nivel se produce la conversión de lo analógico a digital, y al revés. En este nivel intervienen dispositivos, sensores y actuadores.
- *Capa de transporte o red.* Está integrada por las comunicaciones de red de corto a largo alcance para intercambiar datos a través de interfaces cableadas e inalámbricas. En este nivel se transmiten datos capturados en el nivel inferior hacia las capas superiores y, a la vez, se envían comandos u órdenes a las inferiores.
- *Capa de computación.* En este nivel, se realizan las funcionalidades de almacenamiento, conservación y análisis de datos. En ese ámbito se encuentran los macrodatos, la nube y la informática de borde.
- *Capa de aplicación o inteligencia.* Es el ámbito en el que se aplican e implementan las funciones, los modelos o los algoritmos.

También describieron el conjunto de las tecnologías básicas que están asociadas a cada una de estas capas y que se recogen en la Tabla 1.

Figura 1.
Representación del sistema ciberfísico



Fuente: de Bacco *et al.* (2020).

Tabla 1.
Tecnologías asociadas a cada capa del sistema ciberfísico

Capa	Subcapa	Ejemplos
Sensorización y actuación	Sensorización	Visión, temperatura, humedad, medición de distancia o de potencia, detección de luz, vibración, voltaje, dirección, perimetración, imágenes hiperspectrales, etc.
	Actuación	Interruptores, válvulas, rociadores, brazo robótico, etc.
Transporte o comunicación	Corto alcance (varios metros)	Comunicación de campo cercano (NFC), identificación por radiofrecuencia (RFID), etc.
	Medio alcance (decenas a cientos de metros)	Wifi, ZigBee, Z-Wave, DSRC (onda)
	Largo alcance (km)	LoRa/LoRaWAN, Satélites, WiMAX, 3G/4G/5G (móviles), LTE-M/NB-IoT
Computación	Almacenamiento de datos	Edge (límite o cercano), nube, distribuido, centralizado, descentralizado, bases de datos tradicionales, modelos de libro de contabilidad distribuidos (DLT)
	Análisis de datos	Aproximaciones estadísticas, aproximaciones Mining, aproximaciones <i>machine learning</i>
	Computación	<i>Edge</i> (cerca), <i>cloud</i> (lejos), local, distribuida, centralizada, descentralizada
Aplicación	Funciones	Se recogen en el mapa del ecosistema de agrotech del apartado siguiente
	Interfaz de usuario	Interfaz gráfica del usuario; interfaz de gestos; rastreo de movimiento: pantalla/multipantalla/pantalla táctil, lenguaje/voz natural, interfaz web, línea de comando, interfaz de usuario móvil, interfaz de usuario tangible

Fuente: de Bacco *et al.* (2020).

3. Herramientas tecnológicas para la digitalización agroalimentaria

En el trabajo de recopilación de herramientas digitales utilizadas en la actualidad, los investigadores del proyecto europeo de H2020 (DESIRA) han realizado, en 2020, una encuesta a usuarios, interesados, investigadores o desarrolladores de herramientas. Se han obtenido 650 respuestas. Los autores han comunicado, en uno de sus entregables, que en Europa se han identificado 492 herramientas en el mercado, 101 en fase de prototipo y 73 en fase de prueba de concepto. No obstante, desconocemos, hoy en día, en qué consisten cada uno de esos desarrollos porque no han sido publicados. En la Tabla 2 se recoge alguna información complementaria en relación con la tipología de herramientas que se han identificado.

Tabla 2.
Herramientas digitales identificadas por el proyecto DESIRA. En porcentaje

Tecnologías	Valor
Basadas en la web	65,0
Analítica de datos	57,0
Recolección de datos locales	42,5
Recolección de datos remotos	31,0
Computación en nube/edge	22,5
Robótica y otros sistemas autónomos	16,0
Tecnologías basadas en inteligencia artificial	15,0
Redes sociales	14,8
Blockchain	7,5
Realidad virtual y realidad aumentada	3,0
Impresión 3D	0,4

Fuente: Proyecto DESIRA.

AgTech Insight (2021) es una firma global de implementación, consultoría y asesoría de *AgriFood Tech*. En 2020 elaboraron un mapa recogiendo el ecosistema *agrotech* 2020 a escala mundial. En él incluyen los nombres de las principales empresas que operan en los ámbitos siguientes: campo, *software*, equipamientos, cadena de valor y ganadería. En cada uno de estos ámbitos han clasificado a las empresas en diferentes grupos, que se engloban, dentro de la lista de categorías realizada por el Proyecto DESIRA donde se describen la lista de herramientas que pueden desarrollarse con la digitalización (Tabla 3).

Muchas de estas posibilidades ya se han ido desarrollando en la última década. Van Es y Woodard (2017) recopilaron, unos años antes, un conjunto de herramientas disponibles para la digitalización del sector agroalimentario. Incluyeron tanto tecnologías transversales como herramientas de análisis y decisión computacional, la nube, sensores, robots y herramientas de comunicación digital.

Tabla 3.
Herramientas con alto potencial de desarrollar mediante la digitalización

Ámbito	Aplicación	Función
Cultivos	Siembra	Siembra a dosis variable en función de las características del campo (técnicas de precisión)
	Atomización	Sistemas de aspersión inteligente aplicados a las malezas identificadas (técnicas de precisión)
	Fertilización/ fertirrigación	<i>Software</i> para la gestión del riego, mapeo de necesidades y fertilización automática según requerimientos (técnicas de precisión)
	Cosecha	Robots recolectores de frutas y hortalizas
	Control de plagas	Drones pulverizando pesticidas o usando esferas biodegradables para control biológico
	Agricultura vertical	Práctica innovadora en la que es habitual el uso de soluciones <i>software</i> para controlar los factores de crecimiento de las plantas en invernadero (refrigeración, control de la humedad, reutilización del calor, etc.)
	Vigilancia y monitorización	Recolección de datos y mapeo de campo (sanidad vegetal, cribado microbiológico, análisis de suelos, etc.) y estaciones meteorológicas (técnicas de precisión)
	Modelización	Producción de mapas para fenotipado de plantas, mapas de prescripción y estimación de enfermedades
	Bienestar y sanidad animal	Realizar un seguimiento de los animales y analizar su comportamiento para su salud y bienestar
	Monitorización de rebaños	Seguimiento de los movimientos del rebaño y sistemas de localización que eviten la dispersión del ganado
	Alimentación	Gestión automatizada del racionamiento preciso (cantidad y calidad nutricional)
	Ordeño	Sistemas semiautomáticos y automáticos para ordeñar animales en entornos de producción lechera
	Reproducción	Sistemas para aumentar las gestaciones y optimizar la productividad (seguimiento del celo, mejora genética)
	Estiércol	Dispositivos automáticos para el tratamiento y gestión de estiércol de ganado (protección ambiental y sostenibilidad)
Canales	<i>Software</i> para la gestión logística de canales (retirada, transporte y destrucción). Seguimiento de operaciones	
Maquinaria	Alquiler	Aplicaciones y servicios para el alquiler de maquinaria agrícola
	Operaciones autónomas	Tecnología de conducción autónoma del tractor y maquinaria agrícola
	Rendimiento	Mejorar el rendimiento laboral de las máquinas mediante el uso de mapas de prescripción
	Interoperabilidad	Integración de diferentes estándares de comunicación y arquitectura de servicios (<i>hardware</i> y <i>software</i>) para permitir el intercambio de datos y la interoperabilidad entre máquinas
	Mantenimiento	Aplicaciones para mantenimiento de máquinas (registros digitales)
Políticas	PAC	Todo lo relacionado con la PAC (controles, informes, noticias, calculadora de ayudas de la PAC y servicios de consultoría)
	Incentivos	Sistemas de información territorial que recopilan información sobre tierras agrícolas elegibles para subvenciones
Gestión	Toma decisiones	Herramientas de apoyo a la toma de decisiones, planificación empresarial, eficiencia, finanzas y seguimiento del mercado
Alimentación	Calidad	Medición de parámetros físicos, químicos y microbiológicos que pueden afectar la calidad de los productos semiacabados/terminados
	Vida útil	Sistemas para la estimación de la vida útil de productos alimenticios
	Seguridad alimentaria	Sistemas inteligentes de recopilación de datos para minimizar los riesgos a lo largo de la cadena de suministro (problemas microbiológicos, residuos de plaguicidas)
	Cadena de suministro	Sistemas para reunir a todas las partes interesadas, acortar la cadena de suministro de alimentos y simplificar la burocracia
	Trazabilidad	Sistemas para rastrear productos agrícolas y animales y/o animales desde la granja hasta el consumidor

Fuente: Proyecto DESIRA.

Además, indicaban que las actividades en el campo están habilitadas por tecnologías de geolocalización como los sistemas de posicionamiento global (GPS), sistemas de información geográfica, monitores de rendimiento, muestreo de suelos de precisión, detección espectroscópica proximal y remota, vehículos aéreos no tripulados, equipo autodirigido y guiado y tecnologías de tasa variable. Por otra parte, las tecnologías centradas en los animales incluyen la identificación por radiofrecuencia (chips RFID) y los sistemas automatizados (robóticos) de ordeño y alimentación, entre otros. La agricultura en entornos controlados (invernaderos, granjas interiores, etc.) también está habilitada cada vez más por tecnologías digitales como sensores y robots.

3.1. Tecnologías habilitadoras

3.1.1. *Big data* e inteligencia artificial

No existe una definición comúnmente aceptada del término *big data*, según Stubs (2016). A menudo se utiliza para describir una tendencia en la que la combinación de tecnología y análisis avanzados crea una nueva forma de procesar información que es más útil y oportuna. Es dinámico y, cuando se analiza, puede proporcionar una herramienta útil en un proceso de toma de decisiones. La mayoría ve el *big data* en la agricultura en el punto de uso final, donde los agricultores usan herramientas de precisión para crear potencialmente resultados positivos como mayores rendimientos, menores insumos o una mayor sostenibilidad.

Cuándo hablamos de *big data*

Chi *et al.* (2016) caracterizaron el *big data* de acuerdo con las siguientes 5 dimensiones, o las 5 V:

- Volumen (V1): el tamaño de los datos recopilados para el análisis.
- Velocidad (V2): la ventana de tiempo en la que los datos son útiles y relevantes. Por ejemplo, algunos datos deben analizarse en un tiempo razonable para lograr una tarea determinada, para identificar plagas o enfermedades animales.
- Variedad (V3): múltiples fuentes (imágenes, vídeos, datos de detección remotos y basados en el campo), multitemporales (recopilados en diferentes fechas/horas) y múltiples resoluciones (diferentes imágenes de resolución espacial), así como datos con diferentes formatos, de diversas fuentes y disciplinas, y de varios dominios de aplicación.
- Veracidad (V4): la calidad, confiabilidad y potencial de los datos, así como su precisión y confianza general.
- Valorización (V5): capacidad de difundir conocimiento, apreciación e innovación.

La FAO también ha publicado un informe sobre *big data* en agricultura (Sylvester, 2019). En él se comenta que muchas organizaciones e individuos también amplían la definición para incluir otras V:

- Volatilidad: es la tasa de cambio y la vida útil de los datos. Esto también determina el almacenamiento período de los datos.
- Validez: al igual que con la veracidad, la validez asegura que el flujo de datos sea correcto y preciso para el uso previsto en el momento deseado.
- Visualización: una imagen vale más que mil palabras, de ahí la conveniencia de utilizar gráficos e infografías para transmitir información a partir de patrones de datos complejos.
- Valor: obtener valor de los datos es el objetivo clave del análisis de *big data*. ¿Cómo transformar montañas de datos en conocimientos prácticos para respaldar su toma de decisiones?

Continuando con el informe de la FAO el contexto del contenido es muy importante. La combinación de datos de múltiples flujos de datos y dispositivos debe basarse en una comprensión definitiva del contexto de los datos. La introducción de redes 5G ofrece un enorme potencial para admitir redes de sensores masivas, acceso de banda ancha mejorado junto con redes móviles de baja latencia, confiables y ultra altas. Estos desarrollos están destinados a generar enormes cantidades de datos desde redes de transporte inteligentes hasta dispositivos portátiles personales.

Tipos de datos y retos

En el informe del Congreso americano *Stubs* (2016) diferencia dos grandes tipos de datos: públicos y privados. Los primeros incluyen los conjuntos de datos agrícolas públicos que se generan tradicionalmente mediante el uso de encuestas, muestras y análisis estadístico. Los segundos provienen de todas las fuentes de bases de datos generados en las explotaciones y en el resto de la cadena, por los productores o la industria, para mejorar sus actividades económicas.

En los datos públicos hace referencia a las agencias gubernamentales que los generan, a los beneficios que suponen, por su confiabilidad, asociada a las autoridades que hay detrás, su confidencialidad, por tratarse de datos que están sometidos a normas de uso, su acceso por igual a todos los operadores y por las inversiones a largo plazo necesarias para disponer de ellos. Los retos para este grupo de datos son hacerlos accesibles y utilizables, incluir nuevas fuentes de datos para poder generar más valor con ellos, y la necesidad de garantizar la seguridad en la conservación de esos datos asegurando el anonimato de las fuentes.

En los datos privados, el informe de *Stubs* diferencia en tres niveles:

1. Los recolectores de datos, que están asociados a las tecnologías físicas de captura, como los sensores, cámaras, drones, etc. Señalan el papel fundamental que tienen en esta captación de datos los fabricantes de maquinaria, las empresas de producción y aplicación de productos químicos, tanto fertilizantes como fitosanitarios, y los proveedores de tecnologías multiuso que, provenientes de otras actividades económicas, entran en la agricultura.

2. Los gestores de datos, entre los que incluye a las empresas que gestionan bancos de datos, así como a los productores que deciden acumular sus propios datos, a las empresas del grupo anterior que están acumulando esos datos y a las posibles cooperativas de datos que se puedan constituir.
3. Los usuarios o beneficiarios de los datos, se distinguen agricultores y ganaderos, industria alimentaria, distribución y organismo de defensa del medioambiente .

En el caso de los datos privados describen, como retos más importantes a abordar, la propiedad de los datos, la privacidad de los datos, la seguridad de su empleo, la comercialización de los datos y el precio de estos.

Otro reto importante que pone de manifiesto el informe de la FAO (2019) es la armonización de datos, ya que pueden estructurarse y desestructurarse en grandes volúmenes y pueden recopilarse de fuentes heterogéneas.

El Reglamento general de protección de datos de la Unión Europea (GDPR) describe regulaciones muy estrictas sobre lo que las organizaciones pueden hacer con conjuntos de datos individuales y amplía los derechos de las personas para controlar cómo se utilizan los datos sobre ellos. El GDPR propone los siguientes seis principios de procesamiento/protección de datos:

- *Legalidad, equidad y transparencia.* Esto enfatiza que las leyes de procesamiento de datos de la organización están en línea con los requisitos de GDPR y que las organizaciones tienen una razón válida para recopilar los datos y los interesados conocen bien el propósito de recopilar y procesar sus datos.
- *Limitación de la finalidad.* Amplía el primer principio a limitar el uso (recopilación, procesamiento y almacenamiento) de los datos personales para la finalidad específica para la que fueron recopilados.
- *Minimización de datos.* Establece claramente que las organizaciones deben recopilar solo la información necesaria (adecuada, relevante y limitada) que se necesita para lograr sus objetivos de procesamiento.
- *Exactitud.* Parte del principio de minimización de datos y enfatiza que los datos personales recopilados se mantienen actualizados y se toman las medidas adecuadas para garantizar la exactitud de los mismos. Los datos que no sean precisos o relevantes deben eliminarse.
- *Limitación de almacenamiento.* Estipula que los datos personales no deben conservarse más tiempo del necesario. Los datos que ya no son necesarios deben eliminarse porque, de lo contrario, entrarían en conflicto con el principio de precisión.
- *Integridad y confidencialidad.* Se estipula la protección de los datos personales en términos de seguridad y confidencialidad (contra el procesamiento ilícito, pérdida, daño, etc.) utilizando las medidas técnicas y organizativas adecuadas.

En el trabajo de FAO sobre *big data* se recoge un resumen de los beneficios y los retos del *big data* en agricultura, que se reproduce en la Figura 2. No obstante, el origen de la información contenida en esta imagen proviene de ITU (2019).

Figura 2.
Beneficios y retos del *big data* en la agricultura

Incrementando la accesibilidad a los datos	<ul style="list-style-type: none"> • Liberar valor significativo • Crear información transparente • Crear y almacenar datos transaccionales en forma digital • Reducir el tiempo para encontrar/acceder a los datos concretos 	Mejora de la productividad	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo en tiempo real y previsión de eventos que impactan en cualquier actividad u operación • Previsiones derivadas del análisis de los datos • Identificar información significativa que mejore la calidad de decisión o minice riesgos • Crear nuevos modelos de servicio basado en análisis de <i>big data</i> 	Reducción de costes	<ul style="list-style-type: none"> • Escalado horizontal del almacenamiento de datos • Identificar y reducir ineficiencias
Retos relacionados con el intercambio de datos			Beneficios de los ecosistemas de datos		
<p>Varias fuentes, tipos y formatos de datos: los proveedores de servicios de <i>big data</i> deben manejar diversos aspectos de los datos y las fuentes durante la recopilación, el almacenamiento y la integración.</p> <p><i>Schema-on-read</i>: por lo general, los macrodatos se almacenan en formato sin procesar, pero una vez que los datos se descubren y capturan, se transforman para cumplir con los requisitos de la aplicación.</p> <p>Desconocimiento de datos adecuados/uso ilimitado de datos: a veces, el cliente del servicio de <i>big data</i> no reconoce qué tipo de datos se necesitan realmente. Esto a menudo conduce a un uso ilimitado de datos en un ecosistema de <i>big data</i>.</p>			<p>Reducción de silos en el ecosistema a través de un mejor intercambio de datos de gran variedad entre las partes involucradas.</p> <p>Monetización de datos que permita a las partes obtener mejores ingresos a partir del alto volumen de datos intercambiados en el ecosistema.</p> <p>Apertura de los datos disponibles públicamente que contribuyen a la sociedad y las actividades económicas.</p> <p>Facilitación de la aparición de modelos de negocio nuevos y eficaces.</p> <p>Interconexión de datos valiosos, de gran variedad y de gran volumen que contribuyen más a la sociedad y las actividades económicas.</p>		

Fuente: FAO (2019).

Tecnologías de análisis de datos

Las herramientas de análisis de datos son variadas. Todas entran dentro del concepto de inteligencia artificial (IA) que, tal y como nos indica de forma muy general el IIC (Instituto de Ingeniería del Conocimiento) de la UAM, busca crear sistemas, o *software*, capaces de adquirir información de su entorno, convertirla en conocimiento y utilizarla para tomar decisiones o conseguir objetivos. La IA utiliza muchas técnicas de análisis de datos, entre la que destaca el *machine learning*, para conseguir el objetivo final.

El aprendizaje automático o *machine learning* (ML) es uno de los temas centrales de la IA y ayuda a las personas a trabajar de manera más creativa y eficiente. En ML, se utilizan métodos estadísticos y matemáticos para aprender de los conjuntos de datos para hacer predicciones/decisiones basadas en datos. Existen varios métodos diferentes para esto. Se puede hacer una distinción general mediante

enfoques simbólicos (las reglas inducidas donde los ejemplos están explícitamente representados) y subsimbólicos (redes neuronales artificiales: ANN).

El enfoque ML se clasifica en tres tareas principales: aprendizaje supervisado, no supervisado y por refuerzo.

- Los algoritmos usados bajo técnicas de aprendizaje supervisado son numerosos, particularmente árboles de decisión, redes bayesianas y análisis de regresión.
- El aprendizaje no supervisado, incluye algoritmos como redes neuronales artificiales (ANN), agrupación, algoritmo genético y aprendizaje profundo o *deep learning* (DL) y utiliza conjuntos de datos sin etiquetar sin conocimiento previo de las variables de entrada y salida.
- En el tipo reforzado se utilizan numerosos algoritmos para la adquisición de habilidades de la máquina, la navegación del robot y la toma de decisiones en tiempo real, como *Q-learning* y *Q-learning* profundo.

Kamilaris *et al.* (2017) hicieron una revisión del estado del *big data* en el sector agroalimentario. Han recopilado las fuentes de datos, así como las aplicaciones de los datos y las herramientas utilizadas para analizarlos. Lo han hecho sobre una base de 34 trabajos de análisis de datos agroalimentarios. De acuerdo con sus resultados la distribución de tecnologías es la siguiente: en 13 estudios se ha empleado *machine learning*, en 9 casos se utilizaban plataformas *cloud*, en 8 procesamiento de imágenes, en 7 modelización y simulación, en 6 análisis estadísticos, en 6 índices NDVI. No obstante, en la mayoría de las ocasiones se utilizan técnicas combinadas. En la Tabla 4 se han recogido algunas columnas de una tabla presentada por ellos en la que se muestra que las herramientas de análisis son diversas, combinadas y dependientes de los datos originarios.

Ben Ayed y Hanana (2021), también describieron, con ejemplos, diferentes utilidades de la inteligencia artificial, y las herramientas utilizadas en cada uno de los casos.

- La IA proporciona herramientas para mejorar eficiencia en el uso de los recursos, el control de calidad, ajustes automáticos de equipos para previsión meteorológica y enfermedades o identificación de plagas con 98 % de precisión. Por ejemplo, se han comparado métodos de aprendizaje automático (ML) y aprendizaje profundo (DL) para detectar e identificar la enfermedad de las hojas de las plantas de cítricos, comprobado que el DL dio el mejor resultado en términos de precisión de clasificación de enfermedades.
- Se ha utilizado para mejorar las prácticas de manejo de cultivos. Recogen el ejemplo del uso de modelos estadísticos paramétricos con redes neuronales profundas, que denominamos redes neuronales semiparamétricas (SNN), para mejorar el rendimiento de maíz del Medio Oeste de EEUU.

Tabla 4.
 Ejemplos de fuentes de datos y de tecnologías utilizadas para el análisis de *big data* en el sector agroalimentario

Área agroalimentaria	Fuentes de datos	Técnicas para el análisis de <i>big data</i>
Tiempo y cambio climático	Estaciones meteorológicas, encuestas, información histórica estática (datos meteorológicos y climáticos, datos de observación de la tierra), teledetección (satélites), datos geoespaciales.	Aprendizaje automático (máquinas vectoriales escalables), análisis estadístico, modelado, plataformas en la nube, análisis MapReduce, análisis geoespacial GIS.
Tierra	Teledetección (satélites, radar de apertura sintética, aviones), datos geoespaciales, conjuntos de datos históricos (caracterización de la tierra y fenología de cultivos, lluvia y temperatura, elevación, mapas de cobertura arbórea global), sensores de cámara (imágenes multispectrales), estaciones meteorológicas.	Aprendizaje automático (máquinas vectoriales escalables, agrupación de K-medias, bosques aleatorios, árboles extremadamente aleatorios), índices de vegetación NDVI, filtrado basado en Wavelet, procesamiento de imágenes, análisis estadístico, técnicas de coincidencia espacial, reflectancia y cálculos de temperatura superficial.
Investigación con animales	Información histórica sobre suelos y animales (características fisiológicas), sensores de suelo (actividad de pastoreo, consumo de alimento, peso, calor, producción de leche de vacas individuales, sonido), sensores de cámara (multispectrales y ópticos).	Aprendizaje automático (árboles de decisión, redes neuronales, máquinas vectoriales escalables).
Cultivos	Sensores terrestres (metabolitos), teledetección (satélite), conjuntos de datos históricos (uso de la tierra, información nacional de la tierra, datos estadísticos sobre rendimientos).	Aprendizaje automático (máquinas vectoriales escalables, agrupación en clústeres de K-medias), filtrado basado en Wavelet, transformada de Fourier, índices de vegetación NDVI.
Suelo	Sensores terrestres (salinidad, conductividad eléctrica, humedad), cámaras (ópticas), bases de datos históricas (p. ej., suelos AGRIC).	Aprendizaje automático (agrupación en clústeres de K-medias, algoritmo de agrupación en clúster más lejano primero).
Malas hierbas	Teledetección (avión, drones), información histórica (biblioteca digital de imágenes de plantas y malezas, datos específicos de las plantas).	Aprendizaje automático (redes neuronales, regresión logística), procesamiento de imágenes, índices de vegetación NDVI.
Disponibilidad y seguridad alimentaria	Encuestas, información histórica y bases de datos (p. ej., CIALCA, ENAR, conjuntos de datos de crecimiento de cultivos de arroz), datos geoespaciales GIS, datos estadísticos, teledetección (radar de apertura sintética).	Aprendizaje automático (redes neuronales), análisis estadístico, modelado, simulación, análisis basado en redes, análisis geoespacial GIS, procesamiento de imágenes.
La biodiversidad	Datos geoespaciales SIG, información histórica y bases de datos (base de datos SER de especies silvestres).	Estadísticas (redes de creencias bayesianas).
Toma de decisiones de los agricultores	Conjuntos de datos e información histórica estática (p. ej., datos de encuestas del gobierno de EEUU), sensores remotos (satélites, drones), estaciones meteorológicas, humanos como sensores, datos basados en la web, datos geoespaciales GIS, información de redes sociales.	Plataformas en la nube, servicios web, aplicaciones móviles, análisis estadístico, modelado, simulación, evaluación comparativa, almacenamiento de <i>big data</i> , <i>middleware</i> orientado a mensajes.
Seguros y finanzas para agricultores	Datos basados en la web, información histórica, estaciones meteorológicas, humanos como sensores (cultivos, rendimientos (datos de transacciones financieras)).	Plataformas en la nube, servicios web, aplicaciones móviles.
Sensores remotos	Teledetección (satélite, avión, drones), información histórica y conjuntos de datos (p. ej., conjuntos de datos de reflectancia de superficie MODIS, conjuntos de datos de imágenes de la superficie terrestre, conjuntos de datos meteorológicos de la OMM, alturas de reservorios derivadas de altimetría de radar, datos basados en la web, datos geoespaciales (imágenes, mapas)).	Plataformas en la nube, análisis estadístico, análisis geoespacial GIS, procesamiento de imágenes, índices de vegetación NDVI, sistemas de apoyo a la toma de decisiones, almacenamiento de <i>big data</i> , portales web y comunitarios, análisis MapReduce, aplicaciones móviles, visión por computadora, inteligencia artificial.

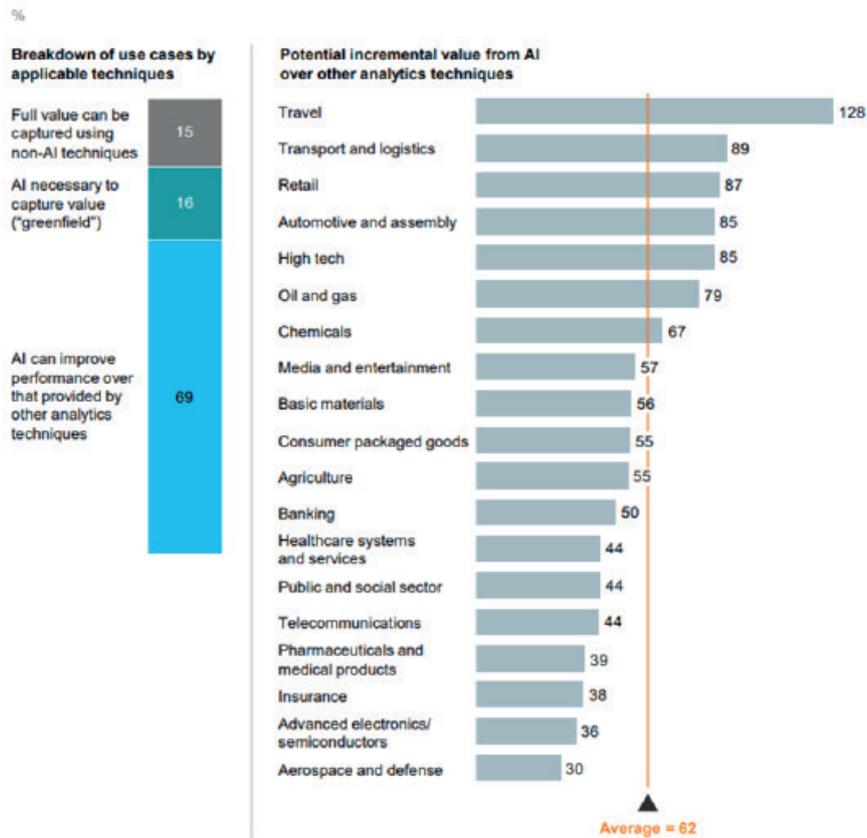
Fuente: Kamilaris *et al.* (2017).

- Facilita el análisis integrado de un conjunto de informaciones de diferentes orígenes, ahorrando el uso de recursos. Se describe un caso de recopilación de diferentes parámetros meteorológicos (temperatura, precipitación, velocidad del viento, presión, visibilidad del punto de rocío y humedad) del centro de datos climáticos de la India e implementaron un modelo de previsión del tiempo utilizando una red neuronal recurrente (RNN), con la técnica de memoria a largo-corto plazo (LSTM), concluyendo que la técnica utilizada dio resultados de alta precisión.
- Permite monitorizar la sanidad y el manejo del suelo, identificando deficiencias de nutrientes, ya sea mediante una imagen capturada con cámaras de reconocimiento o mediante herramientas basadas en el aprendizaje profundo para analizar los patrones de la flora. Ponen un ejemplo de cómo se clasificaron y predijeron los índices de fertilidad del suelo y los niveles de pH del suelo de una región de la India mediante el uso de la técnica *extreme learning machine* (ELM).
- Otra opción es la protección ambiental al disminuir el uso de pesticidas. Describe la combinación de la visión por computadora y aprendizaje automático, junto con una implementación de robótica, para aplicar fitosanitarios solo donde se detectan malas hierbas.
- También recoge ejemplos asociados con la reducción de los costes de formación de trabajadores, del tiempo necesario para resolver problemas, de la cantidad de errores humanos, reducir la intervención humana y ofrecer una toma de decisiones automatizada, buena, precisa y sólida en el momento adecuado con un bajo costo.

Chui *et al.* (2018) han comunicado la importancia de la inteligencia artificial en diferentes sectores económicos, analizando, a partir de casos específicos, la mejora de los resultados finales que se obtienen utilizando la Inteligencia artificial en relación con otros tipos de análisis. Podemos comprobar el elevado potencial que tienen este tipo de herramientas en el sector agroalimentario en el que se mejora en un 55 % (Gráfico 1).

En definitiva, la inteligencia artificial se está aplicando ya en el conjunto de la cadena agroalimentaria. No obstante, como señala Morota *et al.* (2020) refiriéndose a la aplicación de estas tecnologías en ganadería, es imprescindible una estrecha colaboración transdisciplinar entre campos que demuestran ser complementarios, como ciencias de la computación, economía, ingeniería, matemáticas y estadística, junto con la industria. Para ellos es indispensable aplicar de manera eficiente las tecnologías de vanguardia para analizar datos heterogéneos orientados a conseguir una mejora de los rendimientos.

Gráfico 1.
Influencia de la inteligencia artificial en diferentes campos



Fuente: Chui *et al.* (2018).

3.1.2. Computación en la nube y *edge computing*

Definición y ventajas e inconvenientes de la computación en la nube

La computación en la nube es una solución integral que ofrece la tecnología de la información como servicio. Es una solución informática basada en internet donde se proporcionan recursos compartidos. Las computadoras en la nube están configuradas para trabajar juntas y las diversas aplicaciones utilizan la potencia informática colectiva como si se estuvieran ejecutando en un solo sistema, tal y como señala Walker (2018).

La flexibilidad de la computación en la nube es una función de la asignación de recursos bajo demanda. Esto facilita el uso de los recursos acumulativos del sistema, eliminando la necesidad de asignar *hardware* específico a una tarea. Antes de la computación en la nube, los sitios web y las aplicaciones basadas en servidor se ejecutaban en un sistema específico. Con el advenimiento de la computación en la nube, los recursos se utilizan como una computadora virtual agregada. Esta

configuración combinada proporciona un entorno en el que las aplicaciones se ejecutan de forma independiente sin tener en cuenta ninguna configuración en particular.

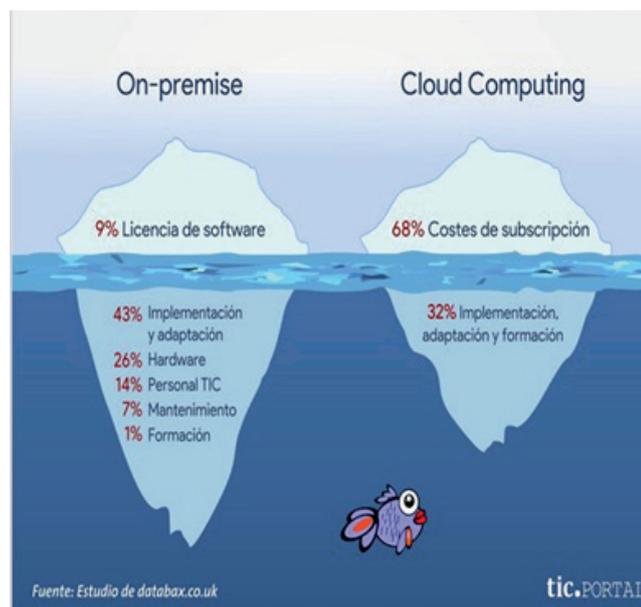
Las ventajas de la computación en la nube son:

- *Costo reducido.* La computación en la nube puede reducir tanto los gastos de capital como los costos operativos, porque los recursos solo se adquieren cuando se necesitan y solo se pagan cuando se usan. El producto básico que vende la computación en la nube es la potencia informática a un costo y gasto menor para el usuario.
- *Uso refinado del personal.* El uso de la computación en la nube libera al personal valioso, lo que le permite concentrarse en ofrecer valor en lugar de mantener el *hardware* y el *software*.
- *Escalabilidad robusta.* La computación en la nube permite el escalado inmediato, ya sea hacia arriba o hacia abajo, en cualquier momento sin un compromiso a largo plazo.

Las principales preocupaciones expresadas por quienes se trasladan a la nube son la seguridad y la privacidad. Las empresas que brindan servicios de computación en la nube lo saben y entienden que, sin una seguridad confiable, sus negocios colapsarán. Por lo tanto, la seguridad y la privacidad son altas prioridades para todas las entidades de computación en la nube.

Para la computación en la nube, el ancho de banda hacia y desde el proveedor de la nube es un cuello de botella. No obstante, hay soluciones tecnológicas disponibles. Hay otros factores a considerar como son los costes de las operaciones, el mantenimiento de las instalaciones físicas, el uso de energía eléctrica, los sistemas de refrigeración y, por supuesto, los factores de administración y gestión. Todo ello lo podemos resumir en la Figura 3 en la que se comparan las ventajas e inconvenientes de esta tecnología con la clásica.

Figura 3.
Comparativa de los costes informáticos ofrecidos por una implementación tradicional frente a los servicios en línea



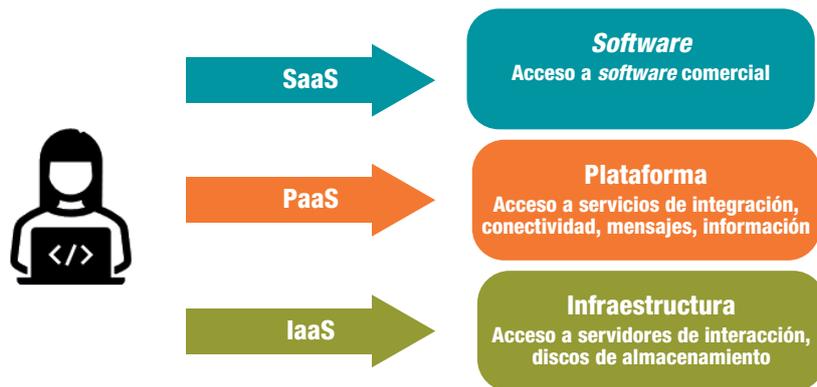
Fuente: TIC (2021).

Elementos de la computación en la nube

El modelo de computación en la nube se compone de un *front-end* y un *back-end*. Estos dos elementos están conectados a través de una red, en la mayoría de los casos internet. La parte delantera es el vehículo mediante el cual el usuario interactúa con el sistema; el *back-end* es la propia nube. El *front-end* está compuesto por una computadora cliente, o la red informática de una empresa, y las aplicaciones utilizadas para acceder a la nube. El *back-end* proporciona las aplicaciones, las computadoras, los servidores y el almacenamiento de datos que crea la nube de servicios.

La base del sistema es el monitor de máquina virtual (VMM). Una máquina virtual es un sistema operativo (SO) que es administrado por un programa de control subyacente, lo que le permite aparecer como múltiples sistemas operativos. En la computación en la nube, VMM permite a los usuarios monitorear y, por lo tanto, administrar aspectos del proceso, como el acceso a los datos, el almacenamiento de datos, el cifrado, el direccionamiento, la topología y el movimiento de la carga de trabajo. Sobre esta base la nube proporciona diferentes capas, como se muestra en la Figura 4.

Figura 4.
Capas de computación en la nube integradas en los componentes como servicios



Fuente: Walker (2018).

- La capa de infraestructura es la base de la nube. Consiste en los activos físicos: servidores, dispositivos de red, discos de almacenamiento, etc. En la infraestructura como servicio (IaaS).
- La capa intermedia es plataforma como servicio (PaaS) proporciona acceso a sistemas operativos y servicios asociados. Supone una forma de implementar aplicaciones en la nube utilizando lenguajes de programación y herramientas compatibles con el proveedor.
- La capa superior es la capa de aplicación, la capa que más se visualiza como la nube; es el *software* como servicio (SaaS).

Hay tres tipos de formaciones de nubes: públicas, disponibles para el público en general o para un gran grupo industrial y son propiedad de una organización que vende servicios en la nube y las

provee; privadas, que se gestionan dentro del *firewall* de su empresa y son administradas por su organización; e híbridas son una combinación de la nube pública y privada que utilizan servicios que se encuentran tanto en el espacio público como en el privado.

El *edge computing*: justificación y valores añadidos

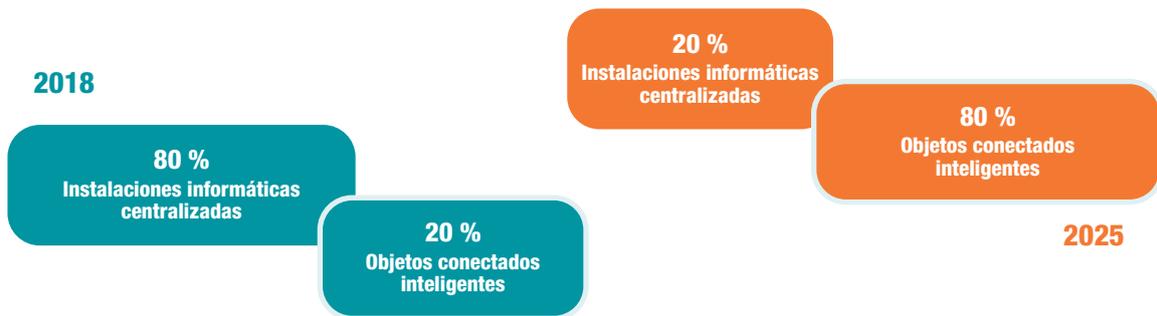
El *edge computing* surge a medida que la cadena de valor agroalimentaria, y especialmente la industria, se mueve en un entorno cada vez más digital y conectado, en el que se instalan una red de objetos físicos que utilizan sensores que capturan un mayor número de datos, que deben ser tratados y gestionados. Tradicionalmente, estos objetos conectados recolectan información y la envían a grandes centros de datos para su procesamiento. Pero enviar los datos para su procesamiento en el centro de datos requiere de un tiempo que en ocasiones no tenemos. Surge la necesidad de dar respuestas rápidas, una vez analizados esos datos, para tomar decisiones inmediatas que se van a aplicar en el propio proceso productivo. Es aquí donde entra el paradigma del *edge computing*, también llamado «computación de borde» o «cómputo de borde», como una forma de mejorar la agilidad y eficiencia.

En esencia, tal y como se explica Datos.gob.es (2021), el *edge computing* supone un nuevo enfoque para ejecutar ciertos servicios lo más cerca posible del origen de los datos. Es decir, los procesos computacionales se realizan en los propios dispositivos conectados o en servidores periféricos locales. Esto aporta una serie de ventajas:

- Menor tiempo de latencia y mayor velocidad
- Necesidad de un menor ancho de banda
- Reducción de riesgos de seguridad
- Facilita la escalabilidad
- Reducción de costes

La progresión del *edge computing* va ligada a la implantación del 5G, que va a permitir mejorar la conectividad. De esta forma, la Unión Europea estima que para el año 2025 el 80 % de los datos se traten a través de objetos inteligentes conectados, una situación inversa a la registrada en el año 2018 (Figura 5).

Figura 5.
Previsión de la evolución en el tratamiento de los datos en los próximos años



Fuente: Datos.gob.es (2021).

3.1.3. Blockchain (Distributed Ledger Technology)

Concepto y funcionamiento

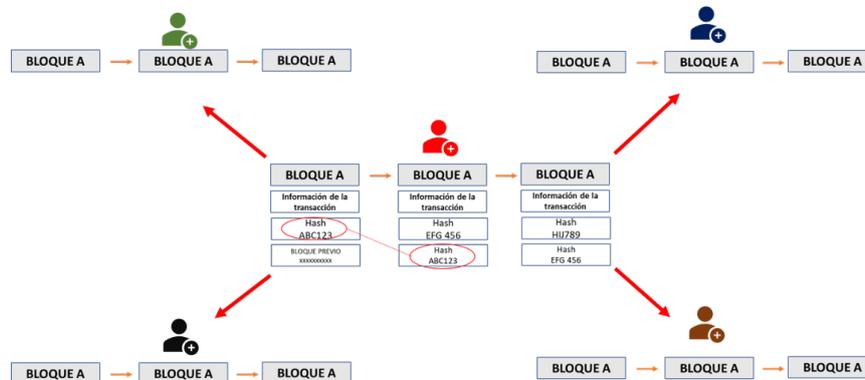
Un *blockchain* es un libro de transacciones digitales, mantenido por una red de múltiples ordenadores que no dependen de un tercero confiable. Los archivos de datos de transacciones individuales (bloques) se administran a través de plataformas de *software* específicas que permiten que los datos se transmitan, procesen, almacenen y representen en forma legible. Cada transacción se difunde a través de la red de máquinas que ejecutan el protocolo *blockchain* y todos los nodos de la computadora deben validarla. La característica clave de una cadena de bloques es su capacidad para mantener una visión coherente y un acuerdo entre los participantes.

La tecnología DLT (*Distributed Ledger technology*) o *blockchain* permite transacciones entre partes que son seguras y transparentes, pero que no requieren la presencia de un tercero regulador centralizado, como una institución financiera o un gobierno. La información de la transacción (como que, de quién, a quién y cantidad) se almacena en conjuntos de información llamados «bloques» que están encriptados, sellados en el tiempo y con una identificación de huella digital única (llamada *hash*). Se resume en la Figura 6.

Estos bloques se envían a los miembros participantes en la red (o nodos) que verifican la transacción (es decir, verifican todos los *hashes* en todos los bloques). Una vez que se verifica la información, el bloque se vincula al bloque anterior utilizando el *hash* en una cadena continua de regreso a la transacción original. La información dentro del bloque no se puede cambiar sin cambiar el *hash*, y cambiar el *hash* provocaría que el bloque ya no se vincule correctamente en la cadena.

Por lo tanto, la información transmitida no se puede cambiar sin invalidarla dentro de la cadena. La confianza en las transacciones no está negociada por intermediarios, como ha sido el caso hasta ahora, con instituciones o proveedores, sino que está incorporada algorítmicamente en la transacción misma.

Figura 6.
Bloques ligados vía *hash* y libros compartidos



Fuente: IFAD (2019).

Características de la DLT

De acuerdo con McBeath (2018), las principales características de la tecnología DLT son las siguientes:

- *Similar a un libro mayor financiero.* Una cadena de bloques es una lista ordenada de 'transacciones'. Las transacciones pueden ser intercambios financieros o el registro de un evento, como una entrega en una cadena de custodia, la finalización de una tarea o incluso una lectura de temperatura en un momento y lugar específicos. La secuencia de transacciones validadas se mantiene estrictamente.
- *Es compartido.* El libro mayor proporciona una visión común y única de la verdad. Es la verdad, incluso si se carece de confianza.
- *Es descentralizado:* el libro mayor es ampliamente replicado y verificado por un gran número de entidades diferentes. Esto hace que las cadenas de bloques sean robustas y resistentes a los ataques cibernéticos y fallos del sistema, ya que un atacante o una interrupción tendría que afectar a una gran parte de la red de entidades para comprometer la cadena de bloques.
- *Es inmutable.* El libro mayor es inmutable, lo que significa que las transacciones nunca pueden eliminarse ni modificarse. Si hay un error en una transacción, solo se puede corregir escribiendo una nueva transacción deshaciendo el error. Esto hace que las cadenas de bloques sean altamente auditables, ya que no puede haber una reescritura posterior al hecho sin un rastro claro de lo que sucedió.
- *Es seguro.* La tecnología criptográfica (por ejemplo, *hashes*, firmas digitales) se utiliza para garantizar que no se alteren los datos en la cadena de bloques. La forma en que se usan los hashes para vincular el contenido de cada bloque de transacciones desde/hasta los bloques anteriores y siguientes es cómo *blockchain* obtuvo su nombre.

Hay dos tipos de redes: públicas, como la que utilizan las criptomonedas; o privadas, en las que la entrada debe ser autorizada y los usuarios deben cumplir las normas establecidas. En la Tabla 5 se compara ambos tipos.

Tabla 5.
Comparación entre las redes públicas y las privadas de la tecnología DLT

	Pública	Privada o permitida
Participación	Cualquiera puede participar	Solo por invitación, se puede vetar a alguien por una autoridad central, por consenso o por otros criterios
Control de acceso	Cualquiera puede leer y puede escribir, sometido a validación	El acceso a lectura y escritura puede estar restringido para proteger la privacidad de los datos
Identidad	Se puede operar con seudónimos	Los participantes se identifican, normalmente de manera clara
Consenso	Requiere de nodos de validación	Puede hacerlo un conjunto más pequeño de nodos, como partes interesadas y/o titulares de conocimientos
Código de control	Cualquiera puede hacer cambios, pero una mayoría de nodos decide lo que mantener	Puede ser centralizado o controlado por un consorcio

Fuente: McBeath (2018).

Los valores añadidos del *blockchain* en la cadena alimentaria

La implantación de un sistema de *blockchain* en el sector agroalimentario aporta muchas ventajas (Kramer *et al.* 2021; FAO, 2019; Fortuna y Riso, 2019):

- Permite desarrollar un sistema de trazabilidad inmediata, tanto prospectiva como retrospectiva.
- El sistema no se puede manipular, una vez que la información se sube a la cadena de bloques, por lo que dota a la cadena de transparencia, integridad y autenticidad. El cliente final, ya sea consumidor o distribuidor, cuenta con garantías sobre toda la información que queramos incorporar: origen, fechas de producción o de envasado, calidad, diferenciación, etc.
- Asociada al internet de las cosas y con la incorporación de etiquetas inteligentes, permite que la información de cada uno de los eslabones de la cadena suba a la cadena de bloques de manera automatizada, lo que reduce los costes.
- Puede incorporar más informaciones: temperaturas de transporte, periodo de validez, tiempos de transporte, controles sobre logística, etc.
- Pueden desarrollarse contratos inteligentes asociados a cada transición. Por ejemplo, cuando se produce una transacción, automáticamente se podría generar una orden de transferencia, sin intervención de personas.
- El consumidor final puede reportar su opinión al origen.
- El sistema puede ser auditado o certificado.

Para qué implantar el *blockchain* en la cadena alimentaria

Doughty (2020) ha realizado una prueba de funcionamiento de un *blockchain* en su cadena de valor de la carne de bovino. Las prioridades para poner en marcha el proyecto eran calidad, transparencia, regulación, seguridad alimentaria y autenticidad. A continuación, se recogen las razones que se consideraron a la hora de iniciar el proyecto, y que explican para qué sirve esta tecnología:

- Cadena de suministro fragmentada. El producto es perecedero e impredecible. Los compradores, trabajan con muchos supuestos para obtener el producto cuando lo necesitan.
- Falta de transparencia a lo largo de la cadena de suministro. La transparencia B2B es tan importante como la B2C.
- Falta de diálogo entre la cadena de suministro.
- Falta de visibilidad del consumidor. Actualmente, hay pocas o ninguna forma para que los consumidores reporten a la cadena de suministro.
- El cumplimiento y la transparencia de la trazabilidad de la seguridad alimentaria es un requisito para el proyecto.

3.1.4. Realidad aumentada

Definición y aplicaciones

La realidad aumentada (RA) es un término que se utiliza para identificar un conjunto de tecnologías que permiten «aumentar» la visión del entorno del mundo real mediante elementos u objetos generados por computadora. Más específicamente, describe una realidad mediada, donde la percepción visual del entorno físico del mundo real se mejora mediante dispositivos informáticos (Botani y Vignali, 2019).

Cuando se define la RA se hace una referencia inmediata a la realidad virtual (RV), es decir, un conjunto de tecnologías que permiten al usuario interactuar con una computadora en un entorno simulado (ya sea una simulación del mundo real o un mundo imaginario). La RA no tiene como objetivo reemplazar el mundo real con uno simulado y, en consecuencia, a menudo se clasifica como un sistema de realidad mixta (MR). MR es una mezcla de realidad y realidad virtual, que abarca tanto la realidad aumentada como la virtualidad aumentada, a través de tecnología inmersiva.

En cuanto a las tecnologías Saboia *et al.* (2018) repasan la evolución de las de la RA, diferenciando tres etapas:

- La etapa inicial se desarrolla por entusiastas que crean artefactos primitivos con el propósito de explorar las capacidades básicas de los sistemas. Aparecen los prototipos *Head-Mounted Display* (HDM) que combinan la vista del mundo real con objetos virtuales como una capa de

información adicional. La tecnología utilizada era tan incipiente y costosa que no tuvo ninguna aplicación.

- La segunda fase está enfocada a los profesionales, donde la tecnología se utiliza en el entorno laboral para realizar una tarea específica. Aquí, la dificultad técnica es una forma de apreciación por parte de especialistas. Los expertos resuelven problemas técnicos, sin importarles el tiempo consumido o la forma en la que el usuario se enfrenta a la tecnología.
- La tercera fase involucra a los consumidores, y la atención no es la tecnología en sí misma, sino lo que permite. Por tanto, los procedimientos de aprendizaje deben ser rápidos y sencillos. En este caso, la experiencia, la preocupación por temas como utilidad, usabilidad, descubrimiento, accesibilidad, valoración del usuario de un sistema y cuestiones de aceptación social, son elementos esenciales.

Botani y Vignali (2019) han hecho una revisión de la evolución de la tecnología y de los casos en los que esta ha sido aplicada en la industria. Han mostrado que esta herramienta se ha desarrollado con mucha frecuencia en el ámbito de las cadenas de montaje, en tareas de mantenimiento y en actividades de formación. Otros campos en los que también se ha aplicado es en el diseño de productos, en actividades en las que se requiere seguridad de los operarios y en asistencia remota. También aparecen utilidades en control de calidad, en inspección, etc. Son, por tanto, un conjunto de actividades que podrían aplicarse en la cadena de valor agroalimentaria.

Jagtap *et al.* (2021) han analizado las posibles aplicaciones en el ámbito de la logística agroalimentaria. Las áreas en las que consideran que esta nueva tecnología sería de aplicación se relacionan a continuación:

- *Seguridad de los trabajadores.* Las industrias alimentarias suelen utilizar maquinaria pesada para determinadas operaciones, por ejemplo, envasar y almacenar. La RA puede mantener informado al operador sobre el estado de la maquinaria y resaltar cualquier riesgo potencial
- *Mantenimiento.* La RA puede ayudar al mantenimiento de equipos industriales, así como a la reparación: puede mostrar imágenes, videos relevantes o resaltar puntos específicos de la maquinaria, así como dar instrucciones secuenciales detalladas, para apoyar el mantenimiento de la maquinaria.
- *Capacitación.* Al igual que con el mantenimiento, la RA puede mostrar imágenes y videos, y dar instrucciones secuenciales detalladas, para capacitar al personal en el uso de una máquina o un protocolo específico.
- *Control de calidad.* La RA puede facilitar la identificación de errores, productos dañados o productos por debajo de las especificaciones de calidad. Por ejemplo, un envase dañado o una información impresa que falta en una etiqueta se pueden identificar más fácilmente.
- *Diseño y maquetación.* Cuando se diseña y se va a configurar una nueva operación logística, la RA puede ayudar a visualizar cómo se colocará la maquinaria en la planta industrial o

almacén, y cómo se producirá el flujo de materiales y el uso de la máquina. Esto ayuda a identificar errores tempranos y optimizar las operaciones logísticas.

- *Comunicación.* La RA puede poner en contacto a diferentes miembros del equipo, de la misma o diferentes plantas industriales. La comunicación en este caso se facilita mostrando la imagen del miembro del equipo en comunicación, quien puede dar instrucciones más claras sobre cómo proceder. De manera similar, puede facilitar la lluvia de ideas y las reuniones de discusión entre los miembros del equipo para optimizar las operaciones.
- *Localización.* La RA puede ayudar a identificar dónde se encuentra un producto específico que se va a recuperar en el almacén y dar instrucciones al personal para encontrarlo. Asimismo, también se pueden identificar las áreas del almacén donde se dispone de ubicaciones libres para almacenar los productos para agilizar las operaciones logísticas. La RA también puede mostrar dónde se encuentran las diferentes herramientas, maquinaria o áreas de la planta industrial.
- *Traducción de idiomas.* En las cadenas mundiales de suministro de alimentos, las industrias alimentarias reciben ingredientes de una amplia gama de países. Potencialmente, sus etiquetas pueden estar en el idioma local de origen, que el personal puede no ser capaz de entender. La RA puede proporcionar traducciones de las etiquetas de los productos escaneando las etiquetas en el idioma original y proporcionando la traducción automática.
- *Caducidad de productos.* Si se almacenan las fechas de vencimiento de cada producto, la RA puede identificar fácilmente los productos que van a vencer en breve y, por lo tanto, tienen prioridad para venderse.

Crofton *et al.* (2019) han realizado un análisis prospectivo de las posibilidades de utilizar estas herramientas en el ámbito de la ciencia de la percepción sensorial, y especialmente su utilización para predecir el éxito de los productos alimenticios en el mercado. En su opinión, los avances tecnológicos en la realidad virtual y la realidad aumentada han desbloqueado el potencial de nuevos sistemas inmersivos e interactivos que podrían aplicarse en la industria alimentaria (pruebas de comportamiento de consumidores, biometría, estructura y textura de los alimentos y aumento de la percepción sensorial).

También se ha hecho un análisis para identificar las relaciones entre la RA y la nutrición (Saboia *et al.*, 2019). Concluyen que estas dos áreas científicas están poco relacionadas. Tan solo se han sondeado los aspectos sensoriales ya comentados y los relacionados con el reconocimiento virtual de alimentos. Las áreas en las que se han focalizado el estudio han sido la educación, la compra y el comportamiento en el consumo.

3.2. Herramientas para la digitalización

3.2.1. Social media y tecnologías basadas en la red

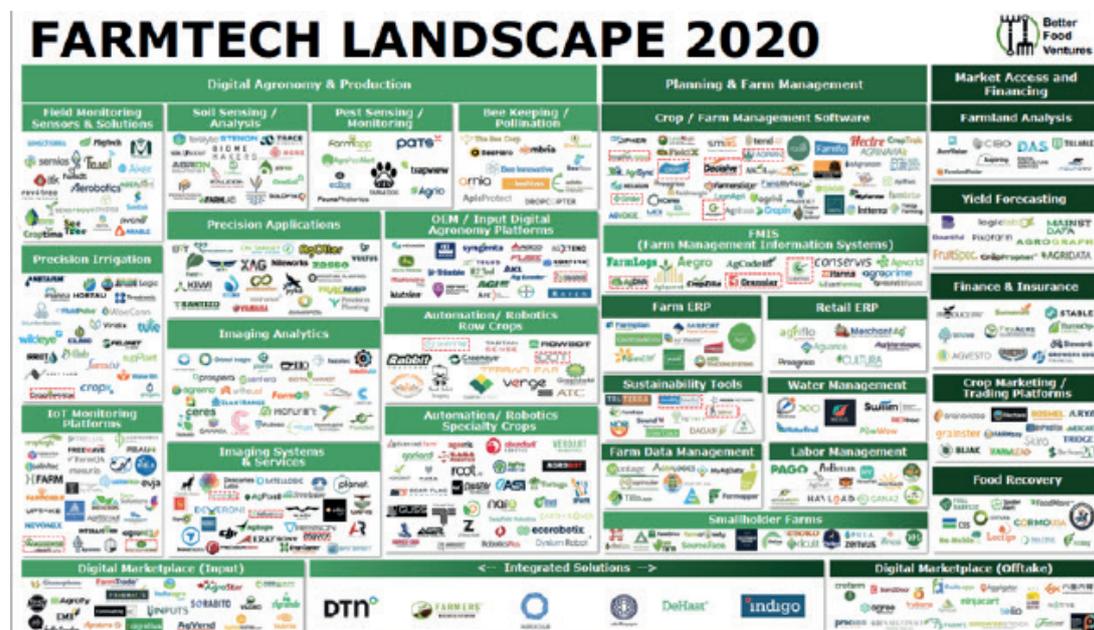
Incluimos en este grupo de tecnología todas las herramientas basadas en la web o herramientas sociales para el acceso a servicios *online*, a los mercados, a la información y al intercambio de conocimiento, así como para la interacción.

Social media

El término *social media* o red social se usa generalmente para describir una variedad de plataformas en línea, incluidos blogs, redes comerciales, proyectos colaborativos, redes sociales empresariales (SN), foros, microblogs, intercambio de fotos, revisión de productos, marcadores sociales, juegos sociales, compartir videos y mundos virtuales. Dado este amplio espectro de plataformas de *social media*, sus aplicaciones son bastante diversas y no se limitan a compartir instantáneas de vacaciones o publicidad y promoción (Aichner *et al.*, 2021).

Muchas de estas tecnologías ya están llegando al mercado, como lo recoge el abanico de empresas que se ha publicado por *The Better Food Ventures* (2020) y que se presenta en la Figura 7.

Figura 7.
Plataformas sociales agrícolas



Fuente: *The Better Food Ventures* (2020).

Los autores señalan que, con frecuencia se piensa en estas plataformas para el contacto con amigos o la interacción con otras personas, la interacción profesional o la búsqueda de trabajo. Sin embargo, se estima que el 100 % de las grandes empresas está usando algún tipo de plataforma de *social media* para informar a sus clientes, recoger información, recibir opiniones de productos, suministrar servicios postventa o consultoría, así como promocionar sus productos o servicios.

La razón por la que las empresas consideran esta herramienta tan valiosa es el hecho de que estas herramientas facilitan la comunicación bidireccional entre la empresa y el cliente. Los clientes están interesados en comunicarse fácil y rápidamente con la empresa. Desde una perspectiva comercial, la empresa quiere asegurarse de que los clientes reciban la información correcta de manera oportuna, vinculando al cliente más cerca de la marca y, simultáneamente, controlando el flujo de información.

Las redes sociales van, incluso, más allá para las empresas. Se han desarrollado para posibilitar que las empresas mejoren sus operaciones internas y se comuniquen de nuevas formas con los clientes, otras empresas y proveedores. Al mismo tiempo, las empresas pueden involucrar activamente a los clientes, alentándolos a convertirse en defensores de sus marcas. Esto es ciertamente importante, ya que los usuarios pueden crear comunidades de clientes en línea, que potencialmente agregan valor a la marca más allá del aumento de las ventas.

Herramientas web

Una herramienta basada en navegador (o basada en web) es un *software* que se ejecuta en su navegador web. También puede denominarse aplicación o programa. Las aplicaciones basadas en navegador solo requieren una conexión a internet y un navegador web para funcionar. La mayoría de las aplicaciones basadas en web se instalan y ejecutan en un servidor remoto al que se accede con un navegador web.

Uno de los principales beneficios de las aplicaciones basadas en navegador es que no requieren que compre un elemento de *software* que luego haya que instalar localmente en el ordenador, como es el caso de las aplicaciones de escritorio; utilizándose menos espacio de almacenamiento.

Las aplicaciones basadas en la web también se mantienen actualizadas. Cuando accede a una aplicación basada en web, el *software* se ejecuta de forma remota, por lo que las actualizaciones no requieren que el usuario busque parches y correcciones de errores que tendría que descargar e instalar manualmente.

De acuerdo con Technopedia (2021) hay mucha confusión creada por el uso de términos como basado en la web, basado en internet y basado en la nube cuando se hace referencia a las aplicaciones. Las aplicaciones basadas en web abarcan realmente todas las aplicaciones que se comunican con el usuario a través de http. Esto incluye aplicaciones ligeras como juegos *Flash*, calculadoras en línea, calendarios, etc., así como aplicaciones más intensivas como procesadores de texto basados en web y aplicaciones de hojas de cálculo.

3.2.2. Sensores locales y remotos

Definición y tipologías

Los sensores son instrumentos capaces de visibilizar una magnitud física. Un sensor adquiere un parámetro físico y lo convierte en una señal adecuada para su procesamiento (por ejemplo, óptica, eléctrica, mecánica). Son capaces de detectar diferentes fenómenos a través de diferentes estímulos.

Son la base para conocer lo que está ocurriendo en el entorno de un cultivo, una granja o una industria agroalimentaria. Son las herramientas para obtener información de lo que ocurre en la realidad. Hay de diversos tipos y tecnologías y evolucionan con enorme rapidez. A continuación se presenta un listado con los tipos de sensores que fueron identificados por Moshou (2017), bajo la premisa de responder a las necesidades de los productores del sector agroalimentario:

- Sensores ópticos: hiperespectral, multiespectral, fluorescencia y detección térmica.
- Sensores para la determinación del estado sanitario de los cultivos.
- Sensores para fenotipado de cultivos, germinación, emergencia y determinación de las diferentes etapas de crecimiento de los cultivos.
- Sensores para detección de microorganismos y manejo de plagas.
- Sensores aéreos (UAV).
- Sistemas multisensores, fusión de sensores.
- Detección de suelo no destructiva.
- Estimación y predicción de rendimiento.
- Detección e identificación de cultivos y malezas.
- Sensores para detección de frutas.
- Sensores para la determinación de la calidad de la fruta.
- Sensores para el control de malezas.
- Detección de componentes volátiles y narices y lenguas electrónicas.
- Sensores para posicionamiento, navegación y detección de obstáculos.
- Redes de sensores en agricultura, sensores portátiles e internet de las cosas.
- Sensores de baja energía, desechables y de recolección de energía en agricultura.

Con independencia de su diversidad, Casanovas y Escolà (2017) señalaban que la utilidad de los sensores viene determinada por su capacidad para monitorizar la realidad. Clasifican las técnicas de monitoreo en remotas y de proximidad, dependiendo de la distancia que existe entre el sensor y su objetivo. Técnicamente, se considera como monitoreo por sensor remoto, o a distancia, cualquier medición obtenida sin el contacto con el elemento que se está midiendo. Sin embargo, hay acuerdo en que las técnicas de monitoreo por sensores de proximidad son las que se utilizan en las mediciones en el suelo. Por lo tanto, se consideran como remotas todas las técnicas de medición mediante drones, aeronaves o satélites.

Los autores analizaron las ventajas e inconvenientes de cada uno de los grupos. Se identifican en la Tabla 6.

Tabla 6.
Ventajas e inconvenientes de las técnicas de monitoreo por sensores

De proximidad	Remoto
<ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Normalmente muy alta resolución espacial <input checked="" type="checkbox"/> Tecnologías más simples <input checked="" type="checkbox"/> Posibilidad de usar varios sensores al mismo tiempo <input checked="" type="checkbox"/> Capacidades operativas derivadas de la medición continua manteniendo las condiciones ambientales 	<ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> No hay contacto con el cultivo o el suelo <input checked="" type="checkbox"/> Mediciones a gran escala (terreno, campo, región) <input checked="" type="checkbox"/> Mantenimiento de mediciones instantáneas (disparo único)
<ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Necesidad de ir al terreno <input checked="" type="checkbox"/> Mediciones a pequeña escala <input checked="" type="checkbox"/> Mayor tiempo de adquisición (teniendo como resultado diferentes condiciones ambientales) 	<ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Normalmente menor resolución espacial <input checked="" type="checkbox"/> Técnicas normalmente más costosas <input checked="" type="checkbox"/> Más dependiente de la meteorología <input checked="" type="checkbox"/> Necesita correcciones atmosféricas cuando utiliza satélites
<ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Expresa una ventaja <input checked="" type="checkbox"/> Expresa un inconveniente 	

Fuente: Casanovas y Escolà (2017).

La utilización de los sensores en la agricultura

Las tecnologías de detección proporcionan datos procesables según sea necesario para optimizar el rendimiento de los cultivos, para minimizar los efectos ambientales o para otros objetivos específicos. A continuación, se recogen algunas de las aplicaciones de estos sensores en agricultura:

- Los sistemas de monitoreo de rendimiento se colocan en vehículos de recolección de cultivos, como cosechadoras. Proporcionan un rendimiento de peso del cultivo por tiempo, distancia o ubicación GPS medidos y registrados con una precisión de 30 cm.
- El mapeo de rendimiento utiliza datos de coordenadas espaciales de sensores GPS montados en equipos de recolección. Los datos de seguimiento del rendimiento se combinan con las coordenadas para crear mapas de rendimiento.
- Las herramientas de aplicación de fertilizantes de dosis variable utilizan mapas de rendimiento y estudios ópticos, valorando el estado de vigor y sanidad de las plantas, a través de

determinaciones de coloración, para determinar las cantidades de fertilizantes, granulares, líquidos y gaseosos, a aplicar en cada área de la parcela bajo control. Los controladores de velocidad variable se pueden activar manual o automáticamente mediante un ordenador a bordo guiado por una ubicación GPS real.

- El mapeado de malas hierbas interpreta imágenes capturadas por cámaras para generar mapas marcando la ubicación con un receptor GPS y un registrador de datos. El mapa de malas hierbas se puede superponer, luego, con mapas de rendimiento, mapas de fertilizantes y mapas de pulverización. A medida que mejoren los sistemas de reconocimiento visual se desarrollarán procesos automatizados montados en el equipo de trabajo.
- Los controladores de pulverización variable encienden y apagan los brazos de pulverización de herbicidas y personalizan la cantidad (y la mezcla) de pulverización aplicada. Una vez que se identifican y mapean las ubicaciones de las malas hierbas se puede determinar el volumen y la mezcla de la aspersión.
- La topografía y los límites se pueden registrar mediante GPS de alta precisión, lo que permite realizar una representación topográfica muy precisa de cualquier campo. Estos mapas de precisión son útiles para interpretar mapas de rendimiento y mapas de malas hierbas. Los límites de los campos, las carreteras existentes y los humedales se pueden ubicar con precisión para ayudar en la planificación de la granja.
- El mapeo de salinidad se realiza con un conductímetro en un equipo arrastrado a través de campos afectados. El mapeo interpreta los problemas emergentes, así como los cambios en la salinidad a lo largo del tiempo.
- Los sistemas de guía pueden posicionar con precisión un vehículo en movimiento dentro de los 30 cm o menos usando GPS. Los sistemas de guía sustituyen a los equipos convencionales de pulverización o siembra.

Sensores en ganadería

Masters (2021) ha revisado el uso potencial de sensores remotos en animales, para mejorar la producción y el bienestar del ganado en pastoreo y mejorar la gestión de los recursos. La información cuantitativa de alto valor permitirá un cambio radical en el manejo de precisión de los pastos y el pastoreo. Las oportunidades para el control y la gestión remotos de la ganadería incluyen la monitorización de las tasas de crecimiento de los pastos y la disponibilidad de recursos forrajeros, el pesaje a pie, las cercas virtuales, la gestión de puertas para mover lotes, el seguimiento y control individual de los animales, a partir de imágenes satelitales y de UAV, o el uso de cámaras o sensores para monitorear puntos de agua o comederos. Todo ello permite un seguimiento individualizado de los animales y del conjunto del rebaño.

Los sensores, sobre o dentro de los animales, se pueden usar para medir una variedad de comportamientos y características diferentes, como distancias recorridas, dirección, velocidad, aceleración, postura, ubicación, proximidad a otros animales, movimientos corporales (por ejemplo,

control de mandíbulas y mordedura), temperatura corporal, frecuencia cardíaca y actividad creciente. Los datos recopilados se han relacionado con varios indicadores de salud, producción o bienestar, como el estrés por calor y los requisitos de agua, la ingesta de energía metabolizable, la infección por parásitos, la depredación de perros o lobos, la detección de celos, el tiempo de parto y la paternidad de la madre.

Benjamin y Yik (2019) han revisado distintos sensores utilizados para evaluar el bienestar animal en explotaciones porcinas intensivas. Otros autores, como Li *et al.* (2020) lo han hecho igualmente en explotaciones avícolas. Fournel *et al.* (2017) también han descrito procedimientos para controlar el ambiente dentro de las instalaciones ganaderas. Entre ellos destacan:

- **Cámaras.** El análisis de imágenes traduce las imágenes adquiridas en índices de distribución (ubicación y proximidad del animal) y actividad (posición y movimiento del animal). Las imágenes en cerdos se han utilizado para estimar su peso, su comportamiento agresivo, los patrones de marcha, la posición o el comportamiento de la cerda durante la lactancia.
- **Micrófonos.** Son relativamente simples y convierten ruidos en señales eléctricas que pueden ser procesadas en computadoras con la posibilidad de detectar, clasificar y localizar eventos acústicos específicos como indicaciones de estrés o enfermedad.
- **Termistores e imágenes infrarrojas.** Los monitores de temperatura que utilizan un medio de medición de contacto suelen utilizar termistores integrados en un registrador de datos o un sensor de etiqueta auricular. El sensor tiene contacto directo con el tejido para tomar medidas de temperatura y proporcionar mediciones con una precisión de 0,1 °C. La tecnología infrarroja no requiere ningún contacto con el animal, lo que permite la medición remota.
- **Acelerómetros.** Entre las tecnologías más prometedoras para monitorear el comportamiento del ganado se encuentran los sensores portátiles que contienen acelerómetros. Un acelerómetro es un dispositivo electromecánico que se utiliza para medir las fuerzas de aceleración.
- **Identificación por radiofrecuencia.** Una tecnología bien establecida para la identificación, la sanidad y el manejo de los individuos es el chip RFID.
- **Reconocimiento facial.** Un ejemplo de identificación individual de cerdos sin marcadores es el reconocimiento facial, desarrollado inicialmente para fines de identificación, seguimiento y vigilancia de seres humanos.

Sensores en la cadena de valor y la industria alimentaria

Debido a la mejora, la precisión, la viabilidad técnica y la viabilidad económica de los sensores, el uso de redes de sensores inalámbricos en el sector agrario se está convirtiendo en la norma. Sin embargo, la tecnología de sensores tiene también sus aplicaciones más allá de la producción primaria. Tsolakis *et al.* (2019) hacen una revisión de las posibilidades de aplicación de los sensores en la cadena de valor agroalimentaria. Los autores mencionados recogen varios ejemplos de aplicaciones en la

exportación de melocotones, en la trazabilidad y certificación de productos agroalimentarios, en el seguimiento de la vida útil de las verduras frescas gracias a los datos capturados por sensores, en una red minorista de alimentos refrigerados, las alteraciones en los atributos de la calidad de los alimentos en las redes de suministro de alimentos centrados en la carne y los mariscos. En la Tabla 7 se recoge un resumen esas posibilidades.

Tabla 7.
Decisiones relacionadas con los sensores en las redes de suministro de alimentos, utilizando diferentes aproximaciones

Objetivo en la cadena de valor	Decisión relacionada con sensores
Calidad Seguridad alimentaria	<ul style="list-style-type: none"> • Crear redes que incidan en los comportamientos de las partes interesadas de varios niveles • Facilitar la transferencia de conocimientos de la investigación y la innovación al sector agrícola • Estructurar el portafolio de tecnologías y actividades de exploración tecnológica • Analizar las necesidades de innovación • Establecer patrones de transferencia de tecnología
Precio dinámico Calidad Duración	<ul style="list-style-type: none"> • Decidir sobre la información a monitorear (por ejemplo, identidad del producto, identidad del lote/paquete, ubicación, período de tiempo en cada ubicación, temperatura) • Desarrollar un modelo dinámico de precios de los alimentos relacionado con la vida útil restante y basado en la respuesta a la demanda • Permitir la recopilación y el análisis de datos en tiempo real • Articular escenarios de demanda basados en el precio de los alimentos y la vida útil
Calidad Seguridad alimentaria	<ul style="list-style-type: none"> • Adoptar modelos de microbiología predictiva para describir cambios en los alimentos. Calidad en función de las condiciones ambientales
Calidad Vida útil	<ul style="list-style-type: none"> • Decidir sobre la arquitectura de la red de sensores inalámbricos • Decidir sobre la topología de una red de sensores inalámbricos • Decidir sobre la implementación de <i>hardware</i> y <i>software</i> de la red inalámbrica red de sensores
Contenido de agua Estrés hídrico	<ul style="list-style-type: none"> • Decidir el rango de longitud de onda que necesitan detectar los posibles sensores ópticos • Decidir los índices que deben calcularse para describir estado del agua en los productos agrícolas • Decidir los algoritmos y modelos para calcular índices

Fuente: Tsolakis *et al.* (2019).

3.2.3. Teledetección

Los sistemas de teledetección utilizados para la agricultura de precisión se clasifican según la plataforma del sensor y el tipo de sensor. Los sensores generalmente se montan en satélites, plataformas aéreas y terrestres. Los primeros se denominan remotos, mientras que los que se basan en tierra se denominan sensores próximos (Sishodia *et al.*, 2020).

Los sensores remotos son sistemas que permiten observar, medir o detectar un cambio en las propiedades físicas de un objeto a distancia sin estar en contacto con él. En teledetección, los sensores remotos generalmente son sistemas de detección y medida que proporcionan información para diferentes aplicaciones; meteorología, oceanografía, hidrogeología, geomorfología, cubiertas vegetales, etc.

Sishodia *et al.* (2020) revisan la resolución de los sensores, que viene determinada por su capacidad para registrar y discriminar la información y viene dada por la combinación de diferentes tipos de resolución; espacial, espectral, radiométrica y temporal.

- La resolución espacial de un sensor se define por el tamaño del píxel que representa el área en el suelo. Los sensores con alta resolución espacial tienden a tener una huella pequeña y los sensores con una gran huella tienden a tener una resolución espacial baja.
- La resolución temporal está asociada con la plataforma del sensor en lugar del sensor en sí. Por ejemplo, la resolución temporal de un satélite es el tiempo que tarda en completar una órbita y volver a visitar la misma área de observación.
- La resolución radiométrica viene dada por la cantidad mínima de energía requerida para incrementar el valor de un píxel en un nivel digital.
- La resolución espectral de un sensor está indicada por el número de bandas capturadas en el rango dado de espectro electromagnético. Las imágenes hiperespectrales contienen un gran número (de 10 a 100) de bandas de ancho estrecho (< 20 nm) separadas por pequeños incrementos en la longitud de onda.

Los sensores remotos se pueden clasificar en función de diversos criterios (Peguero, 2012); banda espectral, información registrada, mecanismos para la captación de información, etc. El principal criterio de clasificación en teledetección se realiza en función de la fuente emisora de energía, diferenciando entre sistemas de detección activos y pasivos. Los sistemas de detección activos generan una fuente de radiación activa iluminando los objetos y captando diferentes longitudes de onda reflejadas. Las longitudes de onda captadas pueden ser cortas (visible, NIR, MIR) y largas (microondas).

La mayoría de los sensores activos utilizados en teledetección trabajan en longitudes de onda comprendidas en la región microondas del espectro electromagnético. Tienen la ventaja de que no se ven afectados por las condiciones meteorológicas y son independientes de la hora solar. Ejemplos de sistemas de detección activos son los radares y el Lidar.

Los sensores pasivos no transmiten energía al objeto estudiado y miden la radiación emitida o reflejada por los objetos de la superficie terrestre utilizando la energía de los rayos solares.

Los sensores multiespectrales o hiperespectrales son los más empleados en teledetección pasiva y emplean una combinación múltiple de bandas para la medición de la radiación recibida. Las bandas del espectro electromagnético están comprendidas entre la región dentro y fuera de la visión humana (visible, IR, NIR, TIR, microondas). Los sensores pasivos más conocidos son los radiómetros y espectrómetros. El radiómetro hiperespectral distingue cientos de bandas espectrales estrechas dentro de las regiones visible, NIR y MIR y es el sensor más preciso que se utiliza en teledetección.

Los datos hiperespectrales son la base para extraer información útil sobre las condiciones de los cultivos. Para ello se utilizan diferentes enfoques estadísticos y técnicas de aprendizaje automático,

como redes neuronales. La cuantificación de la fluorescencia de clorofila inducida por la luz solar a partir de imágenes hiperespectrales se ha aplicado para estimar la fotosíntesis, los nutrientes de las plantas y el estrés biótico y abiótico, como enfermedades y estrés hídrico

En los últimos años se están empezando a utilizar otro tipo de sensores: infrarrojo térmico y microondas). Los sensores infrarrojos térmicos miden la energía emitida por un objetivo (por ejemplo, cultivos) para estimar su temperatura, que podría usarse para estimar el estrés hídrico del cultivo, la evapotranspiración y los requisitos de riego. Los sensores de microondas funcionan de manera similar a los sensores térmicos para medir la energía emitida (aunque en longitudes de onda de microondas más largas) desde la superficie terrestre. Los sensores de microondas se utilizan principalmente para estimar el contenido de humedad del suelo y el uso de agua de cultivo en grandes extensiones.

Tecnologías de base

La radiación solar reflejada por las plantas depende de las características químicas y morfológicas de la planta. El tipo de planta, el contenido de agua y las características de la estructura de la vegetación afectan la luz reflejada en cada banda espectral de manera diferente. La luz reflejada medida en las porciones del espectro ultravioleta, visible (azul, verde, rojo) e infrarrojo cercano y medio se ha utilizado comúnmente para desarrollar varios índices de vegetación que aportan información sobre la estructura y las condiciones de la planta.

Los índices de vegetación son expresiones matemáticas que combinan la reflectancia medida en muchas bandas espectrales para producir un valor que ayuda a evaluar el crecimiento, el vigor y varias otras propiedades de la vegetación, como la biomasa y el contenido de clorofila. Algunos de los más utilizados son el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), el SAVI (Índice de Vegetación Ajustado al Suelo) o el EVI (Índice de Vegetación Mejorado).

El valor de NDVI varía de -1 a 1, donde los valores positivos indican un aumento del verdor (LAI y vigor) y los valores negativos indican superficies sin vegetación, como áreas urbanas, suelo/tierra desnudos, agua y hielo.

Tal y como señalan Arnó y Martínez-Casasnovas (2017), en el monitoreo de los cultivos el índice de vegetación más utilizado es el NDVI, que es un indicador de la biomasa fotosintéticamente activa y permite estimar el desarrollo de la vegetación. Para su cálculo se utiliza la reflectancia de la vegetación en las bandas rojas (R) e infrarrojas cercanas (NIR) del espectro electromagnético: $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$.

Entre las principales variables primarias (que están involucradas en el proceso de transferencia radiativa) se encuentran parámetros biofísicos que describen el estado y la dinámica del suelo y de la vegetación, como el albedo, la temperatura radiométrica de la superficie, la fracción de cobertura vegetal (fC), o el índice de área foliar (LAI), el contenido bioquímico de la hoja, su orientación, la altura de la vegetación, la fracción de radiación absorbida por la vegetación, la temperatura de la vegetación/suelo, y la humedad del suelo (Andreu *et al.*, 2021).

Posibilidades futuras

Sishodia *et al.* (2020) y Shanmugapriya *et al.* (2019) han revisado las posibilidades actuales y futuras de las tecnologías de teledetección. Comprueban el avance de las tecnologías para desarrollar diferentes aplicaciones que resumimos a continuación:

- *Gestión del agua de riego.* Se han desarrollado herramientas de detección remota, ya sea basadas en bandas ópticas, térmicas y de microondas, aplicadas para desarrollar y probar múltiples índices y técnicas para la gestión precisa del agua para evaluar el estrés hídrico, la evapotranspiración y la humedad del suelo.
- *Gestión de nutrientes.* Se relacionan un conjunto de trabajos que muestran la correlación estadística significativa entre varios índices de vegetación (NDVI, SAVI), derivados de datos de sensores remotos, con el contenido de clorofila de las plantas, la actividad fotosintética y la productividad de las plantas. Estos índices permiten entender la variabilidad espacial en el estado nutricional de los cultivos, que es la base para la aplicación de la agricultura de precisión. También permiten conocer la presencia de materia orgánica y fósforo en el suelo. Presentan ejemplos de aplicación de sistemas de fertilización variable basada en esta información, con especial atención al nitrógeno.
- *Manejo de enfermedades de los cultivos.* Los autores muestran, con ejemplos, el uso de la teledetección para monitorizar enfermedades en cultivos especialmente en las primeras etapas del desarrollo, cuando puede ser difícil discernir los signos de la enfermedad con la exploración de campo. Las técnicas utilizadas son variadas. Entre ellas destacan imágenes RGB, multiespectrales, hiperespectrales, térmicas y de fluorescencia.
- *Control de malas hierbas.* Las malas hierbas se pueden identificar o diferenciar de las plantas de cultivo en función de su firma espectral peculiar relacionada con sus atributos fenológicos o morfológicos que son diferentes del cultivo. El uso del aprendizaje automático es una herramienta que permite realizar un mapeo.
- *Monitorización y rendimiento de cultivos.* Los datos de teledetección se han utilizado para estimar el índice de área foliar y la biomasa para una variedad de cultivos, incluidos cultivos en hileras, hortalizas y cultivos de vid. Sin embargo, todavía se están desarrollando proyectos de investigación para aplicar herramientas en otro tipo de cultivos, como frutales o cítricos. Parece que los índices de vegetación basados en el borde rojo son prometedores para estimar esos índices en nuevos cultivos.

Los avances también se están produciendo en la disponibilidad de servicios de datos generados por satélites. Las siguientes tablas recopilan y describen algunos de los principales satélites lanzados útiles para fines agrícolas (Andreu *et al.*, 2021).

Tabla 8.
Misiones espaciales y aplicaciones para la agricultura

Misión	Agencia	Propósito principal y carga útil	Resolución espacial	Resolución temporal	Periodo
SPOT	CNES, Spot Image	Observación de la superficie y la vegetación de alta resolución HRV/HRVIR/HRG (canales VIS, NIR, SWIR, MS y PAN)	Desde 5 m (PAN) hasta 10-20 m (VNIR, SWIR)	26 días. Puntos estratégicos: 3 días	1986-2015
MODIS AQUA TERRA	NASA	Multipropósito: nubes, océano, hielo y tierra. Imágenes ópticas de resolución moderada (VIS, NIR, SWIR, MWIR, TIR channels)	Desde 250 m (2 canales) hasta 1.000 m (29 canales)	1 o 2 veces al día	2000-actualidad
Landsat 4/5 TM	NASA	Observación de la tierra y la vegetación a alta resolución TM (<i>Thematic Mapper</i> , VIS, NIR, SWIR o TIR)	TM: 30 m; VNIR: 120 m	16 días	1982-2013
Landsat 7 + ETM	NASA	ETM + (<i>Enhanced Thematic Mapper</i> + PAN, VIS, NIR, SWIR, TIR)	ETM+: 30 m; VNIR: 15 m; PAN: 60 m	16 días	1999-actualidad
Landsat 8 OLI	NASA	OLI (Operational Land Imager, PAN, VIS, NIR, SWIR) TIRS (<i>Thermal Infra-Red Sensor</i> , TIR)	OLI: 30 m; VNIR: 15 m; PA	16 días	2013-presente
Ecoestress (ISS)	NASA (ESA, JAXA CSA, etc.)	<i>ECOsystem Spaceborne Thermal Radiometer Experiment Space Station</i> . Temperatura de la superficie terrestre en diferentes momentos durante el ciclo diurno para detectar el estrés hídrico en las plantas	AATSR 1 km, MERIS300 m MWR, RA-2 20 km MWR, RA-2, 35 días	De 1 a 3 días	2018-2023
ENVISAT	ESA	Química atmosférica, climatología, océano y hielo. Observación de tierras y vegetación AATSR (<i>Advanced Along-Track Scanning Radiometer</i>), ASAR (<i>Advanced Synthetic Aperture Radar C-band SAR</i>), MWR (<i>Micro-Wave Radiometer</i>), etc.	AATSR 1 km, MERIS300 m MWR, RA-2 20 km	De 1 a 3 días MWE, RA-2, 35 días	2002-2012
SMAP	NASA JPL, GSFC	Humedad del suelo Activo-Pasivo Radiómetro MW, W, HH y HV para el SAR	Radiómetro: 41 km SAR: 30 km	1,5 días	2015-presente
SMOS	ESA, CDTI, CNES	Humedad del suelo y salinidad del océano	GPS, MIRASM	3 días	2009-presente

Fuente: Andreu *et al.* (2021).

La oportunidad del proyecto Copérnico de la AESA

Copernicus es el Programa de observación de la tierra de la Unión Europea coordinado por la Comisión Europea en el que participa la Agencia Espacial Europea (ESA), los Estados miembros y la Agencia Europea de Medio Ambiente.

Los datos de observación de la tierra se obtienen de satélites repartidos en dos misiones principales. La familia de satélites Sentinel destinados a satisfacer las necesidades del programa Copernicus y misiones participantes dirigidas por organizaciones nacionales, europeas o internacionales. La ESA y la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMESTAT) coordinan el suministro de datos de los diferentes satélites.

Dentro de los servicios ofrecidos por el programa, El Servicio de Vigilancia Terrestre permite obtener diversa información geográfica para su aplicación en ámbitos como la gestión forestal, del agua y la agricultura entre otros. El seguimiento de los parámetros biofísicos de forma sistemática permite monitorizar aspectos como la vegetación y los cultivos.

La misión Sentinel-2 proporciona imágenes multispectrales de muy alta resolución (4 bandas a 10 m, 6 bandas a 20 m y 3 bandas a 60 m) y amplia franja orbital. Está formado por dos satélites gemelos en la misma órbita con una alta frecuencia de revisión (5 días en el ecuador). Es capaz de muestrear 13 bandas espectrales que proporciona información de entrada para el mapeo de datos de la cobertura del suelo y el apoyo a la evaluación de parámetros como el índice de área foliar, el contenido de clorofila y la cobertura foliar.

Además de generar imágenes de alta resolución, dentro de los objetivos del Sentinel-2 se encuentran los de proporcionar una continuidad de las imágenes multispectrales ofrecidas por la serie de satélites SPOT y el instrumento Mapeador Temático LANDSAT del USGS y suministrar datos de observación para la elaboración de mapas de cobertura terrestre, mapas de detección de cambios terrestres y variables geofísicas.

El proyecto Copernicus supone una gran oportunidad para el desarrollo de la agricultura de precisión ya que permite evaluar los usos y evolución de las tierras agrícolas, la previsión del rendimiento y el estado de los cultivos, la detección de anomalías y la guía para la aplicación de insumos. También ofrece mejoras para el control de la gestión agrícola y control del riego. Sus posibilidades de aplicación se extienden a otras aplicaciones como la cartografía estacional de las zonas cultivadas, la gestión del agua, el seguimiento de sequías, así como la gestión de subvenciones.

Para explorar las posibilidades del empleo de la tecnología asociada al uso de los datos de Copernicus podemos consultar algunas páginas web en las que encontraremos casos de uso:

- El manejo de la gestión del riego en baja Austria: https://www.copernicus.eu/sites/default/files/UseCase_Agriculture_Irrigation.pdf.
- El desarrollo de una plataforma con indicadores de adaptación al cambio climático: <https://climate.copernicus.eu/quality-data-support-agriculture>.

- El proyecto Global Agriculture Sectoral Information System (SIS), que ha desarrollado sistemas de apoyo a la toma de decisiones en el sector agrario: <https://climate.copernicus.eu/global-agriculture-project>.

3.2.4. Drones

Definición y generalidades

Un vehículo aéreo no tripulado (UAV) es un avión que puede volar sin un piloto humano y controlado por el canal de radio. Los rotores múltiples son el único tipo de UAV, que además se clasifican según el número de rotores en su plataforma. Los diferentes tipos de modelos de UAV que se utilizan en las últimas dos décadas se muestran en la Figura 8.

Desde 2011, los vehículos aéreos no tripulados (UAV), también llamados drones, representan un gran avance para el sector agrícola, porque son más asequibles y fáciles de usar. Hoy en día, las aplicaciones prácticas para UAV se están expandiendo más rápido que nunca en el sector agrícola tal y como comentan Cornejo-Velázquez *et al.* (2020). Un elemento esencial de ese desarrollo viene dado por el hecho de que la agricultura de precisión y la agricultura inteligente basan muchos de sus desarrollos en la teledetección.

Figura 8.

Imágenes de diferentes modelos de UAV



Fuente: Mogili y Deepack (2018).

La teledetección puede monitorear muchos cultivos y parámetros de vegetación a través de imágenes en varias longitudes de onda. En el pasado, la teledetección se basaba a menudo en imágenes de satélite adquiridas para monitorear el estado de la vegetación en etapas específicas de crecimiento. Sin embargo, las imágenes de satélite, en ocasiones, no son la mejor opción debido a la baja resolución espacial de las imágenes adquiridas y las restricciones de las resoluciones temporales, ya que los satélites no siempre están disponibles para capturar las imágenes necesarias. Además, a menudo es necesario esperar largos períodos entre la adquisición y la recepción de imágenes. Además, las condiciones ambientales como las nubes a menudo dificultan su uso (Tsouros *et al.*, 2019).

Con los avances recientes en la tecnología de enjambres, los grupos de drones equipados con sensores heterogéneos y cámaras 3D pueden trabajar juntos para brindar nuevas capacidades. Estos vehículos aéreos no tripulados agrícolas hacen posible que los agricultores tengan una vista panorámica de sus

granjas para administrar y controlarlas reduciendo significativamente las horas de trabajo, lo que da como resultado una mayor estabilidad, productividad y precisión de medición.

No obstante, como revisan Islam *et al.* (2021), cuando combinamos los drones con las herramientas IoT, se incrementan sensiblemente las aplicaciones de los drones en el conjunto de la producción agrícola y ganadera.

Sin embargo, todavía surgen algunos retos que la tecnología de los UAV debe resolver a corto plazo, como son la eficiencia de la batería, el bajo tiempo de vuelo, distancia de comunicación y carga útil.

Principales aplicaciones de los drones en agricultura de precisión

Estas tecnologías se han empleado con éxito en una variedad de aplicaciones. No obstante, Islam *et al.* (2021) describen los usos más comunes de los drones en la agricultura de precisión. Son los siguientes:

- *Mapeo y gestión de malas hierbas.* Para ello los UAV captan imágenes del conjunto de la parcela y de la presencia de esas malas hierbas en las diferentes zonas. En función de su densidad se toma la decisión de aplicar herbicidas específicamente por zonas: áreas con una dosis alta de producto, áreas con una menor dosis y áreas en las que no se aplica. La consecuencia es mejora de eficiencia y reducción de empleo de productos.
- *Monitoreo del crecimiento de la vegetación y estimación del rendimiento.* La recopilación regular de información y la visualización de cultivos utilizando UAV, permite monitorizar el crecimiento de los cultivos y registrar la variabilidad observada en varios parámetros dentro cada parcela. Muchos trabajos recientes se centran en el seguimiento del estado de la biomasa y el nitrógeno de los cultivos junto con la estimación del rendimiento. La biomasa es el parámetro de cultivo más común, que junto con la información relacionada con el contenido de nitrógeno se puede utilizar para determinar la necesidad de fertilizantes adicionales u otras acciones. Además, la información adquirida por los UAV se puede utilizar para la creación de mapas digitales tridimensionales del cultivo, y para la medición de diversos parámetros, como la altura del cultivo, la distancia entre filas o entre plantas, y el Índice de Área Foliar.
- *Vigilancia de la salud de la vegetación y detección de enfermedades.* En la agricultura de precisión, se lleva a cabo el control de enfermedades en el lugar preciso en el que aparecen. Se basan en la detección automatizada no destructiva de enfermedades de los cultivos. Las enfermedades inducen cambios en las características biofísicas y bioquímicas de los cultivos. Las tecnologías de procesamiento de datos basadas en UAV utilizan información de imágenes de cultivos para identificar cambios en la biomasa vegetal y su salud. Así, las enfermedades se pueden detectar en sus primeras etapas. En este contexto, los UAV se pueden utilizar en las dos etapas diferentes del control de enfermedades: (a) en la etapa inicial durante la cual los UAV pueden detectar una posible infección antes de que aparezcan las indicaciones visuales y mapear el tamaño de la infección a diferentes partes de un cultivo; y (b) durante el tratamiento de la infección cuando los agricultores pueden utilizar UAV para fumigación selectiva, así como para monitorear con precisión el curso de su intervención.

- *Gestión del riego.* En este caso, los drones incorporan sensores capaces de identificar las zonas de la parcela en las que el cultivo necesita más agua. Al mismo tiempo, las tecnologías anteriores permiten la producción de mapas especializados que ilustran la morfología del suelo, apoyando así la planificación más eficiente del riego de cada parcela/cultivo por separado.
- *Pulverización de cultivos.* El objetivo de su uso es reducir las pérdidas y la deriva en la aplicación del producto fitosanitario y evitar la presencia del operario. El equipo puede mantener una altura constante, adaptándose a la orografía y a la dosis que se precisa en cada zona de la parcela.
- *Otros usos de los drones.* Han sido descritos para el análisis de suelo, la selección genotípica de algodón, la detección de mamíferos en un cultivo o la evaluación de la conductividad eléctrica del suelo.
- *Monitorización y seguimiento del ganado.* La agricultura inteligente ayuda a identificar la ubicación de los animales que pastan en áreas abiertas con explotaciones que utilizan grandes extensiones de terreno o pastos comunales. La tecnología también ayuda a medir el estado de la ventilación y la calidad del aire en las granjas y a detectar gases nocivos de los excrementos.
- *Aplicación en invernaderos.* La agricultura inteligente controla las condiciones del microclima con el objetivo de maximizar la producción y la calidad de frutas y verduras dentro de los invernaderos.
- *Manejo del compost.* La combinación de UAV con IoT permite controlar el nivel de humedad y temperatura de las zonas de compostaje y en almacenes de paja o heno, como medida para prevenir hongos y otros contaminantes microbianos,
- *Vigilancia de las crías.* La agricultura inteligente controla las condiciones de crecimiento de los animales lactantes y recién destetados en granjas, asegurando así su supervivencia y salud.
- Los lugares en los que se ha utilizado esta tecnología incluyen tanto grandes parcelas como pequeñas parcelas, o parte de ellas, así como zonas con una orografía constante y continua como otras con gran heterogeneidad.

La adquisición de datos por los UAV y el procesado de las imágenes

El objetivo de los sensores montados sobre los UAV es la captura de imágenes con alta resolución espacial y temporal que permitan monitorizar diferentes características de la vegetación y del suelo. Los principales criterios que deben cumplir los sensores son el bajo peso, el bajo consumo energético y el reducido tamaño, además de capacidad de capturar imágenes de alta resolución.

Los sensores comerciales modernos que cumplen con estas exigencias son sensores de luz visible (RGB), sensores multispectrales, sensores hiperspectrales y sensores térmicos. Se pueden utilizar otros tipos de sensores, como los escáneres láser, también mencionados en la literatura como detección de luz y rango (LiDAR). El escaneo láser aerotransportado implica un mayor coste en comparación con otros tipos de sensores utilizados para la adquisición de datos. Tsouros *et al.* (2019) han comentado los primeros:

- *Sensores de luz visible (RGB)*. Los sensores RGB son los sensores más utilizados por los sistemas UAV para aplicaciones de agricultura de precisión. Son de costo relativamente bajo en comparación con los otros tipos y pueden adquirir imágenes de alta resolución. Además, son fáciles de usar y operar, son livianos y la información adquirida requiere un procesamiento sencillo. Las imágenes se pueden adquirir en diferentes condiciones, tanto en días soleados como nublados, pero se requiere un marco de tiempo específico en función de las condiciones climáticas para evitar una exposición inadecuada o excesiva de la imagen. La principal desventaja es que son inadecuados para analizar muchos parámetros de vegetación que requieren información espectral en el espectro no visible.
- Mediante el uso de *sensores de imágenes multispectrales o hiperspectrales*. Los UAV pueden adquirir información sobre la absorción espectral y la reflexión de la vegetación en varias bandas. La información espectral puede ser de gran ayuda para evaluar características biológicas y físicas de los cultivos. Por ejemplo, en una imagen se pueden discriminar las zonas enfermas del cultivo, ya que la radiación visible en el canal rojo es absorbida por la clorofila, mientras que la radiación del infrarrojo cercano (NIR) se refleja fuertemente. Por lo tanto, incluso si aún no es visible en el canal rojo, se puede identificar por la información en el canal NIR. La información espectral se puede utilizar para calcular varios índices de vegetación y monitorear varias características de cultivos basados en ellos.

Se utilizan con frecuencia, a pesar de sus costos más elevados. Su inconveniente es que requiere de métodos de preprocesamiento más complejos para extraer información útil de las imágenes capturadas. El procedimiento de preprocesamiento de imágenes espectrales a menudo requiere la calibración radiométrica, la corrección geométrica, la fusión de imágenes y la mejora de imágenes.

La principal diferencia entre los sensores multispectrales e hiperspectrales es la cantidad de bandas (o canales) que cada sensor puede capturar y el ancho de las bandas. Los sensores multispectrales capturan de 5 a 12 canales, mientras que las imágenes hiperspectrales generalmente pueden capturar cientos o miles de bandas, pero en un ancho de banda más estrecho. Aunque en los trabajos recientes estudiados los sensores multispectrales se utilizan con mucha más frecuencia que los hiperspectrales debido a su menor costo, la tecnología hiperspectral parece tener mucho potencial y se considera la tendencia futura para la investigación del fenotipado de cultivos.

- Los *sensores de infrarrojos térmicos* capturan información sobre la temperatura de los objetos y generan imágenes que las muestran basándose en esta información y no en sus propiedades visibles. Las cámaras térmicas utilizan sensores infrarrojos y una lente óptica

para recibir energía infrarroja. Todos los objetos más calientes que el cero absoluto (-273 °C) emiten radiación infrarroja en longitudes de onda específicas (bandas LWIR y MWIR) en una cantidad proporcional a su temperatura. Por lo tanto, las cámaras térmicas enfocan y detectan la radiación en estas longitudes de onda y, por lo general, la traducen a una imagen en escala de grises para la representación del calor. Muchos sensores de imágenes térmicas también pueden generar imágenes en color. Estas imágenes a menudo muestran objetos más cálidos como amarillos y objetos más fríos como azules. Este tipo de sensores se utiliza para aplicaciones muy específicas (por ejemplo, gestión de riego).

Una vez se dispone de las imágenes es preciso aplicar tecnologías de procesamiento, que facilitan su análisis para convertirlo en información aplicable a la agricultura de precisión.

- *Técnicas de fotogrametría.* La fotogrametría se refiere a la reconstrucción precisa de una escena o un objeto a partir de varias imágenes superpuestas. Las técnicas fotogramétricas permiten procesar los datos 2D y establecer las relaciones geométricas entre las diferentes imágenes y el objeto, obteniendo modelos 3D. Para construir los modelos 3D, la fotogrametría requiere al menos dos imágenes superpuestas de la misma escena y/u objeto, capturadas desde diferentes puntos de observación. Este tipo de técnicas se pueden utilizar para extraer modelos digitales tridimensionales de superficie o terreno y/u ortofotos. La adquisición de datos de UAV a baja altitud permite la construcción de modelos 3D con una resolución espacial mucho mayor en comparación con otras tecnologías de teledetección (como satélites).

Se requiere la recopilación de muchas imágenes para tener información de todo el campo en estudio. Por lo tanto, en la mayoría de los casos, es necesario recopilar muchas imágenes superpuestas para construir modelos digitales de elevación de los cultivos y/o crear ortofotos (también conocidos como ortomosaicos). Los modelos 3D y las ortofotos incluyen información sobre las características 3D de los cultivos en función de la estructura de la vegetación (por ejemplo, la altura de la vegetación, el dosel, la densidad, etc.) y pueden ser muy útiles para aplicaciones que pueden explotar solo RGB imágenes.

- *Métodos de machine learning:* Las técnicas de aprendizaje automático se aplican a menudo en la agricultura de precisión para explotar la información de la gran cantidad de datos adquiridos por los UAV. ML es capaz de estimar algunos parámetros relacionados con la tasa de crecimiento del cultivo, detectar enfermedades o incluso identificar/discriminar objetos en las imágenes. El uso del aprendizaje automático ha aumentado mucho recientemente debido a los rápidos avances que se están produciendo, especialmente en el campo del aprendizaje profundo.
- *Cálculo de índices de vegetación.* Los índices de vegetación son uno de los productos más populares de aplicaciones de teledetección para agricultura de precisión. Utilizan diferentes combinaciones/transformaciones matemáticas de al menos dos bandas espectrales del espectro electromagnético. La reflectancia en varias bandas se ve afectada por parámetros como las propiedades bioquímicas y físicas de la vegetación, los efectos ambientales, las propiedades de fondo del suelo, el contenido de humedad, etc. La comprensión del comportamiento espectral de la vegetación es fundamental para monitorizar diversas

características de la vegetación (por ejemplo, biomasa, contenido de nitrógeno, estado de salud del cultivo, etc.).

Los retos de la tecnología de drones en la agricultura

Pathak *et al.* (2020) han revisado las limitaciones para el desarrollo de las tecnologías basadas en el uso de drones. Son las siguientes:

- *Duración de la batería de los drones.* La duración limitada de la batería de los drones dificulta la cobertura de grandes áreas y también, a medida que pasa el tiempo, la capacidad de capturar buenas imágenes a través de cámaras también se ve afectada.
- *Limitación del vuelo.* Las regulaciones que exigen que el dron siempre se sitúe en la línea de visión del piloto, lo que impacta directamente en la distancia y la precisión de la captura de datos.
- *Costes de operación y procesamiento.* El mayor desafío puede tener el tiempo y el costo de implementar la tecnología y luego procesarla para obtener información.
- *Formación sobre tecnología para el usuario final.* Los agricultores y agrónomos deben poder actuar sobre la información proporcionada por estos sistemas de una manera que muestre un retorno tangible de la inversión.
- *Procesamiento de imágenes.* Muchas de las primeras tecnologías de drones para la agricultura se han basado en la carga de imágenes en la nube para su procesamiento o cargarlas en un ordenador y luego pasar a un programa de análisis para crear los mapas de índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Sin el beneficio de la información procesable en tiempo real en el campo, muchos entienden que la tecnología no vale la pena por el tiempo y el costo.

Otro problema relacionado con los drones es la legislación que regula sus vuelos. El uso de drones en nuestro país está regulado por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA). En la actualidad están en vigor el Reglamento Europeo 2019/947 y el Real Decreto 2019/945, aunque el Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre, sigue vigente hasta el 1 de enero de 2022.

Dependiendo del riesgo de la operación de vuelo, se contempla tres categorías operacionales englobadas en la normativa de drones:

- *Categoría abierta,* para vuelos de bajo riesgo sin necesidad de autorización.
- *Categoría específica,* para vuelos de riesgo medio en escenarios estándar sin declaración, o con autorización si no está dentro de dichos escenarios estándar.
- *Categoría certificada,* para operaciones de riesgo alto requiriendo un régimen regulatorio similar al de la aviación tripulada.

Durante 2021, la Licencia Oficial de Piloto de Drones sigue siendo aplicable para Fuerzas y Cuerpos de Seguridad (FCS); mientras que, para el resto de las personas, para drones a partir de 250 gramos, es obligatorio obtener un certificado que acredite un mínimo de conocimientos, y que permitirá el vuelo de drones en las diferentes categorías establecidas. Para volar drones en la categoría abierta, es obligatorio superar el correspondiente examen en AESA, que puede ser de Nivel 1 o Nivel 2, dependiendo del riesgo de la operación. Y, para volar en categoría específica, es necesario superar el examen de AESA de Nivel 3, para operar en los escenarios estándar contemplados en ella.

Además, hay un conjunto de limitaciones generales para el vuelo de drones en España

- El dron, siempre al alcance visual del piloto (excepto en categoría específica bajo STS BVLOS).
- Nunca sobrepasar los 120 m de altura en vuelo.
- No volar en un mínimo de 8 km de cualquier aeropuerto, aeródromo o espacio aéreo controlado.
- El piloto será el responsable de los posibles daños que cause la aeronave.
- El dron deberá llevar una placa identificativa ignífuga fijada en la estructura que contendrá datos como el nombre del fabricante, el modelo, número de serie (si corresponde) y los datos de contacto del piloto.
- Proteger el derecho a la intimidad de los individuos que pudieran aparecer en las imágenes captadas por el dron, y tener especial cuidado con su divulgación pública para no vulnerar la Ley de Protección de Datos.

3.2.5. Gemelos digitales en la cadena de valor agroalimentaria

López (2021) definió el concepto de gemelo digital como un modelo o representación virtual de los diferentes sistemas físicos o recursos del mundo real que según dónde se quiera o se necesite implementar, trabajará a diferentes niveles de detalle.

Para una correcta integración, el gemelo digital debe de nutrirse de los datos en tiempo real extraídos de todos los activos físicos o recursos que influyen en dicho modelo virtual. Además, también podremos alimentar nuestros modelos con los históricos de datos de los diferentes casos de uso reales, por lo que es una gran herramienta para poder analizar y comprender las diferentes fases e incluso poder predecir sucesos gracias a dichos datos históricos.

Defraeye *et al.* (2021) definen los tres principios comunes a los gemelos digitales:

- En primer lugar, debe contener todos los componentes necesarios y las propiedades materiales de lo que representa.

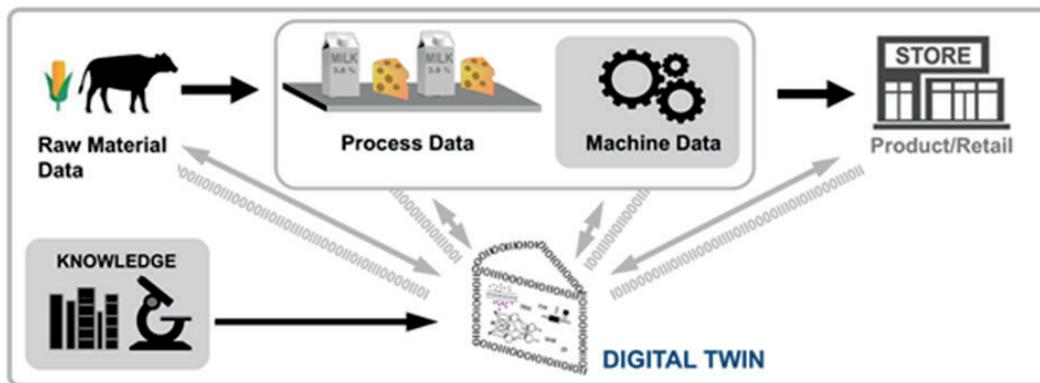
- En segundo lugar, puede simular de forma fiable y precisa todos los procesos relevantes a lo largo del ciclo de vida del producto.
- Finalmente, el gemelo digital debe estar conectado con su contraparte del mundo real, ya que esto diferencia a un gemelo digital de modelos más simples. Se prefiere que la comunicación se realice en tiempo real, pero los datos también podrían fluir fuera de línea.

La finalidad de disponer virtualmente de un conjunto de activos físicos y/o recursos (línea de producción y sus trabajadores, el área de exportación logística y su flota camiones, o la zona robótica final de línea, etc.) capaces de, mediante la simulación, poder analizar y procesar un gran volumen de variables, múltiples no lineales independientes, en escenarios de toma de decisión muy complejos, con los diferentes factores y circunstancias que influyen en el ciclo de vida o proceso productivo de nuestro producto, experimentando y evaluando cualquier nuevo o posible escenario productivo, para posteriormente y una vez validado, replicarlos en la fábrica real.

De esta forma se consigue aumentar la flexibilidad y la eficiencia productiva (tomar decisiones inteligentes acerca de la planificación/secuenciación de las órdenes de producción reduciendo el tiempo de procesamiento promedio de órdenes, etc.), optimizar el proceso en tiempo real (disminuyendo los tiempos de cambio de producto, aumentando el caudal de producción, etc.) y un mayor control económico (optimizando los recursos humanos y energéticos, controlando el coste de la materia prima, etc.) de todo el ciclo de vida (Figura 9).

Figura 9.

Marco básico de gemelos digitales (alimentos) en el contexto del procesamiento de lácteos



Fuente: Henrichs *et al.* (2022).

Henrichs *et al.* (2022) han realizado una revisión bibliográfica de la aplicación de los gemelos digitales en la industria alimentaria, analizando sus retos y su potencial. Siguiendo este trabajo haremos algunas menciones a su clasificación, sus aplicaciones, los elementos clave, su potencial y los retos.

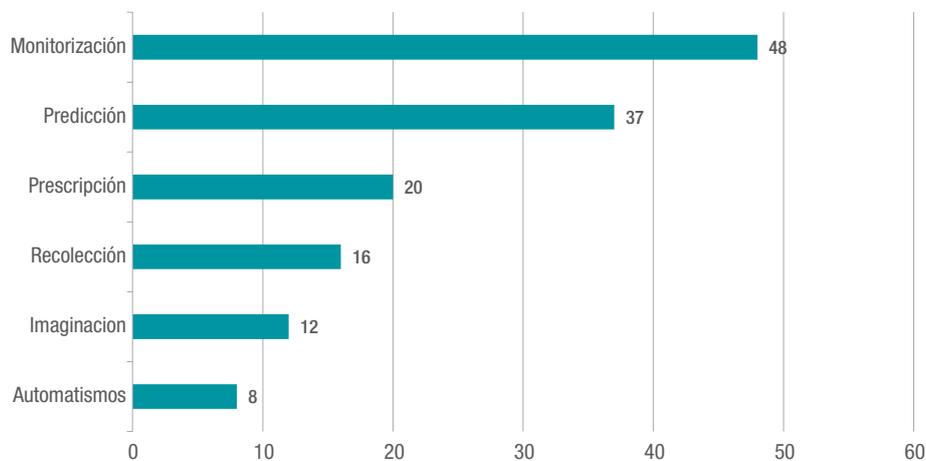
Los autores proponen diferentes vías para la clasificación de los gemelos; una de las que consideran es la diferencian entre tres tipologías:

- Estadísticos, donde un modelo analítico se resuelve con una ecuación diferencial ordinaria o una ecuación analítica más simple.
- Inteligentes, se basan en técnicas de inteligencia artificial, por ejemplo, aprendizaje automático, para el desarrollo, calibración, verificación y validación de modelos.
- Mecanicistas, se basan en la física. Estos modelos se refieren a todos los procesos físicos, bioquímicos, microbiológicos y fisiológicos relevantes utilizando simulación y modelado multifísico. Solo un gemelo digital mecánico puede imitar el comportamiento de la contraparte del mundo real de manera realista y completa. Por lo tanto, un gemelo digital mecánico es preferible para las predicciones.

Tras la revisión de 38 referencias de la literatura científica han encontrado diferentes aplicaciones de los gemelos en la cadena alimentaria. Los resultados se recogen en el Gráfico 2. Hemos de tener en consideración que hay gemelos referenciados que realizaban más de una de las operaciones en más de una de las categorías establecidas. Por ese motivo, el número de total de los gemelos reflejados supera el número de las referencias.

Gráfico 2.

Ámbito en el que se están desarrollando aplicaciones de los gemelos digitales en la cadena alimentaria



Fuente: Henrichs *et al.* (2022).

El 94 % de las aplicaciones tratan de monitorizar situaciones concretas de la vida real. Las que no lo hacían se centraban en el diseño de nuevos productos o de sistemas de envasado. Entre las primeras destacan modelos descritos para simular la calidad del crecimiento de las plantas, o para el proceso de su recolección, las condiciones ambientales de temperatura o humedad en un determinado entorno productivo, las condiciones de crecimiento de los animales o el funcionamiento de determinados equipos o procesos complejos.

Entre los elementos clave a considerar para implantar un gemelo digital en una empresa alimentaria destacan, en primer lugar, la motivación, seguido de la infraestructura técnica de apoyo necesaria y, finalmente, las especificadas de trabajar con materias primas de tipo biológico. Las motivaciones son los costes de producción, la productividad, la calidad del producto final o la diferenciación en el mercado. Entre la infraestructura necesaria, se identifica la necesidad de disponer de sensores que automaticen la captura de los datos del proceso físico y, por supuesto, la necesidad de aplicar inteligencia artificial, *machine learning* o simulación, así como disponer de suficiente capacidad de computación. Por último, la diversidad de materias primas también condiciona todo el proceso, ya que todas ellas condicionan los sensores, las simulaciones y, en general, todos los procesos.

Entre los retos que se plantean en el proceso de desarrollo de los gemelos en la cadena de valor se han encontrado la complejidad de los alimentos y de la cadena de valor, la ausencia de modelos fisicoquímicos desarrollados, la complejidad de los modelos, la ausencia de infraestructura tecnológica especializada en estos procesos y los materiales usados en el sector, la falta de disposición de los agentes del propio sector y la ausencia de empleados formados en estas tecnologías.

Finalmente, la potencialidad de los gemelos digitales en la cadena alimentaria se describe a continuación:

- *Uso mejorado de datos de sensores y la disponibilidad de los propios sensores.* Los gemelos digitales permiten una visión más profunda debido al uso de redes de sensores múltiples (fusión de sensores).
- *Combinación con el envase inteligente.* El envase inteligente puede compartir directamente la calidad y el estado actual de un producto alimenticio en el envase durante las etapas de distribución, venta minorista y consumo.
- *Combinación con inteligencia artificial y machine learning.* Permite la predicción detallada de las pérdidas de alimentos y la vida útil restante de los productos alimenticio.
- *Optimización de la planificación de la producción.*
- *Soporte para mantenimiento predictivo.* Los gemelos digitales son capaces de mostrar la evolución del proceso en cada elemento de una máquina de producción o procesamiento sin necesidad de detener el proceso o abrir el sistema para examinar su estado físicamente.
- *Soporte para el desarrollo de productos.* Las pruebas en prototipos pueden ser reemplazadas por simulaciones en el gemelo digital, lo que resulta en una reducción de costes, tiempo y recursos.
- *Mejora de la colaboración.* Si la empresa desarrolla un nuevo gemelo digital con cada producto, cada modelo comprenderá datos sobre los componentes y materiales precisos utilizados en el producto, las opciones de configuración especificadas por los consumidores finales, así como las condiciones del proceso experimentadas durante la producción.

- *Mejora de la seguridad alimentaria.* Los gemelos digitales pueden mejorar la seguridad alimentaria al mejorar la trazabilidad del producto través de la posibilidad de identificar problemas en tiempo real y registrarlos mediante el almacenamiento de datos de la condición del envío. Además, existe un enfoque combinado utilizando un verificador basado en *blockchain* con la aplicación de gemelo digital para validar y proteger los datos.

3.2.6. Robots

Definición

La Organización Internacional de Normalización (ISO) define un robot como: «Una máquina manipuladora multipropósito, reprogramable, controlada automáticamente con varios grados de libertad, que puede ser fija o móvil para su uso en aplicaciones de automatización industrial».

Los robots son especialmente deseables para determinadas funciones laborales porque, a diferencia de los humanos, nunca se cansan; pueden trabajar en condiciones físicas incómodas o incluso peligrosas; pueden operar en vacío; no se cansan de la repetición; y no pueden distraerse de la tarea que tienen entre manos (Prasad, 2017).

3.2.7. Sistemas autónomos

Consideraciones generales

La evolución tecnológica nos está llevando hacia el desarrollo de sistemas autónomos. No hay una definición establecida de lo que se entiende como tal sistema, tal y como vemos en las revisiones de Muller *et al.* (2020)¹ o Harel *et al.* (2020)².

Un sistema autónomo industrial es un sistema técnico delimitado, que de forma sistemática y sin intervención externa, consigue los objetivos marcados a pesar de las condiciones ambientales cambiantes. Esta definición recoge las cuatro características que se consideran esenciales: ejecución sistemática del proceso, adaptabilidad a condiciones ambientales inciertas, autogobierno y autosuficiencia del sistema. Como concluyen Muller *et al.* (2020), los sistemas autónomos industriales amplían los sistemas de automatización industrial mediante la inteligencia para hacer frente a la incertidumbre y la confianza para actuar sin el consentimiento explícito de un operador humano.

De acuerdo con Harel *et al.* (2020) los sistemas autónomos ya pueden reemplazar a los humanos en el desempeño de una variedad de funciones. Esta tendencia continuará en los próximos años, y los sistemas autónomos se volverán centrales y cruciales para la sociedad humana. Tendrán una amplia prevalencia e incluirán, por ejemplo, vehículos de todo tipo, robots médicos e industriales, instalaciones agrícolas y de fabricación, y gestión distribuida para el tráfico, seguridad urbana y redes eléctricas.

• • • • •

¹ <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/auto-2020-0131/html>

² <https://www.pnas.org/content/117/30/17491>

Sin embargo, como concluyen estos mismos autores, todavía quedan por resolver algunos desafíos, entre los que destacan: cómo especificar el comportamiento del sistema autónomo frente a la imprevisibilidad; cómo llevar a cabo un análisis fiel del comportamiento del sistema con respecto a entornos diversos que incluyen humanos, artefactos físicos y otros sistemas; y cómo construir dichos sistemas combinando técnicas de modelado ejecutable de ingeniería de *software* con inteligencia artificial y aprendizaje automático.

Su aplicación al sector agroalimentario

En este contexto, el concepto de sistemas autónomos en el sector agroalimentario aparece con poca profusión. Lo hemos encontrado en revisiones generales ya utilizadas en este informe, como la de Duong *et al.* (2020) o la de Yilmaz y Soysal (2021).

Los primeros basan su trabajo en el análisis de la robótica y los sistemas autónomos en la cadena agroalimentaria. Sin embargo, no entran ni en la definición ni en una descripción pormenorizada del término. No obstante, señalan que el conjunto de la cadena alimentaria se puede considerar un sistema que requiere de una gran infraestructura de información para operar y ser mantenida. La razón es que cualquier cadena de suministro de alimentos típica puede incluir una gran cantidad de socios, como agricultores, proveedores, transformadores, envasadores, importadores, exportadores, minoristas y consumidores. Esta compleja estructura da lugar a numerosas interacciones. Cuanto mayor sea el número de socios en la cadena de suministro de alimentos, mayor será la información compartida entre estos socios. Estas complejidades obstaculizan los esfuerzos de colaboración para adoptar una herramienta de robotización y de sistemas autónomos dentro de la cadena de suministro de alimentos. Esto podría ser una barrera técnica e impedir el acceso de las empresas alimentarias.

Los segundos, en su trabajo se refieren al uso de aplicaciones autónomas en la agricultura y señalan los ejemplos de algunas empresas de maquinaria, como CLASS o BOSCH, que tienen en el mercado equipos capaces de monitorizar procesos productivos extrayendo conclusiones aplicables en la explotación. Con su descripción, por tanto, no se aproximan al concepto de sistema autónomo que se ha recogido en el apartado anterior. Este apartado se desarrollará en mayor profundidad a lo largo del siguiente capítulo.

3.2.8. Impresión 3D o fabricación aditiva

Definición y evolución

Desde finales de la década de 1980, la fabricación aditiva (AM), a menudo denominada impresión 3D o creación rápida de prototipos, se ha popularizado gradualmente. Es una innovación tecnológica emergente capaz de transformar y revolucionar muchas industrias, que abarcan la fabricación, la construcción, la educación, la aviación y la atención médica, incluida la industria alimentaria. La impresión 3D se ha utilizado ampliamente en biomedicina, ciencia de polímeros, ciencia espacial y otros campos. Sin embargo, en la industria, la tecnología de impresión 3D se utiliza principalmente para la fabricación de muestras en la etapa inicial del desarrollo de nuevos productos, especialmente aquellos con una estructura compleja.

La impresión 3D simplemente se refiere a procesos en los que los materiales se unen o solidifican bajo el control de una computadora para crear un objeto 3D. La tecnología se controla mediante un *software* de diseño asistido por computadora que manda instrucciones a una máquina de fabricación digital para dar forma a objetos 3D mediante la adición sucesiva de capas de material. Además, la impresión 3D permite imprimir capas predefinidas de los objetos diseñados y deseados capa por capa (de abajo hacia arriba).

En la impresión 3D existen varias técnicas, utilizando diferentes materiales. A continuación, se describen alguno de los principales procesos de una impresión 3D (Jagtap *et al.*, 2021):

- *Chorro de aglutinante.* Cada capa de polvo se distribuye uniformemente a lo largo de la plataforma de fabricación, y el aglutinante líquido se rocía para unir dos capas de polvo consecutivas.
- *Deposición directa de energía.* La energía se dirige a una pequeña región para calentar un sustrato y fundir el material que se está depositando.
- *Extrusión de material.* El material se empuja hacia afuera a través de una boquilla cuando se aplica presión constante, después de lo cual el material extruido se depositará y solidificará completamente sobre el sustrato a una velocidad constante.
- *Chorro de material.* Las gotas de líquido se depositan en la plataforma de trabajo para ablandar parcialmente la capa anterior de material y luego solidificar como una sola pieza.
- *Fusión/unión en lecho de polvo.* Se usa una fuente térmica como un láser para introducir una fusión parcial o total entre las partículas de polvo, luego se usa un rodillo o una hoja de recubrimiento para agregar y suavizar otra capa de polvo.
- *Laminación.* Las láminas de material se cortan mediante láser o ultrasonidos usados combinados.
- *Fotopolimerización.* Las resinas fotocurables se exponen al láser y experimentan una reacción química para volverse sólidas.

La revisión realizada por Chu *et al.* (2020) nos permite entender la evolución de la tecnología. Con carácter general, las microestructuras fabricadas mediante impresión 3D son estáticas. Sin embargo, cuando están hechas de materiales inteligentes, dependiendo de las funciones de estos materiales, pueden evolucionar con el tiempo de una manera predeterminada. Esto ha dado lugar a un nuevo término, «impresión 4D». En 2013, el profesor Tibbits definió la impresión 4D como un nuevo diseño de una estructura espontánea compleja que cambia con el tiempo debido a la interacción del entorno, marcando el surgimiento del concepto de impresión 4D.

Por otro lado, si bien la impresión 3D ha logrado grandes avances en todos los aspectos, su limitación radica en la velocidad de impresión capa por capa. Debido a algunas de las limitaciones, la impresión 3D aún no puede reemplazar completamente la fabricación tradicional.

Aplicación en la cadena alimentaria

Esta tecnología está emergiendo como un método contemporáneo mediante el cual se preparan y presentan los alimentos. En el sector alimentario se han descrito varios beneficios potenciales derivados de la utilización de la tecnología de impresión 3D: permiten el diseño personalizado de alimentos, la nutrición personalizada y digitalizada, la simplificación de la cadena de suministro y la ampliación de la fuente de material alimentario disponible (Liu *et al.*, 2018; Jagtap *et al.*, 2020), serían las siguientes:

- Los consumidores pueden imprimir diferentes diseños de alimentos complejos y personalizar formas de confitería con datos existentes sin necesidad de tener conocimientos sobre cocina (Figura 9).
- Facilitan el desarrollo de una alimentación personalizada en función de las necesidades nutricionales y energéticas de una persona determinada.
- La aplicación universal de esta técnica hará que las actividades de fabricación se desplacen lentamente hacia los lugares más cercanos a los clientes y conducirá a la reducción del volumen de transporte, reduciendo así el embalaje, la distribución y los costes generales.
- También ampliará la fuente de material alimenticio disponible mediante el uso de alimentos no tradicionales como insectos, materiales de origen vegetal con alto contenido de fibra y subproductos de origen vegetal y animal.

Las técnicas de impresión 3D disponibles en el sector alimentario serían las siguientes (Liu *et al.*, 2017):

- *La impresión basada en extrusión es la más extendida.* Se ha aplicado para trabajar con chocolate fundido en caliente o materiales blandos como masa, puré de patata, puré de carne, algas e insectos, e incluso queso.
- *La impresión por sinterización selectiva (SLS).* Se ha utilizado para obtener estructuras complejas utilizando azúcares en polvo que no podrían producirse de forma convencional.
- *Chorro de aglutinante.* La fabricación de construcciones comestibles usando azúcares y mezclas de almidón ha permitido producir objetos comestibles de colores y sabores, tales como varios tipos de pasteles con formas complejas, con diferentes sabores y aglutinantes de colores.
- *Impresión por inyección de tinta.* Emplea materiales de baja viscosidad, por lo que se utiliza principalmente en el área de relleno de superficies o decoración de imágenes. Se ha usado para dispensar líquidos comestibles en superficies de alimentos para crear imágenes atractivas.

Figura 9.

Posibilidad de diseño y combinaciones de materiales en la impresión 3D

Fuente: Su *et al.* (2015).

La tecnología está evolucionando muy deprisa en la aplicación a la industria alimentaria, tal y como recogen Teng *et al.* (2021), en su reciente revisión de los últimos avances en la impresión 4D en el sector alimentario. Recogen los ámbitos en los que se está produciendo ese avance:

- *Impresoras.* Las más utilizadas son las de modelado de deposición difusa (FDM), por su bajo coste y su fácil manejo. Pueden ser mono o multimaterial. Se ha producido la evolución de una sola boquilla a varias agujas de inyección.
- *El software de impresión.* En la actualidad, el *software* inteligente 4D incluye principalmente diseño hacia adelante y diseño inverso. El diseño avanzado consiste en determinar los cambios finales de acuerdo con las estructuras del material, sus características (viscosidad, presión, uniformidad, etc.) y la estimulación.
- *Las «tintas» de impresión.* Inicialmente, los materiales eran, como hemos visto, alimentos completos. Sin embargo, la evolución ha permitido la entrada de aislados de proteína de soja, geles de almidón o sistemas de hidrogel.

No obstante, existen algunos desafíos para que esta tecnología sea ampliamente utilizada en la alimentación. Están relacionados con la actitud de los consumidores hacia este tipo de presentaciones. La mayoría no estaban satisfechos con los alimentos producidos por la tecnología de impresión 3D debido al temor de que el material no fuera comestible o seguro, o careciera de nutrientes.

Además, hay algunas cuestiones tecnológicas que están en proceso de control, como es el caso del cambio de color, del cambio de forma del producto acabado como consecuencia de la absorción de agua o por la deshidratación, las modificaciones en el valor nutricional de los productos o en el aroma. Estas limitaciones, identificadas por Teng *et al.* (2021), llevan a los autores a identificar los retos y oportunidades de esta tecnología:

- Fortalecimiento del vínculo entre estructura interna del alimento impreso y la estimulación para potenciar los cambios 4D.
- Creación de nuevas condiciones de impresión.
- Cambios innovadores de propiedades en los materiales y en los resultados.
- Construcción de métodos de evaluación y verificación de las muestras impresas.

3.3. Impactos y retos de las tecnologías

Lezoche *et al.* (2020) realizaron una amplia revisión bibliográfica de muchas de las tecnologías que se han recogido en este trabajo. De las tecnologías de IoT, *big data*, inteligencia artificial y *blockchain* se han resumido los impactos y retos, en los ámbitos funcionales, económicos, ambientales, sociales, de negocio y tecnológicos (Tablas 9, 10, 11 y 12).

Tabla 9.
Impactos y retos de la tecnología de IoT

Impactos	<p>Impacto funcional:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Permite la monitorización de cultivos • Monitorización en tiempo real y remota del entorno (temperatura, humedad, plagas, enfermedades, etc.). Reportar condiciones, alterar su estado dependiendo de parámetros predefinidos, alterar el estado de cosas conectadas y realizar cambios en su entorno circundante • Aumentar el seguimiento y el rastreo de cualquier objeto móvil etiquetado • Gestión y control automático <p>Impacto económico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumenta la eficiencia operativa: Reduce los costos de producción, aumenta la calidad/cantidad del rendimiento, aumentar la productividad y la salud/bienestar animal <p>Impacto medioambiental:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejora los métodos de cultivo y el control en tiempo real de los cultivos • Minimiza la huella ecológica y el impacto ambiental de la práctica agrícola y adapta el manejo de cultivos a los requerimientos del cambio climático • Reduce el uso de agua y otros recursos naturales y mejora la calidad del suelo • Reduce los residuos: la trazabilidad logística y cualitativa de la producción de alimentos permite reducir costos y el desperdicio de insumos mediante el uso de datos en tiempo real para la toma de decisiones <p>Impacto social:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Incremento de la satisfacción del cliente por los productos entregados (facilita y mejora la alimentación, seguridad, protección, calidad, frescura, etc.) • Asegurar que los esquemas de certificación (por ejemplo, orgánicos) sean efectivos y libres de fraude en toda la cadena de suministro de alimentos • Requiere menos mano de obra <p>Impacto de negocios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Crear nuevos modelos de negocio (relación directa con el cliente) y cooperación <p>Impacto tecnológico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sensor inalámbrico de baja potencia • Mejor conectividad de máquina a máquina
Retos	<p>Desafíos organizacionales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Heterogeneidad del sector: no existe una solución única, ya sea tecnológica, modelo de negocio o regulatorio, se ajustará o se adaptará a las necesidades de cada uno • Costos de inversión de capital: el desafío es hacer que las ofertas de IoT sean lo suficientemente atractivas para los pequeños productores a escala con inversión limitada disponible para nueva tecnología • Modelos de negocio y confidencialidad empresarial <p>Desafíos sociales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Falta de requisitos de habilidades técnicas • Aceptación social y del usuario <p>Desafíos tecnológicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • La automatización requiere la recopilación, combinación y análisis de datos de diferentes fuentes • Complejidad de <i>hardware</i> y <i>software</i> • Falta de interoperabilidad • Falta de conectividad en áreas rurales • Poder de procesamiento de datos: la ausencia de servicios de procesamiento de datos dificulta significativamente la IoT • Falta de una gobernanza clara de los datos: el control y la propiedad de los datos de las explotaciones siguen siendo controvertidos • Seguridad, privacidad y anonimato de los datos • Descentralización

Fuente: Lezoche *et al.* (2020).

Tabla 10.
Impactos y retos del análisis del *big data*

Impactos	<p>Impacto funcional:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La analítica descriptiva permite comprender lo sucedido y, por tanto, diagnosticar (identificar patrones, agrupación, identificación de riesgos agroalimentarios, evaluación comparativa, etc.) • El análisis predictivo permite obtener información sobre lo que sucederá o es probable que suceda al explorar patrones en los datos (pronóstico de la demanda, rendimiento, precio, clima, comportamiento del consumidor) • La analítica prescriptiva permite tomar mejores decisiones e influir en lo que debería estar sucediendo, utilizando técnicas de optimización matemática, simulación o toma de decisiones multicriterio (tiempo real en la toma de decisiones, automatización de la robótica, uso de la plantación de cultivos y planificación de la cosecha, distribución, diseño de redes, gestión de riesgos, etc.)
	<p>Impacto económico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejorar la eficiencia operativa en general mediante la automatización y mejores decisiones. • Prescripción de planificación de cultivos óptima basada en datos agrícolas históricos (rendimiento de cultivos, clima, suelo, semillas y fertilizantes) para mejorar la productividad y la rentabilidad de la granja • Semillas y ganado mejor optimizados y nuevas metodologías que mejoran los rendimientos y producción • Entrega más rápida y económica de los bienes producidos a los centros de distribución y consumidores • Decisiones y alertas en tiempo real basadas en datos de campo y equipos • Datos de rendimiento empresarial y de producción integrados para mejorar la toma de decisiones • Datos de funcionamiento racionalizados en múltiples geografías • Nuevos productos de seguros
	<p>Impacto medioambiental:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejor uso de los recursos (tierra, agua, pesticidas, etc.) • Minimizar el impacto de la producción de alimentos • Minimizar el desperdicio
	<p>Impacto social:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejor servicio al cliente • La reducción de riesgos • Transformación de la agricultura tradicional basada en habilidades en digital e impulsada por el conocimiento
	<p>Impacto de negocios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grandes cambios en los roles y las relaciones de poder entre los diferentes actores del <i>big data</i> que forman parte de la red interesadas en agricultura. (por ejemplo, entre agricultores y grandes corporaciones) • Desarrollo de cadenas de suministro más cortas y nuevos modelos operativos • Mejor comprensión de las necesidades de los consumidores y orientación a mercados de mayor valor • Facilitar el desarrollo de plataformas comerciales en línea o cooperativas virtuales en línea • El análisis de datos puede desempeñar un papel importante en el desarrollo de nuevos productos de seguros • En última instancia, las empresas utilizarán macrodatos porque crean valor al resolver nuevos problemas, al igual que resolver problemas existentes más rápido o barato o proporcionar una mejor y más rica comprensión de esos problemas
	<p>Impacto tecnológico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de conseguir avanzar en la consecución de las 5 V: • Volumen (magnitud de datos) • Variedad (datos de fuentes heterogéneas) • Velocidad (velocidad de generación y entrega de datos, que se puede procesar por lotes, tiempo real, casi en tiempo real o simplificado) • Veracidad (calidad de los datos y nivel de confianza) • Valor (detección de valores subexplotados de <i>big data</i> para apoyar la toma de decisiones)

Tabla 10 (cont.).
Impactos y retos del análisis del *big data*

Retos	<p>Desafíos organizacionales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descentralización de <i>big data</i> • Control de <i>big data</i> cuando hay múltiples actores involucrados • Confianza, privacidad y seguridad de <i>big data</i> entre actores • Monetización de <i>big data</i> (transferencia de derechos sobre los datos) <p>Desafíos sociales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Demostrar el valor de las innovaciones en comparación con sus costos, para alentar a las empresas y personas para recopilar e intercambiar datos • Explorar las implicaciones éticas de <i>big data</i> en la alimentación y la agricultura. • Disponibilidad de recursos humanos capacitados para el análisis de <i>big data</i> <p>Desafíos tecnológicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejorando la capacidad de avanzar en la consecución de las 5V • Volumen (los datos aumentarán exponencialmente, lo que representa un desafío para la capacidad de almacenamiento dispositivos) • Variedad (integración sostenible y combinación de datos de diferentes fuentes: sensores, IoT, dispositivos móviles, redes sociales en línea, de forma estructurada, semiestructurada y formatos no estructurados) • Velocidad (procesamiento de datos en tiempo real) • Veracidad (asegura calidad y confiabilidad) • Valor (proporcione más valor y conocimientos a partir de los datos) • Validez (soporte de conectividad en datos). El potencial de conectividad entre sistemas es estar limitado por la falta de estándares de datos comunes u ontologías fáciles de usar. • Combinar los tres niveles de analítica: el rendimiento de la analítica prescriptiva confiar en los de la analítica descriptiva y predictiva, ya que proporcionan el valor de la entrada de parámetros en el modelo prescriptivo • Combinando diferentes técnicas analíticas de datos para desarrollar BDA más avanzadas y modelos de DSS adaptados • Falta de herramientas de apoyo a la toma de decisiones y voluntad de compartir datos • Nuevas herramientas y técnicas BDA para SC distribuido e Integración de computación distribuida con otras tecnologías • Apertura de plataformas para acelerar el desarrollo de soluciones y la innovación en general, pero también empoderar a los agricultores en su posición en las cadenas de suministro
--------------	--

Fuente: Lezoche *et al.* (2020).

Tabla 11.
Impactos y retos de la tecnología de la inteligencia artificial

Impactos	<p>Impacto funcional:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Clasificación: para predecir las categorías de datos de entrada, por ejemplo, los atributos meteorológicos son soleado, ventoso, lluvioso, etc. • Regresión: para predecir el valor numérico, por ejemplo, el precio de las acciones • Agrupación: para organizar elementos similares en grupos. • Análisis de asociación: para encontrar relaciones interesantes entre conjuntos de variables • Análisis de gráficos: utilizar la estructura gráfica para encontrar conexiones entre entidades • Árbol de decisiones: para predecir los conocimientos de modelado de las variables objetivas mediante el aprendizaje de reglas de decisión inferidas de las características de los datos. <p>Impacto económico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reducir los costos de capacitación de los empleados • Cree eficiencias, mejore las soluciones de problemas y reduzca el tiempo necesario para resolver problemas <p>Impacto social:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Combinar múltiples inteligencias humanas expertas. • Reducir la cantidad de errores humanos • Revisar las transacciones que los expertos humanos pueden pasar por alto • Reducir la intervención humana, lo que permite que los expertos humanos se concentren en actividades más creativas <p>Impacto de negocios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toma de decisiones automatizada • El sistema experto aumenta la probabilidad, frecuencia y consistencia de tomar buenas decisiones, efecto aditivo del conocimiento de muchos expertos en el dominio, facilita decisión en tiempo real, bajo o de las decisiones de nivel experto por parte del no experto, mejorar la utilización de la mayoría de los datos disponibles • La capacidad de aprendizaje de la inteligencia artificial, va un paso más allá al no aplicar simplemente predicciones programadas; en su lugar exhiben algunas capacidades de aprendizaje • Transformación de datos: ML e IA pueden ayudar a crear valor al proporcionar a las empresas análisis inteligente de <i>big data</i> y captura de información a partir de una amplia variedad de datos no estructurados <p>Impacto tecnológico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El avance del aprendizaje automático con visión artificial hará que las tecnologías agrícolas sean precisas, robustas y de bajo costo. • La IA se puede utilizar para identificar y limpiar datos sucios o utilizar datos sucios como un medio para establecer conocimiento del contexto de los datos. • La IA contribuye a la velocidad de los datos, facilitando decisiones rápidas basadas en análisis que condice a otras decisiones • La IA contribuye a la mitigación de la variedad capturando, estructurando y comprendiendo los datos • La IA permite el análisis de datos y la toma de decisiones • Desde máquinas inteligentes hasta computadoras inteligentes y programas de inteligencia artificial • Sistemas expertos desarrollados en idiomas regionales para ser más accesibles
Retos	<p>Desafíos sociales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reemplazo de la intervención humana percibida como una amenaza <p>Desafíos tecnológicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • IA para facilitar aún más los desarrollos adicionales en la visualización • Los algoritmos de IA diseñados para entornos de una sola máquina podrían haber sugerido otros análisis en caso de su abordaje diferente • Puede demostrarse que agregar una interfaz de voz al sistema es más beneficioso para los agricultores de la zona remota • Los sistemas expertos no podrán dar las respuestas creativas que pueden dar los expertos humanos. en circunstancias inusuales • Falta de flexibilidad y capacidad para adaptarse a entornos cambiantes • No poder reconocer cuando no hay respuesta disponible • La adquisición de conocimientos sigue siendo el principal obstáculo en la aplicación de tecnologías en nuevos dominios de sistemas expertos • El mantenimiento y la extensión de una base de reglas puede resultar difícil para una base de reglas relativamente grande • Mejorar el IoT con técnicas de aprendizaje automático para analizar los datos capturados por los sensores en tiempo real

Fuente: Lezoche *et al.* (2020).

Tabla 12.
Impactos y retos del *blockchain*

Impactos	<p>Impacto funcional:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejorar la visibilidad en tiempo real, la transparencia, la seguridad, la inmutabilidad, la irrevocabilidad, la neutralidad y confiabilidad para todos los actores de la cadena de suministro • Aumento de la calidad de los datos (asegurando vínculos inmutables entre productos y procesos, más inteligentes y accesibles al mercado) • Mejorar el seguimiento en tiempo real de los productos agroalimentarios y la gestión de productos defectuosos • Mejorar las operaciones y la escalabilidad de forma más rápida, eficaz y de respuesta • Certificación automatizada de seguridad y calidad alimentaria <p>Impacto económico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Menores costos de transacción • Los mercados pueden formar precios más eficientes, ya que las asimetrías de información entre las partes interesadas desaparecen <p>Impacto medioambiental:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reducción de residuos debido a la mejora de la trazabilidad <p>Impacto social:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejora la satisfacción del cliente al garantizar la seguridad y la calidad de los alimentos • Desintermediación: No es necesaria para intermediarios y terceros de confianza debido a contratos inteligentes • Reducción del riesgo de los actores involucrados • Usuarios empoderados: Los usuarios tienen el control de toda su información, incluso mejor informados consumidores <p>Impacto de negocios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Integridad del proceso: los usuarios pueden confiar en que las transacciones se ejecutarán exactamente como el protocolo ha definido, ya que elimina la necesidad de un tercero de confianza. Mejorar la colaboración de los miembros • Desintermediación y operaciones descentralizadas <p>Impacto tecnológico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aborda desafíos en internet de las cosas como la descentralización, el anonimato y seguridad
Retos	<p>Desafíos organizacionales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Situación regulatoria incierta y marcos legales complejos <p>Desafíos ambientales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gran consumo de energía <p>Desafíos sociales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Falta de la habilidad técnica requerida • Adopción cultural: <i>blockchain</i> representa un cambio completo hacia una red descentralizada, lo que requiere la aceptación de sus usuarios y operadores <p>Desafíos tecnológicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Integración de <i>blockchain</i> con otras tecnologías (BDA, IoT, CPS) • Estrategias para la transición: Las aplicaciones <i>blockchain</i> ofrecen soluciones que requieren importantes cambios o reemplazo completo de los sistemas existentes • Capacidad de almacenamiento y escalabilidad limitadas • Control, seguridad y privacidad: Mientras existan soluciones, incluidas las cadenas de bloques privadas o autorizadas, todavía existen preocupaciones de seguridad cibernética, lo que dificulta que el público en general confíe sus datos personales a una cadena de bloques solución • Problema de rendimiento y latencia: En el contexto de la gestión de la cadena de suministro agroalimentaria, debido a la restricción original del tamaño del bloque y el intervalo de tiempo utilizado para generar un nuevo bloque, la capacidad de procesamiento actual de <i>blockchain</i> no puede cumplir con los requisitos de procesando millones de transacciones en tiempo real • Desafíos de infraestructura y desarrollo de capacidades: solo se puede aplicar mientras hay conexión a internet disponible, lo que aún puede ser un desafío en algunos países en desarrollo

Fuente: Lezoche *et al.* (2020).



Automatización

1. Introducción

De lo manual a lo mecanizado

El ser humano ha desarrollado métodos y técnicas novedosas que le han permitido mejorar la calidad de las tareas realizadas, disminuyendo consigo el tiempo dedicado a llevar a cabo las acciones y, por tanto, a perfeccionar la eficacia y efectividad de los procesos. Uno de sus deseos tradicionales ha sido mecanizar y automatizar las tareas y, actualmente, robotizarlas.

El acto de mecanizar se define como la implantación de máquinas para realizar las operaciones de campos diversos (Cañavate, 2012), automatizar se define como la conversión de *ciertos movimientos en movimientos automáticos o indeliberados* (RAE, 2021), mientras que robotizar se refiere a *automatizar acciones u operaciones mediante la utilización e instalación de robots* (Léxico, 2021).

En este sentido, el ser humano comenzó a mecanizar sus tareas desde la prehistoria con el desarrollo de instrumentos simples que le permitieron minimizar los esfuerzos y aumentar la productividad de las tareas. La mecanización también se introdujo en la producción de alimentos. Algunas tareas costosas, como la extracción de agua; se mecanizaron hace cientos de años con el desarrollo de instrumentos hidráulicos novedosos para la época como la noria (Torres Balbás, 1940).

El avance en esta rama de conocimiento ha sido progresivo, sin embargo, se ha acelerado desde las revoluciones industriales.

La mecanización y motorización de la industria comenzó durante la segunda mitad del siglo XVIII. Sin embargo, en materia de agricultura no fue hasta el siglo XIX cuando empezaron a usarse las primeras máquinas de vapor, aunque no se expandió de manera común hasta la tercera revolución agrícola, que inició a partir de la década de los sesenta del siglo XX. La llegada de la revolución verde introdujo nuevas formas de mecanizar y automatizar los procesos agrícolas y ganaderos, y han servido para facilitar diversas labores como la siembra y recolección de los cultivos, principalmente, extensivos.

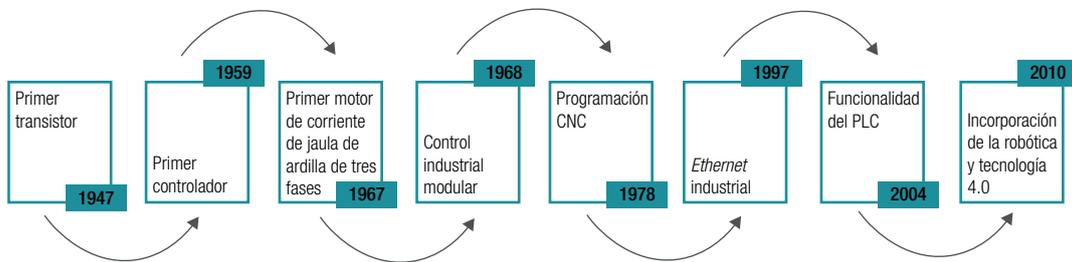
En la actualidad cerca del 60 % del tiempo dedicado a la producción primaria de alimentos podría ser reducido gracias a la automatización de las tareas (Food Unfoled, 2021).

El progreso acelerado

En la historia reciente se han registrado diferentes hitos que han facilitado la evolución de los procesos de mecanización, automatización y robotización. Se encuentran resumidos en la línea temporal de la Figura 1. La creación del primer ordenador, los Controladores Lógicos Programables (PLC), el Control Directo, el Control Numérico Computarizado (CNC) o la incorporación de la funcionalidad PLC ha ocurrido en poco más de sesenta años y han ocasionado un crecimiento exponencial en la creación de nuevos productos electrónicos los cuales pueden ayudar a mecanizar las tareas del sistema agroalimentario.

Figura 1.

Línea temporal de los principales descubrimientos que han facilitado la automatización de los procesos



Fuente: Automatización Industrial 360 (2020). Elaboración propia.

El objetivo de este capítulo es ofrecer una visión de las tecnologías novedosas que disponen los distintos agentes del sistema agroalimentario para automatizar y robotizar sus procesos productivos.

2. Producción agrícola

2.1. La conducción autónoma

En la actualidad, los sistemas de conducción asistida o autónoma de la maquinaria agrícola se pueden dividir en tres niveles (Márquez, 2013 y Vrochidou *et al.*, 2022)

El primero de ellos es el más básico y consiste en dotar al conductor de la maquinaria agrícola de una asistencia de conducción a través del sistema de navegación por posicionamiento, sin que este pierda el control sobre el tractor.

En el segundo nivel, el conductor pierde el control del sistema de dirección del vehículo, que es dirigido a través de un mecanismo electrohidráulico o mecánico mediante la señal que recibe desde

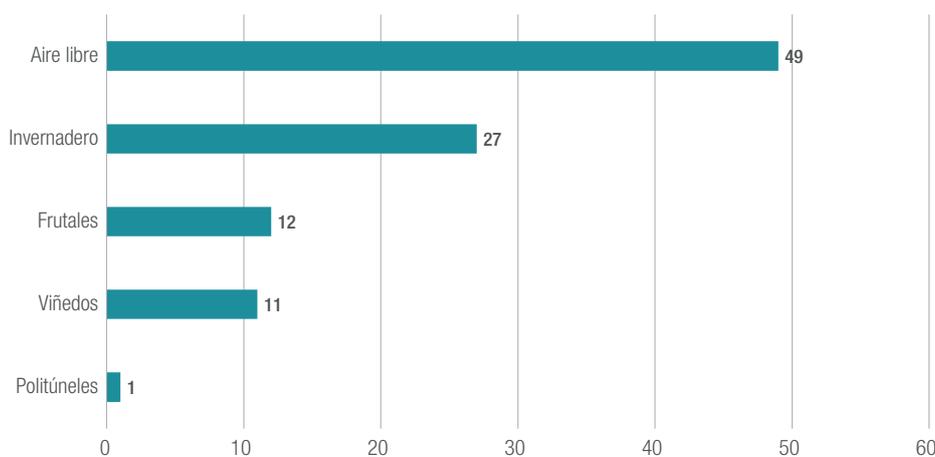
el sistema de navegación por posicionamiento de la maquinaria que, además, puede coordinar la logística de cooperación de vehículos. Con ello, el operario puede centrarse en controlar los equipos que puedan ir conectados a las tomas de fuerza de la maquinaria, tales como pueden ser aperos para la preparación del terreno, trasplantadoras, equipos de aplicación de agroquímicos, sembradoras, etc.

Los equipos acoplados en los dos primeros niveles de conducción pueden ser robots inteligentes que realicen de forma automática las operaciones (por ejemplo, trasplante, aclareo de lechuga o escardado mecánico), quedando relegado el operario, en algunas ocasiones, como un mero espectador que supervisa una acción repetitiva.

Con el tercer nivel se consigue desligar por completo la acción y supervisión humana de la maquinaria y los equipos que puedan ir adheridos a esta (robots autopropulsados). A través de un vasto conjunto de sensores, el sistema de navegación por posicionamiento, procesadores y técnicas de inteligencia artificial se consigue dotar de una autonomía total al tractor, permitiéndole identificar aquellos obstáculos que se encuentren en su trayectoria, guiar a la maquinaria y controlar a los equipos adheridos a ella. En el Gráfico 1 se muestra el número de robots disponibles para distintos sistemas de cultivo en la actualidad.

Gráfico 1.

Sistemas productivos para los que se han desarrollado sistemas robotizados. En número de robots



Algunos equipos autónomos han incorporado fuentes de energía renovables. Se ha conseguido a través de instalar placas solares en los equipos (Figura 2), con lo que se consigue descender la emisión de gases de efecto invernadero y dotarle de autonomía. Su desarrollo, sin duda, permite expandir la sostenibilidad de los modelos agrícolas a través de aplicar una precisión milimétrica a las distintas operaciones de cultivo e insumos aplicados a los sistemas agrícolas, además, de ofrecer una alternativa a la escasez de mano de obra que padecen los modelos productivos emplazados en los medios rurales.

Figura 2.
Tractor autónomo que emplea energía solar desarrollado por Kubota

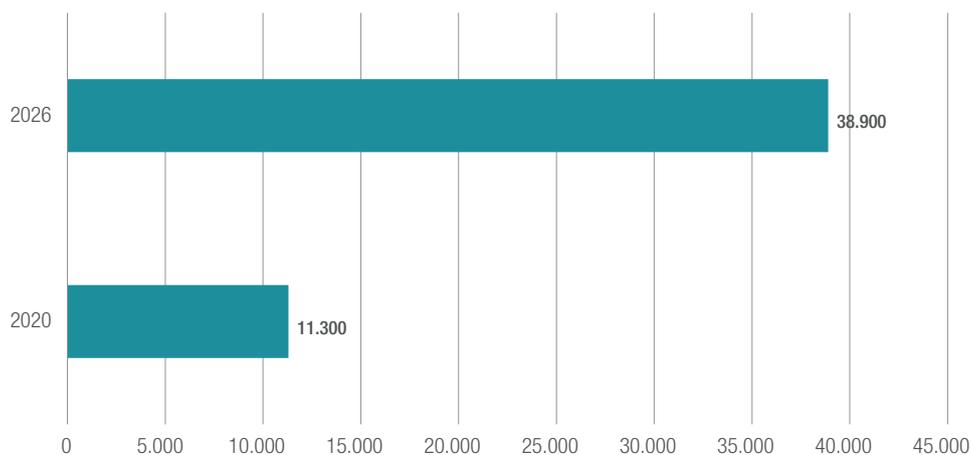


Fuente: Kubota.

El control de los robots puede realizarse a través de *apps* instaladas en dispositivos como *Smartphones* o *Tablets*, lo que facilita su programación.

La previsión para 2026 es que se incremente un 244 % el número de equipos agrícolas autónomos frente a los registrados en 2020 (Gráfico 2). Además, se estima que su mercado alcance el valor de 150.000 millones de dólares estadounidenses en 2031 (Mordor Intelligence, 2021). Algunas de los principales grupos empresariales de maquinaria agrícola ya cuentan con prototipos de equipos autónomos o kits de reconversión para disminuir el impacto económico de la transformación (Tabla 1).

Gráfico 2.
Evolución del número de tractores autónomos. En número de tractores



Fuente: Mordor Intelligence.

Tabla 1.Empresas obtentoras de tractores autónomos o *kits* de automatización para reconversión de los tractores

Nombre	Función
Bear Flag Robotics	Kits para la robotización de tractores
John Deere 1R	Tractor autónomo
CASE IH	Tractor autónomo
New Holland-NH Drive	Tractor autónomo
Grupo Kubota	Tractor autónomo con energía solar

Fuente: elaboración propia.

2.2. La aplicación de agroquímicos

La aplicación de agroquímicos es una actividad que se realiza de manera común en los distintos sistemas agrícolas para mantener y/o aumentar el rendimiento de los cultivos. Por ello se han desarrollado diferentes equipos para hacer frente a estas demandas.

En materia de aplicación de fitosanitarios destacan los aplicadores hidráulicos de barra y atomizadores. En cuanto a fertilizantes las abonadoras por gravedad, centrífugas o neumáticas o equipos de fertirriego localizado.

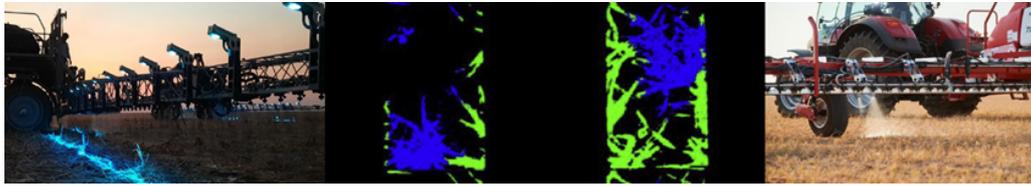
La implantación de estos dispositivos no ha sido similar entre todos los subsectores agrícolas debido a los requerimientos específicos de cada uno de ellos. Los aplicadores hidráulicos de barra se encuentran adaptados a las necesidades de los cultivos extensivos de bajo porte, mientras que los atomizadores se destinan principalmente a los cultivos frutales. Las abonadoras por gravedad, centrífugas o neumáticas se destinan fundamentalmente a los cultivos de secano mientras que los equipos de riego localizado a los cultivos de regadío (Cañavate, 2012).

2.2.1. Aplicación variable y selectiva de agroquímicos

En materia de aplicación de fitosanitarios se han desarrollado aplicadores inteligentes accionados mediante sensorica. Con ello se consigue una aplicación selectiva y dirigida de fitosanitarios, pudiendo llegar a un nivel de presión de hasta una planta individual o áreas de cultivo. La precisión comunicada puede variar desde un 72 % hasta un 95 % (Fountas *et al.*, 2020).

En cultivos extensivos de porte herbáceo existen aplicadores capaces de detectar las malas hierbas a través de visión computacional (por ejemplo, detección con sensores ultrasónicos u ópticos) y aplicar sobre ella una cantidad de herbicida individualizada (Daobilige *et al.*, 2021), lo cual es extensible a la aplicación de formulados empleados para luchar contra las plagas y enfermedades (Figura 3).

Figura 3.
Aplicación selectiva de productos fitosanitarios en cultivos herbáceos

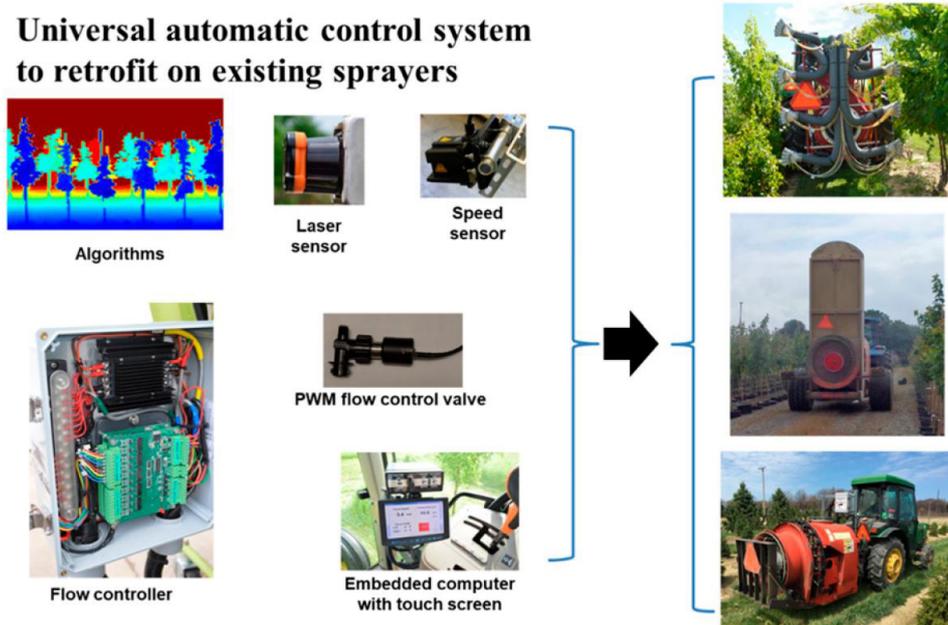


Fuente: Daobilige *et al.* (2021) y Weedit.

En cultivos frutícolas el principio de funcionamiento es diferente. Los aplicadores detectan el volumen ocupado por el follaje del árbol y ajustan de manera individual los requerimientos de caldo para cada árbol, pudiendo segmentar el cuerpo del vegetal en distintas alturas para aplicar una cantidad de producto diferente entre estas (Chen *et al.* 2021). Además, suprimen la aplicación de biocida en los espacios existentes entre los árboles dentro de las líneas de plantación (Figura 4).

El ahorro en agroquímicos puede variar desde el 35 % hasta el 65 % de la cantidad aplicada por el método tradicional (Chen *et al.*, 2021).

Figura 4.
Aplicación selectiva de productos fitosanitarios en cultivos frutales



Fuente: Chen *et al.* (2021).

En los invernaderos se han identificado dos enfoques para automatizar esta operación: robots que se mueven utilizando el sistema de tuberías de calefacción del invernadero y robots que navegan de manera autónoma por los pasillos de este (Figura 5). La pulverización selectiva requiere un sistema de detección preciso y, por lo tanto, es necesario montar sensores avanzados en el robot. Finalmente, el sistema de pulverización (boquillas) podría montarse directamente en una plataforma o en un brazo robótico con varios grados de libertad (Fountas *et al.*, 2020).

Figura 5.
Aplicador de fitosanitarios robotizado para invernadero



Fuente: Fundación Encuentro.

En materia de aplicación de fertilizantes las innovaciones son similares. Así, se han desarrollado abonadoras capaces de depositar los fertilizantes en el área de influencia de las raíces de los árboles (ya sea en superficie o en profundidad) a través de la detección de su tronco (Figura 6). Por otro lado, a través del uso de sensores ópticos también se pueden detectar cambios *in situ* en el follaje de las plantas, imperceptibles al ojo del ser humano, y variar la dosis de aplicación en función de este parámetro, lo cual puede verse complementado a través de mapas realizados mediante teledetección y el sistema de navegación por posicionamiento.

Actualmente, también se están desarrollando e implementado sondas a las abonadoras. Estas son capaces de detectar *in situ* variaciones en los elementos nutritivos del suelo y, con ello, realizar ajustes en la dosificación de los fertilizantes.

Figura 6.
Abonadora selectiva



Fuente: Sembradoras GIL.

Tabla 2.
Sistema de aplicación variable de agroquímicos (fitosanitarios y fertilizantes)

Fitosanitarios		Parámetro de ajuste
Atomizador inteligente	Pulverizadores Fede-Grupo Kubota	Masa vegetal del árbol
Sistema de Nebulizador Inteligente Smartguided	Smart Guided Systems	
Sensor Pulverización Selectiva	Weedit	Identificación selectiva de la mala hierba
Pulverizador selectivo	John Deere- Blue River Technology	
Sistema de pulverización selectiva	Greeneye Technology	
WeedSeeker	Trimble	
Aplicador selectivo autónomo	Terran	
Robot Spray	ceiA3	Robot de aplicación autónoma de fitosanitarios
Fertilizantes		
Multicote™ Agri	Haifa-ID-David	Detecta el tronco del árbol y aplica la cantidad precisa a cada unidad
FERTIFRUIT	Sembradoras GIL	
Controlador de Dosis GreenStar™ - Líquido	John Deere	Controlador de dosis en pulverizaciones y sistema de fertilizante líquido (detección previa de rodales)

Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Una alternativa a la aplicación de fitosanitarios

Existen sistemas alternativos a la aplicación fitosanitarios. Los sistemas desarrollados incluyen escardado mecánico, arrancando, quemando o cortado de la mala hierba. La precisión varía de entre 6 a 30 mm y su eficiencia oscila entre el 65 % y el 90 %. El elemento más crítico es la detección de la mala hierba y su destino principal son los cultivos extensivos.

Una tecnología disruptiva en este campo es el uso de láseres de alta potencia con capacidad de eliminar las malas hierbas tras ser identificadas mediante inteligencia artificial. Se han instalado en vehículos guiados de forma autónoma (Figura 7).

Figura 7.
Robot eliminador de malas hierbas con láser de alta potencia



Fuente: Carbon Robotics.

2.3. Sembradoras y trasplantadoras

La acción de sembrar o trasplantar consiste en depositar en el terreno materiales reproductivos (por ejemplo, semillas o simientes) en las condiciones requeridas para su desarrollo (Cañavate, 2012).

En los cultivos herbáceos se ha conseguido automatizar la operación mediante sembradoras capaces de depositar las semillas sobre toda la superficie del suelo o en línea.

En el primer grupo destacan las sembradoras a voleo. Se emplean principalmente para realizar la siembra de semillas de pequeño tamaño de especies pratenses a través de sembradoras centrífugas, de descarga libre, aérea o hidrosiembra.

En el segundo grupo se identifican las sembradoras a chorrillo, golpes o monograno. Los dos últimos tipos de sembradoras se incluyen dentro del selecto grupo de «sembradoras de precisión». Sin embargo, en algunas ocasiones se excluye a las sembradoras a golpes por depositar varias semillas por «golpe de siembra» a una distancia similar pero no idéntica. Estas sembradoras se destinan a especies de «grano grueso» como el maíz, algodón y leguminosas.

Las sembradoras monograno, en cambio, son capaces de depositar una semilla por «golpe de siembra» a distancias similar a lo largo del área de trabajo. El desarrollo de los sistemas de autoguiado ha potenciado su capacidad al permitirle identificar con precisión la ubicación de las líneas de cultivo (Figura 8). Con este tipo de maquinaria se consigue diferentes ventajas:

- Reducción del uso de semillas
- Exactitud en la superficie unitaria de cultivo
- Reducción de la mano de obra en labores como el aclareo
- Facilita las labores mecanizadas
- Mejores condiciones de recolección

Figura 8.
Sembradora monograno



Fuente: Más que máquinas agrícolas.

La siembra de tubérculos se ha conseguido mecanizar a través del uso de plantadoras. Estos equipos automáticos han conseguido realizar de forma mecánica las operaciones de apertura y cierre de surcos, colocación del tubérculo y aporcado del surco. Sin embargo, su correcto funcionamiento del equipo depende de la uniformidad en tamaño de la simiente y de la pendiente y homogeneidad del terreno.

Por otro lado, las máquinas trasplantadoras permiten el trasplante mecanizado de las plántulas o plantones producidos en semillero (por ejemplo, especies hortícolas, frutales, etc.). Estos equipos deben depositar el material reproductivo en posición erecta con las raíces extendidas, además, de comprimir el terreno para favorecer el desarrollo del vegetal (Figura 9).

Figura 9.
Trasplantadora automática de plántulas



Fuente: Ferrari Costruzioni Meccaniche.

El sistema de navegación por posicionamiento de los tractores permite depositar el material reproductivo con una precisión milimétrica dentro de las líneas de plantación preestablecidas. Se consiguen unos beneficios similares a los anteriormente comentados para las sembradoras monograno.

2.3.1. La recolección mecanizada

En la actualidad se dispone de una amplia gama de cosechadoras, realizado la operación tanto de una forma indiferenciada como selectiva. Su aplicación mayoritaria son los cultivos herbáceos o cultivos de carácter industrial (Figura 10). Se pueden complementar, en los casos donde se requiera de su aplicación, con equipos que agilizan las operaciones post-cosecha, como, por ejemplo, el henificado o el empaquetado en los de las especies forrajeras, o el precalibrado en frutas.

El uso de cosechadoras implica transformar los sistemas productivos, donde destaca el uso de variedades comerciales o técnicas de cultivo adaptadas a los requerimientos de los equipos.

La recolección mecanizada de los cultivos frutales suele requerir de un cambio de los marcos de plantación y podas.

Figura 10.
Disponibilidad de recolección mecanizada en distintos cultivos

Cultivos de naturaleza industrial	Cultivos de forraje y de grano, algodón, patata, remolacha azucarera, caña de azúcar, tomate, judía, guisante, lechuga, espárrago, cebolla, zanahoria, puerros, ajos, fresas, frambuesas, vid, uvas pasas, apio, frutos secos, cítricos, olivo intenso y superintensivo, cereza
Cultivos de alto valor	Fresa, manzana, cítricos hortalizas

Fuente: elaboración propia a partir de Cañavate (2012), Fountas *et al.* (2020), Dot.la (2022), Innovagri (2014) y Sola-Guirado *et al.* (2020).

En las plantaciones intensivas de olivos se ha requerido variar la poda de formación, reduciendo a uno el número de brazos por árbol; para permitir la recolección mecánica de la mercancía con equipos vibradores equipados con paraguas invertidos instalados los tractores (Figura 11). Estos equipos también pueden emplearse en otros frutales de hueso o en los árboles de frutos secos.

Figura 11.
Vibrador con paraguas invertido



Fuente: Más que máquinas agrícolas.

En las plantaciones de olivos superintensivas la poda de formación debe ser en un solo plano, requiriéndose, además, un incremento del número de plantas por línea de cultivo (Márquez, 2009) (Figura 12). Este sistema de plantación permite la recolección mecanizada de otros frutales como la vid, cerezo, cítricos, olivar, etc.

Por su parte, también existen requerimientos en las variedades usadas. En la recolección mecanizada del tomate con destino industrial se requieren de variedades de porte determinado (por ejemplo, crecimiento del vegetal limitado normalmente a tres ramilletes florales) y de maduración retardada. Con ello se consigue ajustar el momento de recolección, cosechando la plantación de una sola vez (Maqua-González y Campillo-Torres, 2017).

Sin embargo, la recolección es una de las labores que más dificultades ha presentado para su mecanización, principalmente para los cultivos de alto valor destinados a consumo en fresco, donde el daño mecánico de la mercancía deprecia comercialmente su valor económico. Para ello se están desarrollando instrumentos adaptados a las necesidades de estos cultivos, que, además, se están dotando de total autonomía de movimiento, la cual puede ser terrestre o aérea a través de drones. Esta tecnología expande la recolección mecanizada a cultivos frutales y bajo invernadero de alto valor.

Figura 12.
Cosechadora de olivar superintensivo



Fuente: Dyea.

Los nuevos equipos de recolección se están dotando de sensores, inteligencia artificial y brazos mecánicos terminados en pinzas o aspiradoras que permiten cosechar cuidadosamente los frutos (Figura 13). Además, los instrumentos son capaces de clasificar los frutos en función de su índice de madurez, tamaño, masa y aspecto, por lo que pueden realizar la recolección de una forma selectiva, cosechando aquellos frutos que se encuentren con un grado de madurez óptima.

Figura 13.
Nuevos sistemas de recolección de frutas y hortalizas. A la izquierda un sistema de recolección de pinza robótica y a la derecha un sistema recolección mediante aspiración



Fuente: Good Fruit Grower.

El rendimiento de los robots puede variar en función del tipo de cultivo que recolecte. En cultivos de fresa la velocidad de cosecha varía desde 7 a 11 segundos por fresa. En cultivos de pepino 45 segundos por fruto con una tasa de recolección del 80 %, mientras en que cultivos de berenjena la velocidad de recolección asciende a 64 segundos y la tasa de recolección desciende a 62 %. Las hortalizas, en general, representan un grupo prometedor de cultivos en los que se podrían implementar sistemas robóticos. Otros cultivos que han sido objeto de atención son las manzanas y los tomates, e incluso los cítricos (Fountas *et al.*, 2020).

2.3.2. Otras operaciones automatizadas

Fountas *et al.* (2020) destaca otras actividades agrícolas que pueden ser automatizadas:

- *Monitorización del vigor de las plantas:* se han desarrollado varios robots de monitoreo de plantas. Se encuentran en un nivel de madurez inicial debido al alto costo de los sensores que se utilizan. Como resultado, el enfoque principal se ha centrado en cultivos de alto valor y en cómo los sistemas robóticos pueden reemplazar de manera efectiva a los humanos en las tareas de monitoreo. Estos constan de una serie de sensores relacionados con la visión, como varios tipos de cámaras (RGB, hiperespectrales, multispectrales, etc.), y se incorporan sensores LiDAR en los robots, con el fin de monitorear el volumen, la vegetación y la salud de las plantas.
- *Fenotipado:* el monitoreo y el fenotipado de plantas tienen mucho en común, ya que, en ambos casos, los sistemas de visión se utilizan para recopilar la mayor cantidad de información posible sobre la planta/fruta bajo inspección. La diferencia es que los robots de fenotipado se enfocan más en la morfología, el crecimiento de las plantas y los rasgos que contribuyen al rendimiento de los cultivos, mientras que los robots de monitoreo de plantas se enfocan en el estado, la salud y la composición química de la planta.
- *Robots de manejo del cultivo.* Se enfocan en el manejo de materiales, poda y entrelazado de hilos. Los robots de poda deberán poder hacer frente a desafíos clave específicos relacionados con la arquitectura del cultivo, como la altura y el diámetro de las ramas. En este sentido, los sensores adecuados deben estar disponibles en la plataforma; es decir, sensores de fuerza, un sistema de visión, un actuador final de varios grados de libertad y, en segundo plano, algoritmos que decidirán la poda óptima por planta.
- *Sistemas robóticos multiusos:* para permitir que el robot ejecute más de una tarea, se han identificado tres enfoques principales: diseñar un robot que pueda montarse con diferentes equipos, diseñar un robot modular o proporcionar el robot con todas las herramientas desde el principio. Hay robots que incorporan solo sensores de humedad y temperatura, robots que combinan sensores de humedad, temperatura y cámaras a color, y robots que solo están equipados con cámaras a color. Los ejemplos combinan tareas como arado, siembra, cosecha y fumigación o siembra, aspersión, escardado y cosecha.

3. Producción ganadera

3.1. Manejo de los animales

3.1.1. Identificación automática de los animales

La identificación de los animales es una operación esencial para llevar un registro de la identidad, variables de crecimiento, bioseguridad y actuar contra el robo de los animales (Hamadani y Alam, 2015).

Automatizar la identificación ha implicado dotar al animal de un transpondedor que comparte los datos recolectados hacia un registrador de eventos. Con ello se puede mejorar, además, la alimentación y el manejo de los animales.

Así, se pueden distinguir tres sistemas de transpondedores:

- *Chips de radiofrecuencia (RFID)*: existen diferentes tipos de transpondedores de radiofrecuencia, los cuales pueden ir acoplados en un collar, podómetros, bolos ruminales, las orejas del animal o en microchips implantados bajo la piel. El RFID instalado en los animales se activa a través de señales electromagnéticas que se emiten desde las antenas y que transmite un código respuesta. El acumulador de datos se encarga de registrar los distintos movimientos de los animales. Se emplean fundamentalmente en las explotaciones ganaderas con vocación láctea, aunque se empiezan a implantar en otras aptitudes por la alimentación de precisión.
- *Posicionamiento global*: se dota al animal de un transpondedor capaz identificar la posición de los animales con un sistema de navegación de posicionamiento satelital, tal como puede ser el sistema GPS. El destino fundamental de esta tecnología es para explotaciones ganaderas extensivas en régimen de pastoreo, donde los animales pueden distribuirse por una amplia área geográfica. También destaca su uso en apicultura para detectar posibles robos de las colmenas.
- *Imagen de retina*: para ello se identifica por el patrón vascular de la retina, el cual es único entre animales, incluso, entre gemelos. Este tipo de sistema permite una identificación permanente de ganado en las explotaciones.

3.1.2. Sistemas automáticos de pesaje

En las explotaciones ganaderas se ha comenzado a registrar la masa de los animales para detectar alteraciones en los patrones de crecimiento y velar así por el bienestar de los animales (Aydin, 2021).

En las explotaciones de porcino se pueden instalar básculas en el interior de los *boxes* de engorde. Estos instrumentos cuentan con una envoltura de plástico que permite una alta transmisión de luz

y ofrecer así unas condiciones apetecibles tanto de luz y temperatura para que el animal entre voluntariamente en el interior de la báscula y registrar así su masa. El instrumento se encuentra abierto por ambos extremos (Figura 14).

Figura 14.
Báscula inteligente destinada para las explotaciones de porcino



Fuente: Hotracro Agri.

En ganado bovino, la báscula se instala en un corredor que conecta dos correales. En uno de ellos se instala el sistema de alimentación de la explotación o sala de ordeño. La masa del animal se registra durante su paso por la báscula cuando va a buscar alimento (Figura 15).

Figura 15.
Báscula inteligente destinada para las explotaciones de vacuno

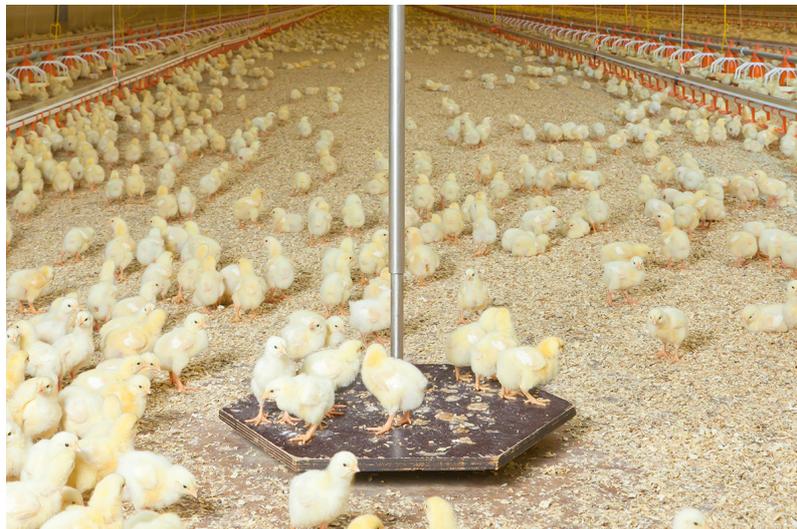


Fuente: INTA.

Tras el registro e identificación con sus respectivos chips, la información se almacena y trata en con un *software* especializado y pueden detectarse anomalías en la masa de los animales.

En explotaciones avícolas también se ha expandido esta tecnología. Sin embargo, debido al alto número de aves que puede depositarse sobre las básculas, las interacciones diversas que pueden realizar con el pico y su apoyo con una sola pata pueden desembocar en la obtención de datos erróneos (Figura 16). Para ello se ha desarrollado un sistema que permite mejorar la precisión de la medida utilizando una estadística fija que posibilita la identificación de la masa del grupo de aves en un intervalo de tiempo. Sin embargo, solo el 25 % de las pesadas son útiles. No obstante, debido a la naturaleza de las explotaciones avícolas no puede llevarse un registro de la masa individual de cada ave (Berckmans y Norton, 2016).

Figura 16.
Báscula inteligente destinada para explotaciones avícolas



Fuente: Big Dutchman.

3.1.3. Separación de los animales

En explotaciones ganaderas con régimen de pastoreo se pueden hacer uso de reguladores de la posición de los animales.

El instrumento tradicional son los pastores eléctricos, que generan impulsos de corriente sobre los cercados instalados sobre el perímetro de las parcelas. El estímulo eléctrico presenta un voltaje que causa una breve molestia al animal, pero ningún daño sobre este. Con ello se consigue establecer una barrera psicológica que impide a los animales que salgan del espacio asignado. Este cercado puede combinarse con barreras automáticas que pueden permitir o restringir el paso del animal hacia otras parcelas.

La evolución de estos sistemas son las denominadas barreras virtuales que permiten eliminar las barreras físicas que se instalan en las parcelas ganaderas. La posición del animal se controla a través de un dispositivo de geoposicionamiento, localizado en un collar o en un crotal, y se restringe su salida del área seleccionada por el productor a través de imágenes satelitales. Cuando el ganado sobrepasa esta barrera virtual recibe tres señales advirtiéndole que debe salir del área restringida (Figura 17). El orden de los avisos sería una señal acústica, una vibración y una pequeña descarga eléctrica que cause sobre este una pequeña molestia. El ganado debe recibir un entrenamiento previo en corrales amplios.

Figura 17.
Barreras virtuales para explotaciones ganaderas



Fuente: Bastó.

3.1.4. Sistemas de bienestar animal

Sistemas de monitorización del comportamiento

Se pueden identificar diferentes sistemas para monitorizar el comportamiento del ganado.

La termografía permite realizar un diagnóstico del ganado a través de cámaras térmicas que se instalan en las explotaciones ganaderas, creando consigo un termograma a través de la radiación infrarroja que emite y reflejan los animales (Aydin, 2021).

Este sistema permite la detección automática del estado de salud del ganado mediante un método no invasivo y sin causar molestia alguna y daño al animal. Su destino es diverso, pudiendo instalarse

tanto en explotaciones avícolas, porcinas, equinas o bovinas. Sin embargo, su aplicación se dificulta en las explotaciones extensivas, pues existen diferentes factores externos que pueden alterar los resultados del sistema, tales como pueden ser las condiciones ambientales o la suciedad adherida a los animales (Rodríguez *et al.*, 2008).

Estos sistemas, además, pueden combinarse con cámaras o audífonos para registrar el comportamiento de los animales. Se estima que cerca del 90 % de los problemas de salud del ganado puede detectarse de manera automática con sensórica e inteligencia artificial.

En ganado porcino, por ejemplo, el análisis del sonido de los cerdos permite detectar sus enfermedades de 2 a 10 días antes que la detección tradicional (Comisión Europea, 2017). En ganado vacuno destaca la detección precoz de la cojera de los animales.

En explotaciones avícolas, el sistema analiza la distribución de los animales sobre la superficie del suelo y, en caso de detectar una distribución anómala, envía un mensaje al ganadero alertándole de este hecho. (Berckmans y Norton, 2016).

Los dispositivos pueden integrarse en robots. Así, para las explotaciones avícolas se ha desarrollado un dispositivo móvil que es capaz de sobrevolar a las aves en búsqueda de anomalías (Figura 18).

Figura 18.

Robot de vigilancia para las explotaciones avícolas



Fuente: Big Dutchman.

Sistemas de detección del celo

Durante el celo se producen diferentes cambios de comportamiento y fisiológicos que permiten identificar ese estado fisiológico en el ganado (Hamadani y Alam, 2015; Bovitime, 2022).

La actividad de los animales se incrementa mientras que se interrumpe el consumo de alimentos, disminuye el tiempo de rumia, en caso de ser animales rumiantes; se incrementa la temperatura corporal del animal y se producen cambios hormonales.

Basados en estos cambios, se han desarrollado diferentes instrumentos que permiten detectar estas alteraciones. Una de estas tecnologías son los podómetros y acelerómetros, instalados en collares o en las extremidades, que permiten detectar variaciones en los patrones de comportamiento. También pueden instalarse parches de desgaste entre la cadera y base de la cola, sensores de presión en la cabeza y cola del ganado, que detecta cuando esta es montada; un sistema visual que permite realizar una inspección de los parches de calor instalados en los animales o a través de termografía. También puede hacerse uso de análisis hormonales para identificar cambios en la progesterona láctea o en la resistencia del moco vaginal. Algunos de estos sistemas son específicos para el ganado vacuno, aunque su uso también es extensible para otros animales bovinos o monogástricos.

En explotaciones porcinas, la detección automática puede realizarse a través de la colocación del verraco en un *box* cercano a las instalaciones de las madres. El sistema de identificación tipifica identifica las hembras que se han incrementado el número de aproximaciones al macho.

Los sistemas de detección del celo pueden conectarse a través de un sistema de control integral que analiza los datos recolectados e identifica el estro de los animales, notificando y detallando al productor un listado de reproductoras que se encuentran en celo gracias a su reconocimiento electrónico individual.

DetECCIÓN automática de nacimientos

El parto es uno de los momentos de mayor importancia en las explotaciones. Las madres pueden sufrir dificultades en parto, experimentar una reducción en la producción de leche o padecer de una infección uterina, por lo que su control, es de vital importancia (Hamadani y Alam, 2015).

El riesgo se incrementa en las explotaciones en régimen extensivo debido al menor control que se puede aplicar por la dispersión existente del ganado sobre la superficie del terreno.

Por ello, la asistencia, monitorización y control automático del momento del parto debe considerarse como un aspecto de importancia capital. Se han desarrollado sensores capaces de instalarse en los labios de la vulva del ganado vacuno. Se instalan cerca del momento del parto y cuando se produce, el sistema, detecta la expulsión de tejidos fetales y emite un aviso al ganadero (Figura 19).

Figura 19.

Sensor para detectar el parto en ganado vacuno



Fuente: Mocoall.

Las básculas inteligentes también posibilitan este control, llevando un registro de la masa del animal y detectado cuando este parámetro sufre una depresión pronunciada a causa del parto.

Sistemas de control de las condiciones ambientales

El control automático de las condiciones ambientales halladas en el interior de las explotaciones ganaderas en régimen de interior es una cuestión de importancia debido a influencia sobre el bienestar animal y la productividad de la granja (Aydin, 2021; Fernández, 2019).

La sensorización ambiental permite la identificación de los indicadores clave para su control.

Los gases de mayor interés en las explotaciones son el amoníaco y, en menor medida, el óxido de nitrógeno y el metano. El primero y el segundo se producen fundamentalmente a partir del suelo (camas) y de las deyecciones ganaderas. El tercero es producido principalmente por los rumiantes y los microorganismos metanogénicos de forma natural. Su medición puede ser compleja de realizar debido a la necesidad de ejecutarla en una zona próxima a la boca del animal a causa de la volatilidad del compuesto. Por ello, una alternativa es su medición es a través de un lector de infrarrojos. Por otro lado, se está desarrollando un sistema experimental que emplea cámaras de ambiente controlado y permite cuantificar el gas a partir de la fermentación de los alimentos que consumen.

La variación de la temperatura y humedad de las granjas también influyen de manera capital sobre la productividad. El *temperature humidity index* (THI) mide el impacto de estas variables sobre la productividad y salud de los animales. Por ejemplo, en explotaciones lecheras de vacuno una temperatura de 22 °C y el 90 % de humedad puede descender la producción de leche en más de dos kilogramos. Mantener un THI adecuado también beneficia a la reproducción y a la prevención

de enfermedades como la mastitis. Así, la producción de células somáticas – correlacionadas con padecer o no mastitis– se puede incrementar más de un 36 % a consecuencia del mantenimiento de los animales en un entorno con un THI elevado. Este impacto también se ha observado en la apicultura, por lo que se han comenzado a instalar sensores para monitorizar las condiciones en el interior de las colmenas.

El monitoreo constante de los indicadores ambientales y la obtención de índices calculados a partir de los primeros permiten controlar de manera automática los sistemas ventilación, iluminación y calefacción de las granjas, manteniendo unas condiciones adecuadas óptimas en los alojamientos del ganado.

3.2. Transporte y distribución del alimento

El transporte y la distribución de la ración alimentaria es una labor de importancia en las explotaciones ganaderas debido a la alta demanda de mano de obra y dedicación que requieren. Se estima que estas tareas pueden representar el 25 % de la mano de obra de una explotación ganadera (Hamadani y Alan, 2015)

La automatización de esta operación ha implicado realizar una conexión de entre los sistemas de almacenamiento de piensos y forrajes y los comederos de los animales. Este nexo puede realizarse a través de distintos instrumentos que permiten dotar de una mayor o menor precisión al sistema a la hora de suministrar el alimento, pudiéndose ajustar hasta el nivel de una ración individualizada.

El suministro del alimento puede realizarse a través de vehículos de guiado automático (VGA) que depositan el forraje en los comederos (Figura 20) o mediante una red de tuberías interconectadas entre sí y con los silos de almacenamiento, que distribuyen el pienso en los comederos de los animales (Figura 21). Sin embargo, esta mera conexión no tolera un ajuste individualizado de la ración, aunque si permite desligar la mano de obra humana. Esta tecnología es aplicable tanto a explotaciones avícolas, porcinas, cunícolas, bovinas, ovinas y caprinas.

La incorporación de sensórica al proceso posibilita al sistema a ofrecer una ración ajustada a las necesidades individuales de los animales o por grupos de estos. En los animales monogástricos y ruminantes se consigue a través de básculas electrónicas que registran la masa del animal y calculan sus necesidades alimentarias a partir de este parámetro. La identificación electrónica del animal, mediante chips instalados en collares o en crotales auriculares, u otros instrumentos, permite llevar un registro de las aportaciones realizadas, además, de ajustar el consumo diario de alimento en base a los parámetros preestablecidos por el usuario. En caso de encontrarse los animales en un *box* de cría o crecimiento común permite derivarlo a estaciones de alimentación individualizada donde se le servirá el alimento.

Figura 20.

Robot autónomo destinado a distribuir forraje para las explotaciones de vacuno



Fuente: Agriexpo.

Figura 21.

Distribuidores automáticos de alimento en distintas explotaciones ganaderas a través de un sistema por tuberías. De izquierda a derecha, destinado para explotaciones ovinas, caprinas, cunícolas, avícolas y vacuno



Fuente: Peig Ganadería.

Posteriormente, los comederos pueden dotarse de sensores para llevar un registro de los alimentos que han consumido los animales. Esto permite cuantificar los consumos acumulados por periodos de tiempo, permitiendo conocer la eficiencia individualizada.

Asimismo, el sistema también puede identificar a los animales que no acuden a los comederos y cuantificar el pienso que ha ingerido cada uno de los animales. Con ello crea una lista de aquellos animales que pueden necesitar una atención especial por parte del productor, velando así por la salud y el bienestar animal.

La distribución automática del alimento también se ha expandido hacia las explotaciones acuícolas.

Los alimentadores automáticos pueden ajustar la dotación del alimento a través de la demanda realizada por los peces mediante su interacción con instrumentos como péndulos que se conectan a los dosificadores (Figura 22), mediante una programación manual de los alimentadores automáticos o bajo las órdenes establecidas por una inteligencia artificial. En este último grupo, la versión inicial identificaba el tiempo que permanecía el alimento flotando sobre la superficie del agua a través de señales visuales y ajusta el periodo de emisión en base a este parámetro.

Figura 22.

Distribuidor automático de alimento para explotaciones acuícolas con sistema de péndulo



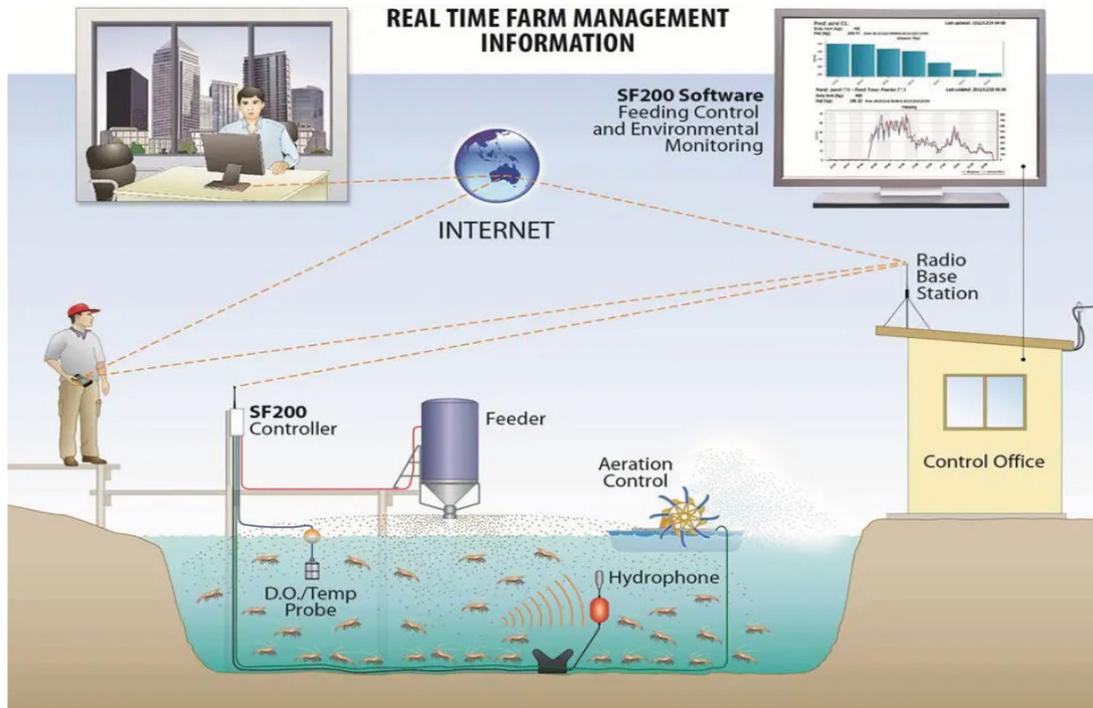
Fuente: Acuitec.

Sin embargo, una permanencia elevada del alimento en el agua puede tener repercusiones negativas sobre el crecimiento de las especies (por ejemplo, camarón) debido al deterioro del valor nutricional de los ingredientes o a la concentración de materia orgánica en el medio.

Por ello, los sistemas de distribución automática han buscado otros parámetros para ajustar la emisión del alimento. Existen alimentadores capaces de ajustar el periodo de dotación bajo las señales acústicas que son emitidas por dispositivos que detectan la presencia del alimento flotando en el agua, los cuales son adecuados para especies que necesitan un suministro ininterrumpido de alimento como el camarón (Figura 23). No obstante, la señal acústica debe estar complementada por sensores de temperatura y oxígeno que se encargan de regular a los aireadores de los estanques para evitar la eutrofización del agua (Davis, 2018).

Figura 23.

Funcionamiento de un sistema automático de distribución de alimento a través de sensores acústicos destinado para explotaciones de cría de camarón



Fuente: Davis (2018).

3.3. Manejo del producto

3.3.1. Salas de ordeño para explotaciones lecheras

El ordeño mecánico consiste en imitar los procesos de succión y extracción que realizan las crías de los animales a través del uso de un conjunto de componentes mecánicos que extraen la leche de ovejas, cabras y vacas y la transportan hacia un recipiente que enfría y conserva el producto hasta su transporte. (Cañavete, 2012).

Se pueden identificar diferentes equipos mecanizados de ordeño. En primer lugar, los más rudimentarios son las máquinas móviles instaladas en carros, que son manejadas y arrastradas por un operario hacia los animales a ordeñar (Figura 24). Su empleo fundamental es en las explotaciones ovinas y caprinas, y no se hace adecuado su uso en ganado vacuno, pues el depósito de acopio no se adapta a las condiciones de este tipo de ganado por su capacidad.

Figura 24.
Equipo de ordeño móvil



Fuente: Suplagro.

En segundo lugar, se identifican los sistemas de ordeño fijos. Este tipo de instrumentos pueden estar dotados de cántaras o un sistema de circulación que vierte el producto a un silo de almacenamiento de forma directa. La maquinaria suele estar emplazada en salas de ordeño donde se guía a los animales y constan de varios equipos que permiten ordeñar a varios animales a la vez (Figura 25).

Figura 25.
Sala de ordeño



Fuente: Alltech.

No obstante, en ambos sistemas, a pesar de realizarse una extracción automática de la leche, el operario es quien debe decidir el momento de ordeño, limpiar las ubres del animal y colocar las pezoneras que se encuentran conectadas a la bomba de succión.

Por ello, se ha desarrollado un sistema totalmente automatizado, robotizado y voluntario, favoreciéndose el bienestar animal.

El robot se instala en el interior de los establos y es de libre acceso para los animales. Estos recurren a él cuando necesitan ser ordeñados. El instrumento detecta las ubres del animal mediante sensores y limpia e instala las pezoneras para comenzar la operación. El equipo, además, controla la calidad de la leche y, en caso de detectar una anomalía, detiene la acción y descarta el producto que ya ha sido recolectado. Este último sistema puede ser aplicado también a los sistemas de ordeño fijos (Figura 26).

Figura 26.
Robot de ordeño



Fuente: Campo Gallego y GEA.

3.3.2. Sistemas de recolección de huevos

La recolección de los huevos en aves ponedoras es una operación que requiere de sumo cuidado a consecuencia de la fragilidad del producto. Por ello, esto podría considerarse como una barrera difícil de salvar para crear sistemas mecanizados. Sin embargo, se han conseguido desarrollar equipos de recolección de huevos tanto para sistemas de puesta en jaula como sistemas de puesta en piso.

En los sistemas de puesta en jaula, las gallinas depositan los huevos en el piso de los habitáculos y estos caen por gravedad hacia una cinta transportadora instalada bajo la toma de recolección. Las jaulas pueden estar colocadas en bloques con diferentes alturas. Por ello, se requiere de una noria (Figura 27) para que deposite los huevos en una cinta transportadora que traslada el producto hasta las instalaciones de clasificación.

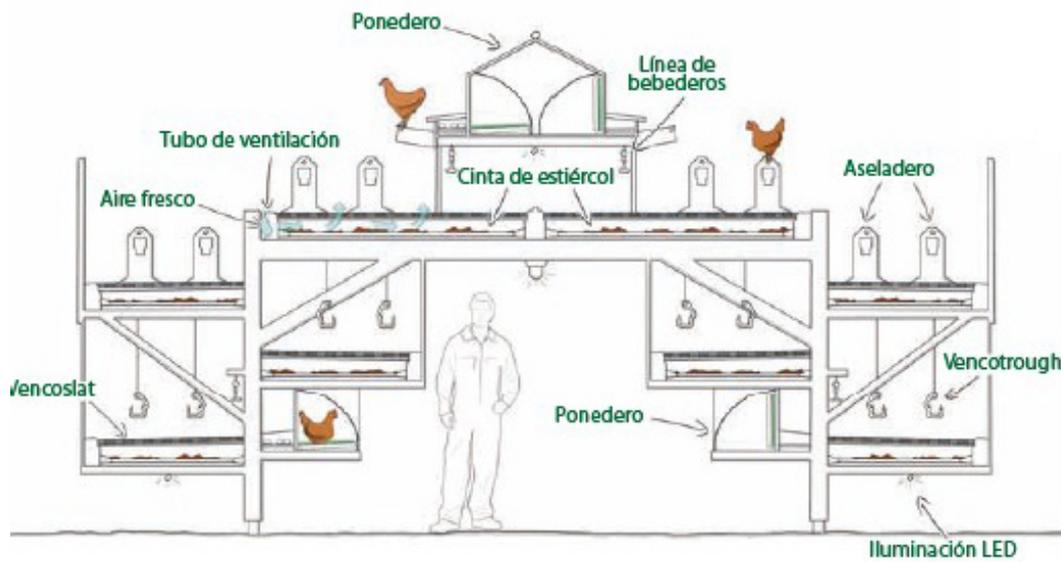
En los sistemas de puesta en suelo, el gallinero se encuentra instalado en una nave (denominado aviario) que se dota de diferentes alturas y donde las aves se mueven con total libertad. En uno de los niveles se instalan ponederos, que pueden ubicarse paralelos entre sí; y se instala una cinta transportadora a la salida de la toma de recolección. El suelo de los ponederos es basculante, por lo que periódicamente se acciona y los huevos se deslizan hacia la cinta transportadora (Figura 28), comenzado con ello su transporte hasta las instalaciones de procesado o acopio.

Figura 27.
Noria transportadora de huevos



Fuente: Big Dutchman.

Figura 28.
Esquema de un sistema mecanizado de eliminación de estiércol y recolección de huevos



Fuente: Vencomatic Group.

Previo al proceso de clasificación de los huevos es habitual proceder a su control individualizado en una mesa de miraje. Los equipos utilizados incorporan sensorica para detectar a los huevos que presentan fisuras o cualquier otro defecto. Una vez detectado, el instrumento manda una señal visual al operario que elimina el huevo del circuito.

3.4. Manejo de las deyecciones ganaderas

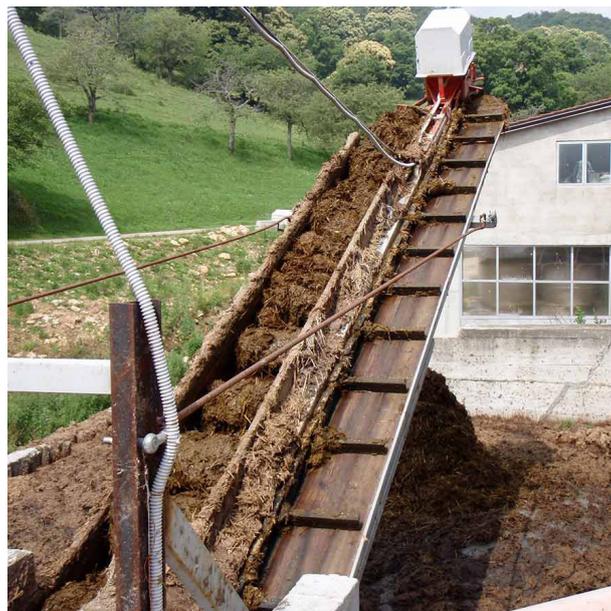
En ganadería, la limpieza de las deyecciones ganaderas es una tarea que permite mantener la salubridad y el bienestar de los animales.

Inicialmente, la operación se mecanizó a través del uso de equipos de arrastre en forma de V acoplados a los tractores, eran usados en las explotaciones tradicionales de grandes rumiantes. No obstante, en la actualidad, también pueden emplearse en las explotaciones que no dispongan de los instrumentos que se comentarán a continuación.

La innovación permitió crear dispositivos totalmente autónomos con los que poder desligar la mano de obra del proceso.

En instalaciones en régimen de estabulación fija se pueden emplear limpiadores de paletas de 40 a 50 centímetros de anchura, cuyo movimiento es alterno o continuo. El ganado deposita las deyecciones en las paletas y estas las arrastran hasta el final de la cinta transportadora para verterlo en un foso o elevarlo hasta un plataforma o remolque (Figura 29).

Figura 29.
Limpiador mecánico por paletas



Fuente: Etxe Holz.

En granjas en régimen de estabulación libre se emplea una arrobadera (barra de acero con forma de V) que se instala en el centro del establo. Este instrumento empuja a las deyecciones ganaderas de manera periódica hacia el final de la instalación, accionado a través de un equipo hidráulico, con una velocidad de avance lo suficientemente lenta para que no interfiera en el normal desarrollo de los animales. La totalidad de las deyecciones se vierten a un foso que se encuentra al final de establo o, en caso de tener instalados paneles de hormigón pretensado o acero fundido y galvanizados perforados, se deposita solo la fracción sólida (Figura 30).

Figura 30.
Arrobadera para explotaciones ganaderas



Fuente: GEA y AgroExpo.

Se ha registrado una evolución reciente en estos instrumentos. Se han desarrollado vehículos con movimiento autónomo capaces de sustituir a la arrobadera empleada en las granjas en régimen de estabulación libre. Además, a través de estos instrumentos se puede llegar a conseguir una limpieza mayor de la superficie del suelo, debido a que se ha dotado a los equipos de un sistema de aspersión de agua y rodillos de limpieza (Figura 31).

Este tipo de sistemas se utilizan principalmente en las explotaciones intensivas de vacuno lechero. Sin embargo, las empresas desarrolladoras de esta tecnología pueden adaptarlo a otros sectores como el porcino o avícola.

Para ello, las explotaciones deben tener unos requerimientos técnicos mínimos para su aplicación. Por ejemplo, las naves de las explotaciones de porcino intensivo deben poseer un pasillo central para la instalación de la arrobadera. Sin embargo, en este sector suelen instalarse en el fondo de los fosos para ayudar a eliminar las deyecciones que se vierten a estos. La naturaleza líquida de las deyecciones de porcino permite que estas se depositen en los fosos por gravedad a través una

canaleta situada en la parte central de los *boxes* o mediante las rejillas perforadas comentadas con anterioridad (Figura 32).

Figura 31.

Robot autónomo de limpieza para explotaciones ganaderas



Fuente: AgriExpo.

Figura 32.

Arrobadera instalada en un foso



Fuente: AgroExpo.

En los sistemas avícolas se puede hacer uso de una cinta transportadora que vierte la gallinaza en un depósito para su eliminación. Esta tecnología se aplica en las explotaciones de gallinas ponedoras en jaula. El instrumento se instala bajo la rejilla y trasporta la gallinaza de forma periódica hacia el depósito. Estas cintas transportadoras también se pueden colocar en los aviarios por pisos comentados en el apartado anterior. Para ello se instalan rejillas en el suelo de todos los pisos.

Por último, se han desarrollado vehículos autónomos para escarificar las camas de las granjas de pollos de carne criados en suelo durante el periodo de crianza. Con él se consigue mejorar el bienestar de los animales, reduciendo el amoníaco emitido por la yacija y mejorando consigo la calidad ambiental de la explotación (Figura 33).

Figura 33.

Escarificador autónomo de la cama de estiércol de las explotaciones avícolas



Fuente: Octopus Robots.

4. Industria alimentaria

En el ámbito de la industria alimentaria, Iqbal *et al.* (2017) clasifica la robotización en 3 grandes grupos:

- *Recoger y colocar*: la principal tendencia para implementar robots en la transformación de los procesos tradicionales en la industria alimentaria se está produciendo actualmente en la categoría de manipulación de alimentos. Inicialmente solo se utilizaban para la transferencia de carga útil de alta exigencia. Después se ha avanzado con la incorporación de otros sistemas basados en el mecanismo PKM (*Parallel Kinematic Manipulator*), que están diseñados para juntar, recoger y colocar productos en bandejas, cartones o alimentación de otra maquinaria de alta capacidad.

- *Robots de embalaje y paletizado:* en esta categoría, los robots y las aplicaciones se han estandarizado en su mayoría. Las decisiones se toman en función de las especificaciones de carga útil y el rango de velocidades disponibles. El paletizado de galletas, bebidas, pastas, dulces y otros artículos ahora se apilan utilizando los robots. Por ejemplo, una solución típica permite la producción de 900 sacos (de 20 kg cada uno) por hora y luego apilarlos para minimizar los costos de flete.
- *Robots de servicio:* la industria de servicio de alimentos es el enfoque más nuevo del uso de robots en la industria alimentaria. Los nuevos estilos de vida requieren una adaptación al cliente y al consumidor y facilitan el desarrollo de sistemas que interactúan directamente con el consumidor.

Las exigencias de la industria alimentaria para cualquier tipo de robot son las siguientes, de acuerdo con la revisión de Iqbal *et al.* (2017):

- *Cinemática, dinámica y control:* una gran parte de las aplicaciones robóticas en la industria alimentaria se lleva a cabo mediante robots en serie que tienen una estructura articulada verticalmente. La otra clase de robots que apareció más tarde en la Industria Alimentaria y que actualmente es más común se basa conceptualmente en la cinemática paralela, como hemos comentado más arriba. Tanto en los sistemas robóticos en serie como en paralelo, los modelos dinámicos son necesarios para predecir las fuerzas del actuador para las tareas del efector final. La dinámica inversa es fundamental, ya que evalúa los pares/ fuerzas del actuador necesarios para generar la trayectoria deseada. El control y la destreza de los manipuladores industriales es vital para realizar tareas que requieren alta precisión, repetibilidad y confiabilidad al mitigar los efectos de las perturbaciones.
- *Higiene:* la seguridad alimentaria es un tema importante y se requiere que los productos alimenticios y bebidas no sean tocados por humanos durante su procesamiento para evitar la contaminación microbiana.
- *Productividad:* el uso de robots ha superado la tasa de producción manual basada en el operador, incrementando la productividad en más del 25 %, de acuerdo con los autores. El enfoque principal de los robots está en la preparación y manipulación de alimentos. Las rápidas velocidades operativas de *pick and place* son posibles gracias a las estructuras robóticas altamente ágiles y los esquemas de control incorporados.

La robótica también avanza a la misma velocidad, en la medida que lo hace el desarrollo de la visión artificial. La compañía STAUBLI (2021), especializada en soluciones de mecatrónica para mejorar la productividad, ha presentado recientemente su equipo de deshuesado del jamón, desarrollado por la empresa japonesa Mayekawa. El requisito previo impuesto al equipo es garantizar los requisitos de higiene y seguridad alimentaria habituales para una industria cárnica, por lo que la línea se desinfecta diariamente. La productividad del equipo es importante: deshuesa a un ritmo de 500 jamones por hora. El equipo es flexible, con capacidad para adaptarse a las características individuales de cada pieza.



Ventajas, inconvenientes y utilidades de la digitalización en el sector agroalimentario

1. Introducción

La digitalización ofrece un gran potencial de innovación a la actividad económica. En capítulos anteriores se ha relatado como la introducción de nuevas tecnologías a la producción de mercancías, y, en este caso, al sector agroalimentario, ha permitido incrementar el rendimiento de los procesos de producción gracias a las transformaciones ocasionadas por las revoluciones industriales y agrícolas. Sin embargo, durante este proceso se han originado externalidades negativas de naturaleza medioambiental, social y económica que han comprometido la perdurabilidad de los sistemas productivos, necesitando la introducción de nuevos cambios para garantizar su continuidad.

En la Tabla 1 se exponen las ventajas e inconvenientes que muestra la digitalización para los agentes del sistema agroalimentario.

El Gráfico 1 recoge las principales barreras a las que se enfrenta el sistema agroalimentario para la adopción de nuevas tecnologías en el sistema agroalimentario. La deficiencia de especialistas en TIC comunicada por las administraciones y la elevada necesidad de conocimientos requeridos para manejar las nuevas tecnologías de alto impacto como, por ejemplo, la inteligencia artificial ha provocado que se describa a la formación del personal como el principal obstáculo que debe superar la digitalización del sector agroalimentario. El coste de adopción o reconversión de las instalaciones o las normas estrictas para el intercambio de datos son otras de las principales barreras; es por ello que las administraciones españolas (MAPA, MINCOTUR o MITECO) a raíz de las diferentes estrategias, planes de acción o normativas han realizado diversas actuaciones para superarlas (Estrategia de Digitalización del Sector Agroalimentario y Forestal y del Medio Rural, Oficina del Dato, Centro de Competencias, Paquete de Digitalización, plataforma de asesores AKIS, ACTIVA Industria 4.0, ACTIVA Crecimiento, etc.), las cuales o se han comentado o se comentarán con más profundidad en los apartados siguientes.

Además, en los siguientes apartados de este capítulo se resaltarán algunas de las ventajas e inconvenientes de mayor relevancia en la digitalización del sector agroalimentario.

Tabla 1.
Ventajas e inconvenientes de la digitalización para los diferentes agentes de la cadena de valor del sistema agroalimentario

Ventajas	Inconvenientes
Productores de la cadena de valor	
Uso eficiente de los recursos e insumos (agua, fertilizantes, fitosanitarios, zoonosanitarios, piensos, materias primas, energía, etc.), alcanzando una mayor productividad y, a la par, sostenibilidad, seguridad alimentaria, sanidad, bienestar animal o calidad.	Requiere mayor capitalización de la actividad agraria y agroalimentaria.
Mejora de la planificación y eficiencia operativa, así como de la respuesta a incidencias que acontecen en la producción o en los mercados.	Dificultades para la toma de decisión de la tecnología a adquirir como consecuencia de la oferta diversificada y el conocimiento tecnológico limitado.
Reducción de las necesidades de mano de obra.	Dependencia de terceros proveedores de tecnología, especialmente para resolver los problemas técnicos.
Puede mejorar la satisfacción del cliente, por calidad, frescura, etc. Facilita la certificación de procesos y productos.	Necesidad de formación, tiempo e inversión para poder atender a ese nuevo canal de comercialización.
Diversificación de ingresos al disponer de más tiempo para dedicar a otras actividades.	Situación regulatoria incierta y marcos legales complejos, especialmente en temas relacionados con <i>blockchain</i> o nuevas tecnologías similares.
Posibilidades para desarrollar nuevos modelos de negocio y cooperación: vender directamente a los consumidores, comunicándoles la historia y el valor de sus productos.	
Desintermediación, al poder conectar directamente con el cliente final.	
Mejora de los canales de comunicación y formación.	
Proveedores de tecnologías	
Se amplía la gama de productos y servicios que se pueden ofrecer al sector agroalimentario.	Los proveedores tradicionales deben ampliar la gama de productos a través de plataformas y servicios <i>online</i> .
Disponen de una gran cantidad de datos a partir de los cuales pueden generar valor.	Dificultad para demostrar la viabilidad de las innovaciones y el interés de las inversiones en la acumulación de datos para su análisis futuro.
	Se pueden generar dudas y confianza por parte de los propietarios de los datos con respecto a su posible uso.
Intermediarios y comercializadores	
Pueden personalizar sus servicios tanto para el proveedor como para el cliente, llegando al consumidor final.	Pérdida de actividad como consecuencia de la aparición de canales directos.
Pueden acumular datos de interés para generar nuevos valores añadidos.	
Sociedad en el medio rural	
Los recursos naturales se usan con más eficiencia y su uso puede ser monitorizado, para garantizar su sostenibilidad.	El estrato de población sin formación, equipos o conectividad se queda al margen, generando estrés y ansiedad.
Facilita el trabajo en remoto.	Las comunidades locales pierden el beneficio de la interacción entre las personas.
Administración	
Pueden diseñar estrategias para acumular datos a medio/largo plazo.	
Pueden mejorar procedimientos de interacción con los administrados y reducir coste y tiempo en controles e inspecciones, utilizando nuevas herramientas.	

Fuente: Lezoche *et al.* (2020).

Gráfico 1.
Barreras de la digitalización. En porcentaje



Fuente: Comisión Europea.

2. Mejorar el uso de *inputs*

El uso eficiente de los insumos empleados durante la producción de alimentos es una cuestión capital para mejorar la sostenibilidad de la actividad agropecuaria e industria agroalimentaria por parte de los agentes de la cadena de valor. No obstante, la principal motivación al cambio, como casi la mayoría de los avances en nuestra sociedad, es la económica. Ese afán de buscar vías alternativas y más eficientes es el motor de nuestra sociedad y de ella derivan todos los avances en innovación. Ahora bien, no es la única cuando se habla de modernizar el sector agroalimentario. Boyer *et al.* (2011), Liu *et al.* (2011), Anselin *et al.* (2004) comunican que no se manifestó ninguna diferencia significativa entre la aplicación o no de nuevas tecnologías, en este caso, las incluidas dentro del ámbito de la agricultura de precisión. Por el contrario, Griffin y Lowenberg-Deboer (2005) comunicaron que se encuentran más de 200 estudios que muestran la viabilidad económica de la implementación de estas tecnologías en más del 65 % de los casos estudiados entre 1988 y 2005.

Por ello, en el éxito de la digitalización puede influir de manera directa las condiciones específicas de cada empresa agroalimentaria. Es necesario manifestar, que debido a la expansión existente en la oferta de productos y servicios tecnológicos se hace necesario tener un conocimiento elevado de las mismas para seleccionar aquella que más se ajuste a las condiciones de cada empresa agroalimentaria.

Una cuestión medioambiental: agroquímicos y energía

En la producción agrícola y ganadera destaca el uso de herramientas para realizar una aplicación eficiente de agua, agroquímicos (fertilizantes y fitosanitarios) y bienestar animal.

Así, el riego y la fertilización suponen una parte muy relevante de los costes de producción. Se han desarrollado herramientas en las mediante las cuales se puede realizar un ajuste específico de la dotación de agua y fertilizantes en función de las características particulares de las explotaciones agrícolas. Algunos ejemplos son el Sistema de Información Agroclimática para el Riego, programas informáticos como riegos IMA o de diferentes comunidades autónomas o de empresas privadas como la herramienta de riego de Plataforma Tierra, que da cobertura a más de 80 cultivos hortícolas, extensivos y frutales, tanto al aire libre como bajo invernadero, considerando riego por goteo y por aspersión. Algunas de estas combinan su actividad con el cálculo de las necesidades nutritivas de los cultivos, obteniendo consigo una reducción en el uso de fertilizantes por ajustar la dotación a las necesidades de las plantas. Estas herramientas pueden nutrirse de datos capturados a través de sensores o de la visión artificial que capturan imágenes aéreas a través de drones, aviones o satélites. El sistema SmartCrop® es capaz de reducir en un 28 % el consumo de agua y en un 25 % el consumo de fertilizantes (Oppel, 2022) . Aunque la cantidad específica para cada explotación varía en función de sus necesidades específicas.

También, los modelos matemáticos, partiendo de datos meteorológicos y determinación de integrales térmicas, ayudan a determinar el momento idóneo de tratamiento también contra plagas, adaptados a cada zona, buscando la máxima sensibilidad a la misma, generando estaciones de aviso mucho más precisas.

Además, puede combinarse con el empleo de cámaras espectrales que permiten identificar *in situ* las plagas, enfermedades y malas hierbas, que pueden instalarse en equipos de aplicación y permitir una aplicación selectiva (en la planta) de fitosanitarios. La reducción de agroquímicos se ha fijado desde un 35 % hasta un 65 % (Chen *et al.*, 2021).

En las explotaciones ganaderas también se ha implantado el uso de sensores para mejorar los insumos aplicados. Destacan las estaciones de consumo, que a través de un sistema de pesaje de los animales, se permite ajustar una ración diaria bajo las necesidades de los animales en el momento puntual. Con esta tecnología, aparte de racionalizar el alimento, se mejora el bienestar animal. Por otro lado, se destaca el uso cámaras térmicas o de videovigilancia que permiten identificar a los animales enfermos, principalmente afectado por cojera; pudiendo así ajustar de una forma más precisa la dotación de insumos veterinarios.

A la industria agroalimentaria también se le abre un abanico de posibilidades enorme. La inducción de sistemas digitales de administración de energía puede administrar el gasto energético de los sistemas industriales, un insumo cuyo valor continúa en expansión a consecuencia de los nuevos acontecimientos internacionales. Siemens y Arup comunicaron que la aplicación 'Smart data', en edificaciones históricas, puede reducir el consumo de energía en hasta un 30 %. La repercusión de los sistemas inteligentes de control de consumo puede ser diferente en la industria agroalimentaria, pero sin duda se observa su enorme potencial (Eficiencia Energética, 2019). Estos sistemas de control de consumo pueden expandirse hacia otros sectores como la logística, que pueden combinarse con los sistemas predictivos de diseño de ruta para disminuir el consumo de carburantes.

3. Preparación de la explotación

3.1. La fertilidad del suelo

A través de análisis de suelo se pueden generar mapas de parcela en los que se recojan sus características en cuanto a textura del suelo, profundidad, salinidad, capacidad de retención de agua, desniveles y orientación, etc. La información facilitada por las imágenes aéreas y por satélite, complementadas con las oportunas catas realizadas *in situ* en puntos clave y representativos de la explotación se va a poder realizar una interpretación de la calidad del suelo, la variabilidad, posibles correcciones con enmiendas orgánicas o calizas a realizar, subsolados, etc. Además, dichos mapas ayudan al diseño del sistema y subsectores de riego, y a la posterior aplicación de un riego diferenciado a cada sector.

Con estos datos se puede hacer un diseño adecuado de la explotación, definiendo la orientación más eficiente, marcos de plantación, etc. A continuación, mediante el autoguiado de tractores, se procederá a la realización de las labores preparatorias específicas en función de la profundidad o calidad del suelo.

También existen tecnologías que permiten ayudar a diseñar granjas y a la gestión de explotaciones forestales.

Actualmente para diseñar una explotación considerando aspectos de sostenibilidad, es importante hacer un correcto diseño de la incorporación de infraestructuras verdes, para lo que se han desarrollado aplicaciones que ayudan a seleccionar aquellas especies más adecuadas para un correcto control biológico por conservación y su correcta distribución.

3.2. Elección de la especie o variedad

Una vez preparado el terreno hay que llevar a cabo la selección del cultivo a implantar. Para ello existen herramientas para la ayuda en la toma de decisión de la especie, posible diseño de una rotación de cultivos, momentos adecuados de plantación, estimación de la recolección, etc. Todo ello se realiza teniendo en consideración el tipo de suelo, disponibilidad de agua, condiciones agroclimáticas que hagan aconsejable la implantación de determinadas especies y variedades, con objeto de reducir riesgos de posibles heladas, excesos de temperatura, garantizar las posibles necesidades de horas frío, interactuando con mapas climáticos diseñados para el correcto establecimiento de los cultivos.

Existen herramientas para la ayuda en la toma de decisión de las variedades y portainjertos más aconsejables en función de no solo las características climáticas y posibles riegos de siniestros, sino también en función de las condiciones edafológicas, características de salinidad de suelo y aguas, susceptibilidad a encharcamientos, resistencias a plagas y enfermedades y compatibilidad entre el injerto y patrón.

4. Formar y asesorar a los agricultores

Como consecuencia de la covid-19 se ha puesto a disposición de la sociedad en general numerosas herramientas digitales utilizadas en formación y que son de utilidad para agricultores y ganaderos, tanto para poder acceder a nuevos conocimientos como para recibir servicios de asesoramiento, reduciendo de forma significativa la necesidad de asistencia o vistas presenciales.

- *Formación*

Durante estos últimos años se han desarrollado e implementado numerosas plataformas para el desarrollo de distintas fórmulas para la formación profesional que han facilitado el acceso a los últimos conocimientos disponibles, con la ventaja de poder asistir sin necesidad de desplazarse desde la explotación o desde zonas rurales con ciertas dificultades de movilidad, ofreciendo consigo una flexibilidad horaria.

La oferta no solo de seminarios sino también de cursos y congresos *online* o en sesión híbrida se ha multiplicado y se ha universalizado en estos últimos años, tanto en formato gratuito como de pago, contando con autoevaluación y por lo tanto la posibilidad de certificar su asistencia y seguimiento.

También se ha incrementado la oferta en internet de videos demostrativos de nuevas técnicas de producción, sistemas de poda, nuevos cultivos, resultados de experiencias, mecanización, tutoriales de *apps*, incluso sesiones formativas grabadas que pueden ser consultadas por medio de estos repositorios.

Una fórmula de aprendizaje y motivación muy interesante es la es establecimiento de clubs de estudio (*study clubs*). Se reúnen todas las semanas, en formato presencial en cada una de las explotaciones de los distintos miembros, o virtual para comentar, compartir experiencias durante unas horas, la evolución del negocio, funcionamiento de la implantación de nuevas técnicas, tratamientos, comercialización. De este grupo de estudio un representante, una vez al mes se reúne otros representantes de otros grupos en el que participan también asesores, en este último grupo las conclusiones y propuestas son trasladadas a centros de investigación para proponer nuevas líneas de investigación. Este sistema organizativo, es una buena estrategia para incorporar estas nuevas tecnologías, compartir experiencias durante unas horas, la evolución del negocio, funcionamiento de la implantación de nuevas técnicas, tratamientos, comercialización.

- *Asesoramiento*

Una herramienta digital esencial para el agricultor es el uso de un cuaderno de campo digital, con el que pueden interactuar con el técnico asesor de forma automática, con registro de visitas, recetas de los diferentes tratamientos a realizar y la oportuna confirmación del agricultor. Estas herramientas están disponibles en multiformato, desde el propio *smartphone*, *tablet* o directamente el ordenador, con registro de las distintas operaciones y con seguimiento completo de la trazabilidad.

Como ejemplo, hay que indicar que ya existen equipos de tratamiento que están conectados al cuaderno de campo y permiten la confirmación de cualquier tratamiento de campo con gasto de caldo real y materias activas utilizadas en tiempo real.

Cuando existe una buena conectividad, los encuentros con el técnico asesor se pueden hacer por WhatsApp web, utilizando la propia cámara del teléfono para mostrar al técnico posibles incidencias, plagas, enfermedades, o síntomas que requieren de un diagnóstico visual. Reuniones por internet, en las que el asesor puede compartir con el agricultor o ganadero presentaciones, videos seleccionados, publicaciones, fotos, *apps*, etc. Con unas posibilidades inimaginables.

Muchas de las herramientas e ideas expuesta en el punto anterior pueden ser motivo de encuentro entre el técnico asesor y el agricultor, para decidir una determinada variedad, portainjerto, para establecer unas infraestructuras verdes y así mejorar técnicas de control biológico.

En relación con el control de plagas y enfermedades también existen aplicaciones o programas informáticos de empresas privadas de fitosanitarios como Bayer, Syngenta, BASF Agro advisor, Weed ID y de fertilizantes como Yara Cheek IT, etc. o bien oficiales como MIA Producción integrada, que permiten al agricultor realizar un seguimiento de plagas y enfermedades.

El Ministerio de Agricultura facilita en su web información de los productos fitosanitarios autorizados para cada cultivo y dispone de las «guías de cultivo» para poder hacer producción integrada y que son una magnífica publicación que sirve como consulta obligada, tanto para el técnico asesor como para el agricultor, con monográficos para los distintos cultivos, ilustrado con numerosas fotos de plagas, sus auxiliares, identificación de enfermedades, para su correcto diagnóstico y las diferentes estrategias de control. Estas guías se han escrito con un formato común, por los mejores especialistas en cultivos de España y son un referente para la puesta en práctica de las técnicas de producción integrada y ecológica.

A efectos de asesoramiento, existen sondas y que utilizan plataformas tecnológicas en las que realizar la interpretación de estas lecturas y directamente asesoran a un equipo técnico o al agricultor. Estas estaciones, generalmente incluyen también estaciones meteorológicas, con registro de los principales parámetros climáticos, entre ellos la lluvia y el aporte real del sistema de riego. Las decisiones en la parcela permiten automatizar los riegos y la fertilización según las necesidades reales del cultivo, incluso utilizando el teléfono móvil para apertura y cierre de electroválvulas y alimentar el programa directamente en el cuaderno de campo.

Actualmente, grandes comunidades de regantes cuentan con los servicios de un técnico asesor que puede apoyarse en estas herramientas tecnológicas, para hacer seguimiento y control de las explotaciones. Dichas comunidades de regantes cuentan también con tecnología vía radio o LoraWan para control de los hidrantes y, por lo tanto, de apertura y cierre de electroválvulas de toda la comunidad de regantes. Estos sistemas de control automáticos tienen la posibilidad de detectar anomalías cuando los caudales de riego no son los adecuados, por posibles fugas, roturas, etc. O bajos caudales por posibles obturaciones, con la posibilidad de informar a los usuarios o realizar cortes de riego automáticos.

Existen herramientas que permiten confeccionar un compost de máxima calidad a partir de los residuos o ingredientes de la ganadería y agricultura, que puede ser utilizado como fuente de fertilizante de calidad y mejorar el contenido de materia orgánica del suelo, así como fomentar el contenido de microbiota y calidad del suelo.

La geolocalización permite disponer de información meteorológica, relacionada con estaciones cercanas. Esta información en tiempo real permite utilizar cualquier herramienta para el control de riego, evolución de plagas y enfermedades y en el caso de disponer de métodos de control de heladas o sistemas de aspersión para reducir riesgo de heladas o temperaturas extremas, una vez más, la sensorización será necesaria para activar de manera precisa estas infraestructuras para su prevención.

En cultivos bajo invernadero y granjas, también existe la posibilidad de dotarlos de sensores de clima (temperatura, humedad relativa, radiación, velocidad del viento, humectación, lluvia, nivel de CO₂, posibilidad de medir otros gases, etc.) para establecer parámetros que permitan un correcto control de clima, con actuadores como ventilación, posible activación de ventilación forzada, *cooling system*, *fog system*, sistemas de sombreado, pantallas térmicas para mantener calor, etc. Es posible utilizar sistemas automáticos por ordenador, en el que, con una correcta programación de clima, activando los distintos actuadores, permite realizar un control de las condiciones ambientales que mejoren la producción y eviten, en el caso de animales, siniestros como consecuencia de altas o bajas temperaturas.

Como se indica, estos sistemas son de aplicación tanto para control de clima en invernaderos como en granjas de animales y cada vez están más vinculados a sistemas de predictivos que permiten actuar de manera preventiva.

4.1. El impulso público de la digitalización

Los sistemas comentados con anterioridad requieren de unos conocimientos que, en muchos casos, no disponen los agentes del sistema agroalimentario.

El MAPA ha puesto en marcha diferentes medidas para paliar esta barrera. Destaca el Centro de Competencias Digitales, donde se suministra de una formación no reglada a los agentes primarios para aplicar las nuevas tecnologías.

A través del paquete de digitalización no solo se pretende mejorar los conocimientos, sino que también combinarlo con actividades de demostración en el uso de nuevas tecnologías, formación para los asesores en digitalización o la subvención para contratar a estos agentes por parte de los productores agropecuarios.

La plataforma de asesores AKIS se postula como uno de los agentes facilitadores para catalizar la formación y asesoramiento en cuestiones digitales de los agentes destinados a la producción primaria, permitiendo cumplir con el objetivo transversal propuesto en la nueva PAC de modernizar las explotaciones agropecuarias.

Sin embargo, también hay una expansión de medidas facilitadoras de digitalización en otros eslabones de la cadena agroalimentaria como es en su industria de transformación.

La introducción de sensores para controlar los diferentes procesos productivos, el uso de internet de las cosas, *big data*, para tratar los ingentes volúmenes de datos recolectados; o de sistemas de inteligencia artificial para controlar y automatizar los procedimientos industriales requiere de un gran esfuerzo económico por parte de los empresarios tanto para la contratación de personal TIC especializado para su control como en trabajos de consultoría para evaluar tanto el riesgo de la operación como la elección de la tecnología a usar dentro de un catálogo de servicios que se encuentra en expansión.

Desde el MINCOTUR se han puesto en marcha dos medidas que tratan de impulsar que las empresas contraten servicios de consultoría que se encuentren especializadas en pymes. Las medidas se encuentran recogidas en los programas ACTIVA Industria 4.0 y ACTIVA Crecimiento. Con ellas se dota a las empresas de fondos para que contraten 50 horas en servicios de consultoría especializada, donde, incluso, se subvenciona la realización de un Plan de Transformación Digital.

Desde el MINECO se ha puesto en marcha diferentes medidas catalizadoras. Hay que destacar el Programa Agentes del Cambio que subvenciona la contratación de un especialista en transformación digital en pequeñas y medianas empresas. Recordar que el 80 % de las empresas del sector agroalimentario tienen menos de 10 trabajadores, por lo que es una medida que tiene una incidencia capital sobre la industria de transformación del sistema agroalimentario. Por otro lado, esta misma Administración concede subvenciones para mejorar la formación de expertos en transformación digital para paliar el bajo número de especialistas en TIC existente en España tal y como se indicó en el capítulo 1 y lograr alcanzar los objetivos contenidos en la Década Digital de Europa: metas digitales para 2030 que se analizarán en el capítulo 9.

5. Informar a los agricultores e industria alimentaria sobre la demanda de los mercados y las nuevas oportunidades

Tradicionalmente, aquellos agentes que han tenido más información han contado con una ventaja para poder aprovechar las oportunidades de los mercados. Siempre ha existido una cierta asimetría en el acceso a dicha información, siendo los operadores de mayor dimensión los que conseguían los mejores resultados. Gracias a que disponían de agentes en diferentes territorios, o que se desplazaban ágilmente, podían anticipar las oscilaciones de la oferta y actuar en consecuencia. A más largo plazo observaban los cambios de tendencias que tenían lugar en los mercados e iban adaptando su oferta para poder capturar esos nuevos deseos de los consumidores, normalmente obteniendo un precio mucho más elevado que el que se pagaba por los productos más convencionales.

Con la digitalización se democratizar el acceso a la información que van generando los mercados y, por tanto, utilizarla para programar las producciones y para tener mayor poder de negociación en los procesos de compraventa.

En el ámbito internacional han surgido muchos los organismos públicos que comunican información sobre la evolución de las cosechas de los principales cultivos. Y que intentan estimar la campaña en curso. También cada día es más fácil conocer cómo se están comportando los precios mundiales, tanto de los alimentos como de los insumos de producción. Entre estas organizaciones internacionales cabe destacar el papel que juegan la FAO, el USDA norteamericano o la Unión Europea. Y en el caso de España el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y los observatorios de precios agrarios que han creado las distintas Comunidades Autónomas.

Pero además de las grandes bases de información estadística luego están las particularidades de los mercados locales, que muchas veces tienen comportamientos fluctuantes y no siempre alineados.

Las Plataformas de información de mercados, que recojan la evolución de la oferta y la demanda, de los precios y que sean capaces de realizar análisis prospectivos van a facilitar la toma de decisiones a muchas empresas del sector agroalimentario. Tanto en el corto plazo, para negociar el precio de comprar-venta de los productos, como a más largo plazo para decidir hacia que alimento dirigir su estrategia productiva.

También es importante destacar la cada vez mayor integración existente entre las fases de producción agraria y la industria de transformación y comercialización. Para que exista una buena coordinación entre estas dos fases, para que la industria pueda trasladar hacia los agricultores la evolución de la demanda, y para que los agricultores comuniquen hacia la industria cuanto producto, de que calidad y en qué momento van a poner a su disposición, es importante que se establezcan sistemas de intercambio de la información lo más automáticos y frecuentes posibles. Para ello se están desarrollando herramientas que permiten mantener una perfecta trazabilidad de las relaciones.

La acción más avanzada de digitalización en las relaciones entre productores y consumidores es la que se alcanza cuando las transacciones comerciales se realizan directamente por la red. El comercio electrónico ha experimentado un gran desarrollo en la compra de bienes y servicios en general. Sin embargo, presenta un cierto retraso en el comercio de alimentos. Con la llegada de la pandemia a principios del año 2020 tuvo un primer impulso que seguirá creciendo en los próximos años.

Estos servicios de comercio directo presentan el gran atractivo de acortar los circuitos y una cierta satisfacción al consumidor al poder interactuar directamente con los productores. Sin embargo, todavía presenta el reto de optimizar los procesos logísticos para conseguir que los alimentos lleguen en el menor tiempo posible, con la adecuada calidad y a un coste razonable al destino final. Esta situación es especialmente complicada por los productos perecederos.

Tampoco podemos olvidar que la compra de insumos también presiona la cuenta de resultados de las empresas agroalimentarias y que no todas las regiones disponen de la misma diversidad de oferta y competencia. En grandes zonas de producción es fácil acceder a muchos suministradores,

con los que comparar precios, y a una oferta muy completa de insumos. Sin embargo, en regiones rurales más aisladas y con menor dinamismo la oferta suele ser más bien escasa y los precios más elevados. Gracias a las nuevas tecnologías las posibilidades se amplían significativamente, lo que puede repercutirá en mejores resultados para los productores.

6. Predicción de cosechas

Siempre ha existido incertidumbre sobre la producción final de los cultivos, ya que los mismos estaban sometidos a la variabilidad de las condiciones ambientales, que repercuten muy directamente sobre los mismos.

Tradicionalmente se han intentado realizar estimaciones de las cosechas basados en la experiencia de los operadores y de la realización de algunas inspecciones *in situ* en los campos.

Progresivamente se están desarrollando modelos de predicción de cosechas, basados en datos históricos localizados, que pueden acompañarse de sensores de visión hiperespectral acoplados a dispositivos en vuelo no tripulados (drones y robots autónomos) junto con técnicas de inteligencia artificial y *big data analytics*. Estos sistemas pueden llegar a presentar un error aproximado del 10 %. Sin embargo, para su aplicación se requiere de una elevada cantidad de datos, los cuales deben ser, preferentemente, de la parcela donde se vaya a realizar la predicción para no descender la precisión del valor ofrecido por los sistemas inteligentes (García *et al.*, 2020). No obstante, la combinación de esta serie de datos con los ofrecidos por las parcelas colindantes u otros campos de cultivo puede ayudar la programación de las inteligencias artificiales para que se adapten a un mayor número de casuísticas. Por ello, se hace de vital importancia medidas como la conformación de espacios de datos agrarios fiables de los distintos subsectores del sistema agroalimentario tanto en el ámbito europeo como nacional. Este último liderado por el MINECO y con un apoyo capital desde el MAPA debido a la importancia que presenta la producción primaria agropecuaria. Como se ha nombrado en capítulos anteriores, el dato la pieza angular de la digitalización.

Para el caso de cultivos frutales o cultivos hortícolas protegidos bajo invernadero o al aire libre, se pueden utilizar vehículos terrestres guiados automáticamente (AGVs) que permiten hacer recorridos entre los cultivos desde poca altura y con una gran resolución de las imágenes, por lo que se puede combinar fácilmente información del fruto, de las hojas, del tronco y del suelo en que se encuentra las raíces de las plantas (Díaz, 2019).

En cultivos extensivos, como cereal y en el caso de viñedo, se conocen correlaciones entre el índice de vegetación (NVDI) y producción, con el que se pueden realizar mapas de vigor utilizando drones o incluso visión satelital. Para determinación de rendimientos de cereal en secano e Castilla León utilizan el modelo agronómico AquaCrop (FAO), en el que relaciona las condiciones climáticas, especialmente la lluvia con los rendimientos.

En el caso del viñedo el índice de vigor permite realizar mapas de maduración que se introducen en el programa informático de las cosechadoras de uva, para poder separar en distintas tolvas la uva, en función del grado de madurez.

También se han desarrollado herramientas que permiten contar las lechugas comerciales a partir de un vuelo de dron en la explotación y estimar la producción con unos días de antelación a la recolección.

Las cosechadoras y las cabalgantes en continuo, algunas de ellas incorporan sensores de rendimiento de alta precisión, que permiten obtener datos instantáneos de rendimiento y almacenar la información durante 5 años, para planificar campañas sucesivas. Con esta información se puede monitorizar el rendimiento en campo, elaborando mapas en función de variedades y humedad del grano para determinar si está para guardar o para secar.

Utilizando *machine learning*, cuando se dispone de datos históricos de cosecha y rendimientos, utilizando mapas de cultivo, se pueden realizar muestreos utilizando cámaras multispectrales en frutales, viñedo. Se puede determinar vigor del cultivo (NVDI) su correlación con la cosecha, en cultivos extensivos y con ello realizar aforos. Esto junto con información estadística de grandes explotaciones y superficies, información aportada por los propietarios, encargados de campo, integrando la información del cuaderno de campo, análisis de siniestros, etc. Con toda esa información, es posible hacer una previsión de cosecha con un buen nivel de fiabilidad.

Cuanto más amplia sea la muestra de parcelas tomadas como referencia y mayor la diversidad de territorios sobre los que se aplican las distintas herramientas de generación y tratamiento de datos, mayor será la precisión de las predicciones realizadas. La acumulación de información histórica también contribuirá al perfeccionamiento de los modelos.

7. Acelerar el proceso de desarrollo de nuevos insumos

La innovación en el sector agroalimentario ha estado condicionada por los plazos que marcan los ciclos biológicos. En cultivos anuales dichas innovaciones podían requerir varios años. Y en cultivos leñosos los plazos se alargaban hasta una década o más.

Con el desarrollo de las modernas tecnologías de genómica, integradas con el desarrollo de algoritmos y la utilización de potentes ordenadores de cálculo está permitiendo acortar los plazos gracias a la detección rápida de características no deseadas y la centralización del esfuerzo en las muestras con mayores probabilidades de éxito.

En los procesos de mejora genética se está haciendo uso de nuevos equipos de secuenciación masiva y las nuevas herramientas como la bioinformática, que permite detectar la presencia de genes, su función, utilizando nuevas técnicas de genómica, proteómica, transcriptómica, metagenómica, etc. Estas nuevas tecnologías se están empleando para la mejora de plantas y animales, y están

permitiendo acelerar los procesos de introducción de nuevas resistencias a condiciones bióticas y abióticas, consiguiendo individuos más eficientes.

En suelos estas herramientas de secuenciación masiva permiten conocer la microbiota del suelo y su diversidad taxonómica. Esta información ayudará a implantar técnicas que permitan la regeneración de los suelos, potenciar la presencia de estos microorganismos, para aprovechar mejor los nutrientes del suelo y reducir problemas de enfermedades. La mejora de las técnicas de manejo de suelo influye en una mejora del secuestro de carbono y su respiración, a la vez que aumentan la productividad de los cultivos. Estas técnicas esencialmente se basan en reducir el laboreo, incrementar la aportación de abonos orgánicos como estiércol, compost o vermicompost. Para mejorar la elaboración de estos productos, como ya se ha indicado anteriormente, existen *apps* que nos ayudan a dosificar los ingredientes necesarios para elaborar un compost funcional, los pasos a seguir en su elaboración, el posible enriquecimiento en elementos nutricionales, tutoriales y vídeos explicativos. El papel que pueden jugar este tipo de productos en la detoxificación y biorremediación de suelos va a ser muy importante.

Las empresas de semillas de cultivos hortícolas y extensivos incorporan su catálogos y visitas de campos demostrativos de manera digital, por medio de *apps* para mejorar la eficiencia de esas visitas, códigos QR que enlazan con información que podemos consultar desde el *smartphone*.

8. La robotización y automatización de tareas

El progresivo encarecimiento de la mano de obra y las dificultades para encontrar trabajadores para tareas estacionales, como pueden ser la poda o la recolección, el cuidado de animales o el ordeño, van a provocar una aceleración en el proceso de desarrollo de nuevas tecnologías que posibiliten la robotización y automatización de muchas tareas.

Las tecnologías de visión artificial, el tratamiento masivo de datos, la inteligencia artificial y el *machine learning* están permitiendo desarrollar robot que reconocen las frutas en su momento óptimo de maduración y que realizan la recolección con la suficiente delicadeza como para no dañarlas. Aunque la mayor parte de los desarrollos están todavía en una fase experimental es de esperar que las primeras máquinas de carácter comercial, y que aseguren la rentabilidad de la inversión, van a estar muy pronto a disposición de las empresas.

9. Generación de comunidades de conocimiento

Una de las grandes ventajas que aporta la digitalización es la posibilidad de compartir experiencias y conocimientos entre los agentes del sector agroalimentario. Tanto en temas relacionados con la producción o agraria como en cuestiones relacionadas con la gestión empresarial.

Al compartir las buenas prácticas y avances se genera un clima que incrementa la expansión de tecnologías. La transmisión de las buenas prácticas es una de las fórmulas que más se ha empleado a

lo largo de la historia para progresar en la actividad agroalimentaria, principalmente, en la producción primaria.

No obstante, la expansión de las comunidades de conocimiento hacia otros eslabones como los consumidores, permite que haya una mayor comprensión de todos los procesos que tienen lugar desde la «granja hasta la mesa». De esta forma, se pone en valor el papel de relevancia que desempeñan los agricultores, ganaderos y los empresarios dedicados a la transformación de los productos agroalimentarios, debido contribuye a alimentar a la población, pero también a mantener un equilibrio territorial, impidiendo un mayor despoblamiento de las zonas rurales, y un cuidado del medioambiente .

En este sentido, la propuesta de la Unión Europea para generar las comunidades de conocimiento son los denominados Sistemas de Conocimiento e Innovación agrícolas (Agricultural Knowledge and Innovation Systems, AKIS). El concepto surgió en el año 2008, sin embargo, su importancia se ha incrementado con el paso del tiempo hasta postularse como uno de los principales agentes facilitadores para hacer cumplir con el objetivo transversal del la nueva PAC de modernizar las explotaciones agropecuarias europeas. Los AKIS consideran a diferentes actores de naturaleza pública o privada que guarden relación con el sector agroalimentario, desde los productores hasta los minoristas de la cadena de valor, pasando por los centros de conocimientos e investigación, organizaciones profesionales agrarias, industria auxiliar o entidades de financiación focalizadas en la agricultura (MAPA, 2022).

Casos de uso

En los apartados siguientes se recogen algunas empresas que han desarrollado y comercializado tecnologías relacionadas con la digitalización y la robotización del sector agroalimentario, así como sus proyectos en desarrollo. Se ha indicado la información que aparece en sus webs corporativas para mostrar su oferta de productos y servicios.

La mayor de las empresas desarrolla su actividad en España. Sin embargo, también se han incluido organizaciones internacionales, por la importancia de sus proyectos tecnológicos.

1. De carácter general

1.1. Gradient

Desde Gradient incorporan su visión y conocimiento en tecnologías de telecomunicación a los procesos y productos que las empresas desarrollan. Aportan su experiencia desde el punto de vista de la conectividad, la inteligencia y la seguridad para trabajar mano a mano con la industria de su entorno.

- **Servicios en el sector primario**
 - Despliegue escalable de sensores IoT para monitorizar procesos en explotaciones agroganaderas y acuícolas.
 - Plataformas para sistemas de control y monitorización de explotaciones agroganaderas.
 - Integración de redes heterogéneas y API de alto nivel para provisión de servicios IoT y sistemas embebidos para *smart farming*.
 - Comunicaciones avanzadas y arquitecturas de red para comunicación en tiempo real.
 - Análisis de datos para detección de patrones, predicción de eventos y optimización de procesos.
 - Análisis multimedia para monitorización y vigilancia.

● Servicios en industria 4.0

- Conectividad mediante IoT *industrial* (IIoT) y sistemas empotrados.
- Sistemas de comunicaciones *ad hoc* para entornos industriales.
- Análisis de datos (*data analytics*) y *big data* para análisis, optimización de procesos, predicción de eventos, etc.
- Despliegue y gestión de infraestructuras TI y *cloud*.
- Seguridad de la información.

● Proyectos

- El proyecto **CPTI 'PRIMARE**. Inspecciones Inteligentes Avanzadas', coliderado por AMTEGA y el FOGGA, tiene por objetivo que los controles en campo asociados a las ayudas de la PAC se puedan realizar de manera automatizada mediante medios tecnológicos (en particular, mediante el uso de medios aéreos no tripulados), aumentando el número de controles, su eficiencia y reduciendo la complejidad y costes de su realización.
- El proyecto **Global Primare**. Inspección Inteligentes Avanzadas, se compone de tres soluciones independientes e integradas entre sí: i) 'Servicio de desarrollo y fase demostración del sistema experto de control automatizado e inteligente de la actividad agraria asociada a las ayudas de la PAC'; ii) 'Servicio de desarrollo y fase demostración de un sistema de gestión de información georreferenciada para el control de la actividad agraria en Galicia'; iii) 'Servicio de desarrollo y fase demostración de una plataforma de procesamiento de información de las parcelas agrarias gallegas'.
- El proyecto **CATTLECARE** tiene como principal objetivo la modernización de las explotaciones ganaderas gallegas mediante el desarrollo de una serie de herramientas que permitan mejorar su gestión a diversos niveles. Por un lado, se pretende mejorar la monitorización de las reses para poder disponer de datos detallados sobre el comportamiento del ganado.

El análisis de estos datos permitirá la extracción de patrones de actividad y la consecuente detección de anomalías, es decir actitudes extrañas en el comportamiento del animal que se espera que sirvan como indicadores de enfermedades, periodos de celo o procesos de parto. Además, esta monitorización permitirá mantener un registro de la evolución del animal durante su estancia en la instalación. Por otro lado, se pretende mejorar la gestión de los recursos en las explotaciones, especialmente en lo referente al alimento que se encuentra almacenado en las instalaciones, mediante la automatización y la optimización de la logística de distribución.

- Sitio web: <https://www.gradient.org/>

2. Tecnologías de campo

2.1. Agrosap (Soluciones Agrícolas de Precisión SL)

Conecta a investigadores, agricultores y empresas agroalimentarias, construyendo proyectos de innovación e investigación, y facilitando a los profesionales agrícolas acceso a la última tecnología en materia de sensores e instrumentación para agricultura de precisión. Es el único distribuidor en España de la multinacional Trimble, que forma parte de su red oficial Vantage (@Vantage Iberia Occidental), especializada en productos y servicios de agricultura de precisión.

● Servicios

- Gestión de mapas de rendimiento
- Servicio de drones que permite:
 - Generación de mapas de índice de vegetación (NDVI)
 - Aforo en frutales mediante IA y visión artificial
 - Mapas para gestión de riego de precisión
 - Detección de plagas y enfermedades
 - Localización de accidentes de riego
 - Estimación de biomasa
- Productos GPS y guiado de tractores
- Ag Software: integración de Trimble Ag Software con las pantallas de los tractores para crear tareas y mapas de aplicación desde el ordenador
- Controladores para aplicación variable
- Sensores de campo

● Proyectos

- Automatización y sensorización de maquinaria para abonado variable. Sistemas GPS, autoguiado y VRA en Productores del Campo SCA de Alcalá del Río en Sevilla.
- El proyecto **DRONFRUIT** tiene como objetivo principal la implantación de una solución tecnológica e innovadora basada en la utilización de plataformas aéreas para realizar una predicción precisa de la producción y un manejo inteligente e integrado en cítricos y frutales de hueso según las técnicas de la agricultura de precisión. Aforamiento y manejo integrado en frutales mediante drones y visión artificial.

Agrosap forma parte del grupo operativo de este proyecto junto con Cooperativas Agroalimentarias de Andalucía y la Universidad de Sevilla.

- **Sitio web:** <http://agrosap.es>

2.2. SmartRural. Agricultura inteligente

SmartRural es una empresa especializada en crear herramientas de agricultura de precisión y aplicar tecnología para aumentar el rendimiento y la eficiencia. Se dirige al sector agro y de forma más específica al viñedo, olivar, hortofrutícola y frutal; así como a pequeños agricultores, medianas y grandes empresas para implantar las herramientas digitales que les permitan realizar la gestión total de sus procesos.

- **Servicios agropecuarios:**
 - Desarrollo de *software*-agro: creación de aplicaciones agrarias a medida o *ad hoc*
 - Soluciones WebGis: Plataforma SaaS WebGis. Permite visualizar datos agrícolas y convertirlos en mapas georreferenciados
 - Analítica avanzada
 - Servicios de satélite
- **Productos**
 - Agroguía: guiado GPS agrícola
 - Soluciones a medida
 - Apps Agro: Wine App, Olive App y Fruit App
- **Proyectos**
 - **Ollox:** aceite de oliva virgen extra como alimento funcional. El objetivo de este proyecto es la obtención de un nuevo aceite de oliva virgen extra (AOVE) de calidad superior con un mayor contenido en el polifenol hidroxitirosol y sus derivados. Para ello se aplicarán nuevos tratamientos y tecnologías de teledetección en el olivar; así como modificaciones especiales durante elaboración. Este AOVE contará además con una certificación que demostrará la cantidad de este antioxidante, su procedencia y su estabilidad en el tiempo.
Tipo de convocatoria: Proyecto financiado por CDTI, dentro del Programa FEDER Interconecta.
 - **AI4EU:** *Building the European AI On-Demand Platform.* El objetivo es desarrollar un ecosistema europeo de inteligencia artificial, reuniendo los conocimientos, algoritmos,

herramientas y recursos disponibles, convirtiéndolo en una solución atractiva para los usuarios haciendo realidad las promesas de la IA para la sociedad y la economía europeas. El objetivo final es crear una plataforma líder europea de colaboración para fomentar el crecimiento económico.

- **Globalviti:** es un proyecto consorciado de investigación industrial y desarrollo experimental, que pretende mejorar la producción vitivinícola frente al cambio climático a través de nuevas tecnologías, de estrategias biotecnológicas y del manejo del viñedo.

El consorcio lo componen ocho empresas: Bodegas Torres, como líder del proyecto, Pago de Carraovejas, Bodegas Ramón Bilbao, Juvé & Camps, Bodegas Martín Códax, Grupo Hispatec, Pellenc Ibérica y Viveros Villanueva Vides, junto a 13 organismos de investigación de referencia nacional.

En la parte que compete a *smart rural* se están realizando modelos para saber qué calidad y madurez tiene o tendrá la uva, en función de los nutrientes de la planta. Para ello se han tomado datos de fertilización, uva y vuelos dron.

El objetivo general es realizar una modelización de los parámetros y de la información recogida por los técnicos de la bodega y por SmartRural utilizando además RPAS (aeronaves remotamente pilotadas), y que son más importantes para valorar la producción y calidad de la uva para desarrollar:

- Informatización SIG por capas de todos los datos recogidos a lo largo de las diferentes campañas.
 - Modelos que permitan realizar mapas de aporte de fertilizantes. Así se conseguirá un ahorro de productos fitosanitarios y que la planta tenga la cantidad de nutrientes que específicamente necesite.
 - Modelos que permitan realizar cartas de riego por parcela. Se conseguirá reducir el gasto de agua y mantener la vid en niveles de estrés hídrico controlado.
- Sitio web: <https://smartrural.net/>

2.3. VisualINACert SL

En Visual diseñan soluciones digitales de gestión para empresas del sector agroalimentario, agricultores e industria que le acompaña. La empresa, que comenzó en 2014, hoy en día ayuda a gestionar cultivos alrededor del mundo y en los primeros 5 años alcanzaron la digitalización del 20 % de la superficie de España.

- **Servicios**
 - Imágenes satelitales y clima
 - Gestión agronómica de plagas y enfermedades

- Procostes
 - Gestión completa del negocio agronómico
 - Gestión de purines
 - Selphi reconocimiento facial: Visual Selphi incorpora la última tecnología biométrica para el cuidado automático de trabajadores, teniendo en cuenta el proceso de contratación, control de asistencia y registros en campo. Tecnología de identificación sin contacto para un fichaje con seguridad
 - Visual App: Permite consultar y registrar todas las actividades y tener disponible la plataforma de conectividad con satélites, información agroclimática, y demás funciones. Permite utilizar las Soluciones VISUAL desde cualquier sitio tanto *online* como *offline*
- **Proyectos**

- **Conesa Group:** tras la gestión de las fincas propias con Visual 4.0 la empresa decidió implementar esta tecnología para registrar y gestionar la información, como la trazabilidad de la totalidad de sus productores en España. La compañía cuenta con una plataforma totalmente adaptada a sus necesidades: compra de semillas, trasplante en campo, fertilización, fitosanitarios, labores agrícolas, visitas técnicas, consumo de agua o recolección.

El departamento agrícola a partir de Visual 4.0 puede planificar, organizar el esquema de trabajo, gestionar la programación de la fábrica, identificar operarios, distribuir actividades correspondientes a los técnicos, entre otros.

El sistema NDVI aporta mapas de alta precisión que permiten identificar situaciones y tomar las mejores decisiones.

- **Llopis y Llopis:** desde 2016 la empresa cuenta con la plataforma Visual para el asesoramiento y seguimiento de los servicios a clientes de producción integrada y agricultura ecológica. El cuaderno de campo es una de las herramientas más utilizadas por esta compañía para controlar el estado y evolución de las producciones.

También integran este servicio con sensores de visual, con los que analizan integrales térmicas, cálculos de horas de frío y temperaturas que permiten visualizar apariciones de plagas, entre otros. Además, utilizan esta tecnología para controlar riegos, registrar temperaturas, humedades y calcular el índice de vegetación NDVI.

- **Alma Carraovejas:** desarrollo y eficiencia vitivinícolas. La compañía que agrupa varios proyectos vitivinícolas y gastronómicos singulares ha optimizado el riego a gran escala y creó una estrategia integrada a través de la utilización de la plataforma Visual 4.0.

Las funcionalidades que utiliza esta empresa son las siguientes:

- Visualización de terrenos en mapas

- Información agrupada y ordenada
- Visualización de imágenes satelitales
- Cuaderno de campo integrado
- Sitio web: <http://www.visualnacet.com/>

2.4. Verde Smart Corporation

Empresa consultora internacional especializada en servicios de agricultura de precisión para grandes empresas agrícolas de cultivos intensivos y de valor añadido (cultivos de árboles y horticultura), con más de 18 años de experiencia en el sector y con tecnología propia basada en más de 16 proyectos de I+D que ha desarrollado junto con sus partners (sensores, GIS, teledetección, meteorología, biochar, etc.) y clientes.

Son fabricantes de sensores (tienen patentados el dendrómetro Plantsens y la primera sonda de nitrato y potasio para el suelo del mundo, Nutrisens) y aportan una solución única en el mercado integrando estos datos con el resto de los factores y variables que afectan al cultivo.

Especialidades: sensores de planta-clima-humedad suelo-nutrición, *software* de datos *online*, dendrometría, análisis de savia, toma de datos en campo, biochar, GIS, teledetección, formación, previsiones meteorológicas inteligentes, fijar carbono, mejora de suelo, trazabilidad campo calidad y mejora microbiota y su medición.

- **Servicios**
 - Elección de la plataforma de adquisición de datos accesible vía web con su *hardware* de comunicación.
 - Los mejores sensores para tomar datos de planta, clima, suelo y nutrición.
 - GIS e informes detallados de teledetección.
 - Previsiones meteorológicas que aprenden con el microclima de las fincas.
 - *Software* integrador que facilita la gestión mediante cuadros de mando personalizados.
 - Formación presencial y *online*: periodo de un año de implantación con formación a los técnicos de la empresa en el uso de las herramientas y en el diseño de alarmas personalizadas.

El objetivo final es la mejora del control del cultivo mediante el uso eficiente del agua, abono y tratamientos, para conseguir calidad, sostenibilidad y rentabilidad. Trabajan con viñedo, olivo, cítricos, uva de mesa, aguacate, caña de azúcar, tomate, etc.

● Proyectos

- Agricultura sostenible con vertido cero de nitrato en el Mar Menor. **Verde Smart** está participando desde marzo de 2021 como proveedor estratégico del proyecto **CeroN03-Mar Menor** que se está realizando en la Región de Murcia con su metodología de gestión de nutrición (KIT PRO y KIT básico) y con su sensor patentado para medir nitrato y potasio en el suelo Nutrisens. Participan a través de su distribuidor en la zona DPE-GRUP junto con la empresa socia del proyecto **Water Technologies (WTECH)**.
- La sonda Nutrisens ayuda a Frutinter SL a conseguir clementinas certificadas con huella de nitrato cero. La metodología SMART aplicada a la gestión de la nutrición ha facilitado la primera huella de nitrato del mundo después de trabajar dos campañas y conseguir ahorros del 65 % en aportes de nitrato mejorando producción y calibre.
- **Sitio web:** <http://www.vertech.com>

2.5. BASF- agro

Como líder de la industria con una amplia cartera de fungicidas, insecticidas, herbicidas y tratamientos de semillas, BASF ayuda a los agricultores a aumentar de forma sostenible la producción y la calidad de sus cultivos. Alimentando una cultura de innovación en línea con las necesidades de los clientes, aporta tecnologías que pretenden garantizar que los cultivos crezcan más sanos, más fuertes y resistentes a los factores de estrés, tales como el calor o la sequía.

● Servicios

- AgSolutions Finder: proporciona una recomendación digital de producto para planificar las medidas necesarias que logren proteger tus cultivos a tiempo.
- Agrigenio Vite: mediante sensores en el campo y diversas fuentes de información, recopila datos complejos de manera continua de todos los aspectos de viñedo y los trata, proporcionando alertas en tiempo real y un claro asesoramiento operativo sobre intervenciones a realizar en campo.
- Experiencia 3.0 en arroz de BASF: para poder conocer en profundidad el origen de la falta de actividad de un determinado herbicida en el control de las gramíneas en el arroz.
- **Sitio web:** <https://www.agro.basf.es>

2.6. Grupo Buitrago. Buitech. Agricultura 4.0

La prioridad de Grupo Buitrago es dar servicio al agricultor. Cuenta con una notable presencia en el sureste de la península, sus centros son un referente en esta zona geográfica.

Buitech es una marca centrada en las últimas novedades tecnológicas aplicables a la agricultura. Gracias a los últimos avances, ponen al alcance del cliente las mejores herramientas para conocer el estado de sus cultivos.

● Servicios

- Sensores de clima y humedad
- Digitalización de explotaciones y asesoramiento agronómico:
 - Recopilación de datos
 - Digitalización de parcelas a alta resolución
 - Capas de información de valor
 - Caracterización agronómica de las parcelas
 - Monitorización de cultivos
 - Asesoramiento agronómico

● Proyectos:

- **Frutas de la Sierra Espuña y PSB Producción Vegetal**, empresas referentes en el sector agrícola, tanto en la producción de frutales de hueso como en la innovación varietal, han confiado en Buitrago para la instalación de dos estaciones (sondas de humedad) que recogen datos de humedad de suelo y parámetros ambientales, con el fin de obtener la máxima precisión en la toma de decisiones sobre la programación de riego. La tecnología aplicada en las fincas permite un mejor aprovechamiento de los escasos recursos hídricos, mediante el seguimiento continuo de la evolución del agua en el suelo a distintas profundidades. Un mayor conocimiento de esta dinámica implica poder tomar decisiones con más de un criterio.
- **Drones y análisis foliar**: agricultura de precisión para la corrección de la clorosis férrica en almendros de la Región de Murcia en una superficie de 14 ha.

Para realizar la exploración de la parcela se usaron los siguientes índices de vegetación:

- NDVI: se utiliza para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación.
- NDRE: es sensible al contenido de clorofila en las hojas. Los valores altos de NDRE representan niveles altos de contenido de clorofila en las hojas, que implica por lo general plantas sanas. Por el contrario, niveles de NDRE bajos indican alguna posible problemática en el cultivo que hay que explorar. Para la toma de muestras de hojas, utilizaron NDRE ya que este índice es más sensible en cultivos en estado de desarrollo avanzado. Los resultados analíticos confirman que la principal diferencia

analítica entre índice NDRE alto e índice NDRE bajo, está en el parámetro de niveles de hierro foliar.

- **Sitio web:** <https://buitech.es/>

2.7. XARVIO

Xarvio ofrece productos digitales que brindan asesoramiento agronómico independiente y específico de la zona del campo, lo que permite a los agricultores producir sus cultivos de la manera más eficiente. Empezaron a desarrollar sus algoritmos en campos reales hace más de 25 años.

- **Servicios**
 - **Monitor de campo**
 - Mapas actuales de biomasa.
 - Mapas históricos de zonas de potencia de campo basados en hasta 15 años de datos satelitales.
 - Visualización de mapas de zonas de campo para las condiciones del suelo, mapas de siembra, fertilización, protección de cultivos, reguladores de crecimiento y rendimiento.
 - Información detallada sobre las condiciones meteorológicas actuales e históricas y pronósticos por hora para sus campos.
 - Integración automática de zonas de amortiguación en los mapas de su aplicación según las características del campo (estructuras de costura, cuerpos de agua) y los productos aplicados.
 - Machine Data Link permite que FIELD MANAGER envíe y reciba datos de forma inalámbrica desde y hacia su terminal.
 - **Siembra**
 - Mapas de siembra.
 - Basado en el potencial de rendimiento de cada zona de campo, por ejemplo, mediante el análisis de mapas históricos de distribución de biomasa, rendimiento, suelo y elevación.
 - Se pueden incluir zonas de gestión.
 - **Fertilización:** mapas de aplicación específicos de zonas de campo para nitrógeno, fósforo y potasio.

- **Protección**
 - Resumen de riesgos y etapas de crecimiento para cada uno de los campos.
 - Alertas y recomendaciones de riesgo específicas del campo siempre que haya un cambio en el estado del riesgo.
 - Generación automática de mapas de aplicaciones variables para sus campos.
 - Dosificación específica de la zona de campo de protección de cultivos y regulador de crecimiento para garantizar una cosecha óptima.
- **Sitio web:** <https://www.xarvio.com/>

2.8. Greenfield Technologies

Greenfield ayuda a que las explotaciones agrarias sean más competitivas y sostenibles. Lo hace usando el conocimiento agronómico, y con ayuda de la tecnología.

Analiza los cultivos con imágenes de satélite, con georradars, con sensores de distintos tipos, con imágenes de drones, con muestras físicas, etc.

Realiza un tratamiento geoestadístico de los datos obtenidos en campo a través de diversos sensores para poder sacar información útil y sencilla.

- **Servicios**
 - Caracterización de suelos.
 - Monitorización de la salud, producción, calidad y fertilización y conteo de árboles.
- **Proyectos:**
 - **Life Resilience:** prevención de *Xylella fastidiosa* en plantaciones intensivas de olivos y almendros aplicando prácticas productivas de agricultura verde. El consorcio que compone este proyecto agrupa a empresas e instituciones de España, Italia y Portugal siendo los socios de este: Galpagro, la Universidad de Córdoba, Agrifood Comunicación, Agrodrono y ASAJA Nacional.

Greenfield Technologies, como socio del proyecto, aportará a la lucha contra la *Xylella fastidiosa* las ventajas que la agricultura de precisión proporciona en el seguimiento, evaluación y control de los cultivos, pudiendo obtener un conocimiento detallado de las distintas zonas de las fincas, mediante la caracterización de los suelos y análisis de imágenes satelitales y drone, para identificar la evolución de los diferentes vectores de transmisión del patógeno.

- **Yield *online*:** sistema para establecer relaciones predictivas entre parámetros agronómicos y producción y calidad en olivar y viñedo, basándose en plataforma cloud, modelos predictivos y mediciones no destructivas mediante tecnología NIR. Greenfield Technologies lidera este proyecto en el que colaboran el Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX) e Ideagro (empresa independiente de investigación aplicada al servicio del sector agroalimentario). El objetivo general del proyecto es ofrecer al agricultor una herramienta 4.0 para poder decidir de manera anticipada las distintas actividades de manejo y gestión que permiten obtener de forma geolocalizada el máximo rendimiento y calidad en los cultivos del olivar y viña.
- **Sitio web:** <https://greenfield.farm/>

2.9. CropX

CropX es una empresa de análisis agrícola que ha desarrollado el servicio de riego adaptativo, que optimiza automáticamente el riego, lo que proporciona un aumento espectacular del rendimiento de los cultivos y ahorros en los costos de agua y energía para los campos.

El servicio de CropX una solución de riego diferencial adaptativo automatizado, que aborda con éxito este desafío. Genera automáticamente mapas de riego diarios, precisos y sin complicaciones, que aplican la cantidad justa de agua a diferentes partes del mismo campo.

Especialidades: ag-analítica, agua, cultivos, sensores, *big data*, IoT, SAAS y agricultura de precisión.

- **Servicios**
 - Sensores de suelo
 - Información de clima
 - Imágenes aéreas
 - Mapas topográficos
 - Mapas de suelos
 - Modelos hidráulicos
 - Modelo de cultivos
- **Proyectos**
 - **PepsiCo** elige **CropX** para lograr sus objetivos globales de sostenibilidad: CropX realizó pruebas piloto en asociación con PepsiCo México de los sensores y soluciones tecnológicas ofrecidas por CropX, con el objetivo de demostrar reducciones en el agua

utilizada para la producción de patata bajo riego por goteo y pivote. Los datos recopilados por los sensores de CropX se monitorearon continuamente a lo largo de la temporada y la información procesable generada por los algoritmos de CropX ayudó a los agricultores a tomar decisiones basadas en la ciencia. Para demostrar los beneficios de la agricultura sostenible utilizando tecnologías de vanguardia, PepsiCo comparó los resultados de las parcelas de 'Mejores prácticas agrícolas 4.0' con el grupo de control, donde los agricultores utilizaron prácticas estándar. Los resultados fueron significativos: las parcelas de 'Mejores prácticas agrícolas' donde se utilizó la tecnología CropX lograron un mayor rendimiento, al tiempo que se aplicaron un 15 % menos de agua y menos fertilizantes, en comparación con el grupo de control. El ahorro combinado de agua y fertilizantes también había reducido significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero.

- **Sitio web:** <https://cropx.com/>

2.10. Farmers Edge

Esta empresa ofrece soluciones de vanguardia impulsadas por una combinación de datos centrados en el campo, inteligencia artificial e integración completa. Desde 2005, Farmers Edge ha transformado la industria con tecnologías disruptivas y asociaciones estratégicas diseñadas para mejorar la conectividad en todo el ecosistema agrícola. Con la plataforma de gestión de datos, FarmCommand, está revolucionando la forma en que los agricultores, los profesionales y las empresas agrícolas interactúan con los datos.

- **Servicios**
 - Recopilación de datos
 - Plataforma de gestión agrícola
 - Herramientas avanzadas de apoyo a la toma de decisiones
- **Sitio web:** <https://www.farmersedge.ca/>

2.11. Syngenta Dygital

Syngenta Group es una empresa de tecnología e innovación agrícola sostenible. Sus principales líneas de negocio son las semillas y la protección de cultivos. Syngenta adquirió recientemente la empresa Strider, empresa de referencia en tecnología agrícola en el mercado en Brasil, Estados Unidos, México, Argentina, Mozambique, Colombia y Bolivia.

- **Servicios digitales:**
 - Plataforma Cropwise: combina tecnología e innovación con herramientas que resuelven los desafíos diarios que enfrentan los productores brasileños en sus operaciones.
 - Toma de decisiones.
 - Monitoreo digital.
 - Eficiencia y gestión.
- **Sitio web:** <https://www.syngentadigital.com.br/>

2.12. Agrodato

Es una empresa española dedicada a la agricultura de precisión que ofrece servicios de teledetección, sensorica y analítica en todo el territorio nacional y para todo tipo de cultivos.

- **Servicios**
 - Digitalización de fincas
 - Monitorización de cultivos
 - Análisis agronómico integral
 - Prescripciones y alertas
 - Planes de abonado y riego
 - Alertas de fitopatologías
 - Estimaciones de producción y calidad
- **Sitio web:** <https://www.agrodato.com/>

2.13. Conapa

Ayudan a implantar nuevas tecnologías para mejorar la rentabilidad de los cultivos. Son peritos agrícolas expertos en mapeado de suelos, consultoría agrodigital y teledetección agrícola.

- **Servicios**
 - Mapeado de suelos

- Teledetección
- Consultoría agrodigital
- **Sitio web:** <https://conapa.es/>

2.14. Bigm

Es una empresa consultora que, combinando varias ramas de la ingeniería y la arquitectura, ha evolucionado el concepto BIM desde *Building Information Modelling* hasta *Building Information Geospatial Modelling*. O lo que es lo mismo: transformación de la información geoespacial, adquirida por medio de satélites, aviones, drones, lidar, cámaras fotográficas y equipos de topografía en bases de datos inteligentes, capaces de explotar y analizar la información mejorando la eficiencia del proceso de datos en la ejecución de proyectos de ingeniería.

Las oficinas centrales están en Madrid, tiene oficinas en México, Colombia, Polonia, Brasil, Portugal y Sudáfrica.

- **Servicios**
 - Sistemas expertos en agronomía: proporciona un completo histórico de la explotación, gracias a los datos capturados a lo largo de varias campañas, para ayuda de la toma de decisiones de aplicación y la obtención de asesoramiento gracias a las prescripciones de los datos conseguidos.
 - Ayuda a la gestión documental del campo
- **Sitio web:** <https://bigm.es/es/index.html>

2.15. iBeeAgro

iBeeAgro es una solución de supervisión y gestión integral agrícola formada por sensores agroclimáticos y una herramienta (*software*) que permite planificar, registrar y controlar las labores y tareas asociadas a la explotación según las necesidades de esta.

- **Servicios**
 - Gestión del riego
 - Minimiza los riesgos por plagas y enfermedades
 - Cultivos sostenibles mediante el ahorro y la optimización de recursos

- Acceso a la información meteorológica en tiempo real
- Proporciona conocimientos de las necesidades de cada planta
- Organiza la información de las parcelas
- **Sitio web:** <https://ibeeagro.com/>

2.16. Widhoc

Es una empresa tecnológica que provee soluciones innovadoras centradas en el ámbito de la agricultura. Uno de sus principales objetivos es la optimización y gestión eficiente del agua en todo tipo de cultivos.

- **Servicios**
 - Optimización del riego y control de cultivos
 - Monitoreo y control de plagas
 - Actuadores A-WIDE: permite activar de forma remota (móvil/web) el encendido/apagado-apertura/cierre de equipos e instalaciones. Activa el riego, interactúa con la calefacción, ventilación e iluminación de invernaderos o realiza trasvases controlando válvulas y motores
 - Control hidropónico
 - Control de depósitos
- **Proyectos:** **Widhoc Smart Solutions SL** e **INAM Ingeniería Natural**, constituidos en UTE, son los concesionarios del 'Proyecto de Ejecución para la Implantación de Agricultura de Precisión y Control del Acuífero en la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena' de la Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería, Pesca y Medio Ambiente de la CARM.

El equipo utilizado en el proyecto es el datalogger D-WIDE que recoge y envía de forma autónoma los datos del suelo, el ambiente y el agua, proporcionados por los sensores, los cuales son analizados y recogidos en el panel de control accesible a través de portátil o dispositivo móvil. Su tecnología A-POWER les confiere funciones de autodiagnóstico y autoreparación que minimizan el mantenimiento y la interrupción del servicio.

El datalogger D-WIDE permite:

- Riego efectivo y sostenible.
- Optimizar los recursos al máximo: agua, abonado y energía.
- Acceso remoto, 24 horas, 365 días al año, a los datos del cultivo.

- **Sitio web:** <https://www.widhoc.com/>

2.17. BrioAgro Tech

Es una empresa de riego inteligente agrícola. Riega justo cuando lo necesita el cultivo, logrando así ahorros de agua que, dependiendo del cultivo y el suelo, pueden superar el 50 %, mejorando además el volumen y la calidad de la producción.

- **Servicios:**

- Riego inteligente:
- Riego automático Aqua: es un sistema inteligente que riega adaptándose al tipo de suelo y al estado del cultivo, consiguiendo ahorros de agua, electricidad y fertilizantes.

El sistema de riego de BrioAgro Aqua funciona como un robot y se encarga de manera autónoma de realizar los aportes al cultivo cuando lo necesita.

Usando la última tecnología de sensores en suelo y satélite conectados a internet, junto a inteligencia artificial procesada desde google cloud platform.

Conectan la información a tiempo real del cultivo, su suelo y meteorología con el programador de riego para hacer riego inteligente.

- **Proyectos:**

- **Recolecta:** el Grupo Operativo Recolecta está conformado por Florette, BrioAgro y el ITC Canario. El objetivo del proyecto Recolecta es desarrollar un sistema de gestión agrícola inteligente y autónomo que determine la fecha óptima de recolección de cada cultivo de cuarta gama, de forma que se pueda mejorar la competitividad de los productores primarios en la cadena alimentaria, así como contribuir a la seguridad alimentaria. Un proyecto liderado por Florette, sobre la tecnología de monitorización y riego inteligente de BrioAgro junto con nuevos desarrollos de inteligencia artificial y *machine learnig* para predecir el día de corte del cultivo.
- **Blockchainfood:** es el acrónimo del proyecto denominado «Trazabilidad total para seguridad alimentaria y sostenibilidad ambiental mediante tecnología *blockchain*» liderado por Florette Ibérica, DeustoTech y BrioAgro Technologies.

El objetivo general del proyecto Blockchainfood es desarrollar una solución que permita garantizar la trazabilidad total de productos vegetales de IV gama en relación con la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental, económica y social, a través de la tecnología *blockchain* integrada a todos niveles, desde el campo hasta la mesa.

- **Sitio web:** <https://brioagro.es/>

2.18. Trimble

Es una compañía de tecnología de *software* como servicio (SaaS) con base en Sunnyvale, California. Presta servicios a industrias globales en agricultura, edificación y construcción, geoespaciales, recursos naturales y servicios públicos, gobiernos, transporte y otros. Trimble también realiza el desarrollo de *hardware* de receptores del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), telémetros láser, vehículos aéreos no tripulados (UAV), sistemas de navegación inercial y herramientas de procesamiento de *software*.

- **Servicios**
 - Preparación del terreno
 - Dirección y guiado
 - Plantación y siembra
 - Control y caudal de aplicación
 - Nivelación de terrenos
 - Gestión de datos
 - Cosecha
- **Sitio web:** <https://agricultura.trimble.es/>

2.19. SGS España. Agricultura y alimentos. Agricultura de precisión

SGS presta servicios mundialmente en inspección, verificación, ensayos y certificación.

- **Servicios agropecuarios**
 - Mapeado químico de suelos – aplicación de índice variable de cal/yeso.
 - Análisis de elementos macro y trazabilidad.
 - Imágenes por satélite/NDVI.
 - Potencial de los suelos (diferentes cultivos) para la gestión de la variabilidad en los campos.
 - Métodos de cultivo de labranza (profundidad y tipo).
 - Recomendaciones de fertilizantes (aplicación de índice variable).
 - Gestión de zona para fertilización VRT.

A continuación, se describen con más detalle los siguientes servicios:

- Gestión del agua de riego.
- Mapeo de suelos.
- Monitoreo de fertirrigación.
- **Sitio web:** <https://www.sgs.es/es-es/agriculture-food/seed-and-crop/soil-leaf-and-water-services/precision-farming>

3. Sensórica

3.1. Saturas

Saturas Ltd. es una empresa israelí de tecnología agrícola que ha desarrollado un sistema de precisión basado en sensores para un riego optimizado.

Desde su establecimiento en 2013, la tecnología de Saturas ha demostrado ser un sistema de apoyo a la decisión (DSS) de riego preciso y confiable en manzanas, melocotones, cítricos, aguacates, uvas de vino, cerezas, nueces y más. Saturas Ltd colabora con los principales agricultores e investigadores de riego de Israel, así como con corporaciones multinacionales.

- **Servicios**

- Medición del potencial de agua del tallo
- App de Saturas: la aplicación de Saturas, proporciona una actualización diaria del estado del agua de la parcela, junto con los datos de riego, clima y ET. Permite analizar, comparar y ver fácilmente el historial de la parcela.

Los sensores transmiten datos automáticamente al teléfono móvil/PC. Esta tecnología permite un riego personalizado basado en las necesidades de agua del cultivo en tiempo real, lo que resulta en un uso eficiente del agua, mayor rendimiento, tamaño de la fruta e ingresos.

- **Proyectos:**

- Monitoreo del potencial hídrico del tallo en cítricos y vid.

- **Sitio web:** <https://saturas--ag-com>

3.2. Trace Genomics

Esta empresa ha desarrollado la primera herramienta de análisis que aprende a medida que mapea el suelo vivo. Fundada en 2015 para servir a la comunidad agrícola, Trace Genomics ayuda a los agrónomos y agricultores a maximizar el valor de cada hectárea de tierra. La compañía está construyendo una gran base de datos de inteligencia de suelos. Trabajando en colaboración en todo el ecosistema agrícola, Trace Genomics ayuda a los productores a optimizar los costes, administrar el riesgo y proteger su suelo como un activo de capital. Su sede está en Silicon Valley.

- **Servicios:**
 - Digitalización del suelo: analizan la biología del suelo aplicando extracción y análisis de ADN para indexar y cuantificar los microbios.
 - Decodificación: decodifican los datos del suelo y aprovechando el aprendizaje automático, realizan análisis y comparación de los datos.
 - Recomendaciones: mediante la combinación de datos biológicos, con datos químicos y conocimientos del suelo ayudan a tomar medidas.
- **Sitio web:** <https://tracegenomics-com>

3.3. Biome Markers

Es una empresa global de tecnología agrícola que modela la funcionalidad del suelo para mejorar la productividad de los suelos cultivables. Conectan la biología del suelo con los procesos de toma de decisiones en la agricultura para beneficiar a los agricultores y revertir la degradación de los suelos arables, fomentando el secuestro de carbono en el suelo. A través de la plataforma de suelos, BeCrop, miden la calidad biológica del suelo y brindan conocimientos agronómicos para optimizar las operaciones agrícolas.

- **Servicios:**
 - BeCrop: tecnología desarrollada internamente mediante la integración de genómica, inteligencia artificial y AgData para identificar los biomarcadores microbianos que proporcionan una explicación significativa de la función del suelo en la agricultura.
 - Gheom: seguimiento del efecto, evaluación del microbioma funcional de los insumos agrícolas. Integra una solución científicamente probada para problemas, permitiendo la identificación de efectos AgInput específicos, aplicables a cualquier cultivo, cualquier suelo, con varias muestras por tiempo y varios tiempos de muestreo.
- **Sitio web:** <https://biomemakers.com/>

3.4. Cesens

Es un sistema de información agroclimática para la toma de decisiones en agricultura. Se basa en estaciones que recogen datos para obtener información de valor añadido, como el riesgo de infección o la necesidad de riego. Encore Lab es la empresa que está detrás de Cesens.

Un amplio equipo multidisciplinar de ingeniería ha desarrollado el sistema por completo: *hardware*, *software* y modelos.

- **Servicios:**
 - Estaciones agroclimáticas: Envían a la plataforma cloud los datos que recogen en tiempo real.
 - *Cloud*: la plataforma *cloud* recibe los datos recogidos en el campo y los procesa, obteniendo información de gran valor para los técnicos agrícolas.
 - *Apps*: toda la información y funcionalidad de Cesens® es accesible desde cualquier tipo de dispositivo, en cualquier lugar del mundo.
- **Sitio web:** <https://www.cesens.es/>

3.5. Argotec Ingeniería

Empresa de Ingeniería orientada a diseñar y fabricar soluciones de monitorización y control para el mercado del internet de las cosas. Están especializados en sistemas embebidos de ultrabajo consumo y comunicaciones inalámbricas.

Qampo es un sistema que permite la monitorización y el análisis de parámetros agronómicos y medioambientales con el fin de optimizar la producción, la calidad y la sostenibilidad medioambiental.

- **Servicios**
 - Sensores
 - Datalogers: se conectan a los sensores, de los cuales obtienen datos para enviarlos inalámbricamente a la plataforma web de análisis.
 - Herramientas de agricultura: estaciones compuestas por sensores más datalogger que permiten monitorizar el clima, el suelo, la calidad del agua, el riego y permiten telecontrol de electroválvulas.
 - Plataforma para el análisis de datos: permite consultar todos los parámetros agronómicos monitorizados en tiempo real.
- **Sitio web:** <https://qampo.es/>

3.6. Agerpix

Incorporan tecnología disruptiva con el objetivo de rentabilizar y mejorar las cosechas de sus clientes. Para ello utilizan inteligencia artificial, visión artificial, sensorica, lo que les permite generar un *cloud* de información de valor para la correcta toma de decisiones.

Los servicios que ofrecen nacen de la sinergia de 3 fuentes: *big data*, inteligencia artificial y *machine learning*.

- **Servicios**
 - Onfruit 360: un sistema automático de conteo de fruta sobre el árbol con el que conocer la cantidad de fruto en las plantaciones con una precisión del 90-95 %.
 - Dendofruit: calibra de forma automática y a tiempo real la fruta sobre el árbol y ahorra mano de obra. Permite al productor acceder a diario a los datos de crecimiento de la fruta desde cualquier lugar con rapidez y una alta fiabilidad, ahorrando así todo el coste en mano de obra diario.
- **Sitio web:** <https://agerpix.com/>

3.7. Agroconecta

Es una empresa que ofrece herramientas tecnológicas que ayudan a optimizar la toma de decisiones y mejorar el rendimiento de las empresas de sectores agrícola, ganadero y alimentario.

Utilizan redes de sensores inalámbricos que miden de forma automática y continua datos ambientales y climatológicos y permiten a los profesionales estar conectados a esa información relevante de los distintos procesos para poder actuar en el momento preciso, gracias al sistema de alarmas en tiempo real incorporado y a facilitar la captura y registro de datos históricos para cumplir con requerimientos legales o contractuales.

Se adaptan a las necesidades de estos sectores, y por ello los dispositivos inalámbricos son fiables, robustos, se alimentan con pilas alcalinas y pueden ser instalados por los propios clientes lo que permite monitorizar diferentes puntos críticos y extensas superficies, sin necesidad de incurrir en grandes inversiones.

La plataforma IoT Agroconecta y la *app* en la que se vuelcan los datos, son muy intuitivas y de fácil manejo.

- **Productos**
 - Estación meteorológica
 - Sensor de suelo

- Sensor ultrasonido
- Sensor de presión
- **Sitio web:** <https://agroconecta.es/>

3.8. M2sensores

Esta empresa nace de la investigación y experiencia profesional en el campo de la sensórica, para dinamizar el sector y ofrecer soluciones integrales, robustas y escalables a todos los profesionales que necesitan conocer y controlar de manera fiable sus procesos y servicios.

- **Servicios:**
 - Sensores para monitorización de agricultura y ganadería: cuenta con una amplia gama de sensores temperatura, humedad del aire, humedad del suelo, presión barométrica, gases luminosidad, radiación solar, flujo de agua, etc.
 - Aplicación web: el usuario puede visualizar gráficamente el estado de todos los sensores que tiene instalados, controlar el histórico de lecturas, reconfigurar los dispositivos y activar remotamente los actuadores.
- **Sitio web:** <https://m2sensors.com/>

3.9. Plantae

Es una tecnología inalámbrica enfocada a la agricultura y jardinería profesional para optimizar el riego aumentando la productividad a través de sensores de humedad en tierra y otros parámetros.

- **Servicios**
 - Sensores
 - Estación meteorológica
 - Panel web de gestión
- **Sitio web:** <https://plantae.garden/>

3.10. Aquamática

Equipo formado por ingenieros agrónomos y economistas especializados con más de 20 años de experiencia en el sector de la agronomía y sensórica e investigación.

- **Servicios**
 - Sensorización de fincas
 - Consultoría I+D+i
 - Proyectos agrícolas
 - Asesoramiento y gestión
- **Sitio web:** <http://aquamatica.net/>

3.11. Arvum agriculture

Especialistas en digitalización agrícola y riego de precisión. Arvum busca dar solución a un problema medioambiental que no solo está afectando a los agricultores, sino que representa una preocupación mundial: el agua.

A través de tecnologías avanzadas que permiten medir, controlar y realizar un seguimiento del uso del riego, los fertilizantes y los pesticidas. Empresa referencia en el norte de África y España, con seguimiento de más de 100.000 ha de regadío en la actualidad.

- **Servicios**
 - Sensores de riego
 - Consultoría en materia de riego
 - Asesoramiento
- **Sitio web:** <https://www.arvum-agriculture.com/>

4. Tecnologías en ganadería

4.1. OPPGroup

Es el mayor grupo europeo de especialistas dedicados a la asesoría integral de la producción porcina, presente en los sectores de salud animal, desarrollo de proyectos llave en mano y desarrollo y comercialización de I+D+i.

- **Servicios:**
 - Salud animal: en este servicio se incluye la micronutrición, mediante la utilización de estaciones electrónicas de alimentación (ESF), que permiten instalar equipos de micro

dosificación y disponen de un *software* propio, OPP Group diseña complementos nutricionales específicos para cada fase de la gestación, mejorando así el peso y vitalidad de los lechones al nacimiento.

- Sistemas de alimentación.
 - Plataforma de integración de sistemas, manejo de datos y análisis de resultados para granjas tecnológicas.
 - V-ETIC: un sistema de vacunación y administración de medicamentos portátil con certificación por chip RFID que permite el registro electrónico de los tratamientos inyectables.
- **Proyectos:**

- **ALBESA RAMADERA:** es una granja dedicada a la producción de lechones con capacidad para 3.200 cerdas situada en la localidad de Albesa (Lleida). Está dotada de las últimas tecnologías que permiten el registro en tiempo real de los distintos parámetros implicados en la producción. Para ello, dispone de una plataforma de gestión informática que integra todas las informaciones recibidas procedentes de los sistemas de alimentación, control de temperatura y ventilación, información sobre pesos de lechones y espesor de grasa dorsal en cerdas.

El sistema de gestión central de la explotación permite coordinar toda la información procedente de las redes mencionadas anteriormente, cruzando los datos obtenidos por cada una de ellas para buscar interrelaciones y ofrecer al ganadero un interfaz táctil de diagnóstico, alerta y análisis de la información de su explotación.

- **Sitio web:** <https://oppgroup.com/>

4.2. PigCHAMP Pro-Europa SL

Es una empresa dedicada a generar conocimiento para tomar mejores decisiones en la sanidad y producción porcina y avícola con dos líneas de negocio:

1. Configuración de sistemas de información siguiendo los cinco pasos: recolección de datos, procesamiento, generación de informes, distribución de información y finalmente análisis y toma de decisiones. Las áreas son reproducción, salud y uso de antibióticos y bioseguridad. Utilizan diferentes herramientas, incluido el *software* para cerdos (PigCHAMP).
2. Entrega de investigación aplicada de calidad en condiciones comerciales. Realizan ensayos de campo para probar medicamentos, vacunas o aditivos para piensos, tanto con fines de registro (EFSA, EMEA) como de *marketing* estratégico.

Ofrecen conexión de diferentes fuentes de datos en granjas, incluyendo reproducción, alimentación electrónica de cerdas, sistemas de control ambiental, matadero y bioseguridad, incluido el sistema de control en tiempo real llamado PRRSons.

También participan en proyectos de investigación aplicada (local, nacional o internacional) para colaborar con otras empresas, universidades o instituciones y miembros del Grupo Focal Español para la Digitalización del Sector Agro.

● Servicios

- Transformación digital de la granja
 - *Robots de alimentación*: integración de PigCHAMP con máquinas de alimentación electrónica que aumentan la potencia de análisis de datos.
 - *Biorisk*: controla y evalúa el nivel de bioseguridad interna de la granja en tiempo real.
 - *Sanitrax*: el control del estado sanitario de las granjas de porcino en tiempo real.
 - *Desarrollos informáticos e integración de datos*: desarrollos informáticos a medida para facilitar el tránsito de datos entre PigCHAMP y otras aplicaciones.
 - *Control de la producción*:
 - *Clik Farm*: de un solo vistazo permite entender lo que está pasando en todos los departamentos de la granja porcina.
 - *Auditorías reproductivas*: Análisis exhaustivo de los datos reproductivos de la granja, incluyendo conclusiones y recomendaciones.
 - *Mejora productiva*.
- PigCHAMP Software: es el *software* de gestión de granjas porcinas con mayor potencia de análisis del mercado, y cuenta con los mejores servicios y herramientas desarrolladas.
 - *Benchmarking y comparativas*: compara los resultados de una granja con su base de datos para conocer el lugar de la granja en el mercado.
 - *Servicio de introducción de datos*: se encargan de la introducción y control de calidad de los datos que reciben de las granjas en Pigchamp.
 - *Desarrollo de software a medida e introducción de datos*: desarrollan un sistema propio de gestión de la información e integran los datos desde diferentes fuentes

● Proyectos

Gestión de proyectos de I+D+i propios y para otras empresas, algunos de ellos:

- Vigiasan: el proyecto innovador sobre el empleo de biosensores y videocámaras para evaluar el estado de salud, bienestar y productividad en ganado, está coordinado por el Centro de Vigilancia Sanitaria Veterinaria (VISAVET) de la Universidad Complutense de Madrid. Además de PigCHAMP Pro-Europa, participan en este proyecto Vall Companys SA, Infomicro Comunicaciones SL, ASOPROVAC, Fundación Vet+i y el MAPA y ANPROGAPOR como miembros colaboradores. El objetivo general de este proyecto es desarrollar un *software* y *hardware* de vigilancia en ganado porcino y bovino para monitorizar cambios en parámetros que permitan la detección temprana de problemas sanitarios, garantizando la sanidad animal y pública.
- INTERDATA-PORC: Este proyecto está promovido por la Agrupación Empresarial Innovadora Clúster Español de Productores de Ganado Porcino (i+Porc). Además del clúster, participa Juan Jiménez SAU (JISAP) y PigCHAMP Pro Europa. El proyecto ha recibido financiación del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (MINCOTUR) dentro del programa de apoyo a las AEI para contribuir a la mejora de la competitividad de la industria española. Desarrollo de una novedosa solución escalable para la interoperabilidad en la gestión de datos multigranja en tiempo real en la cadena de producción porcina.
- **Sitio web:** <https://www.pigchamp-pro.com/>

4.3. Allflex Livestock Intelligence Global

Esta empresa se dedica al diseño, desarrollo, fabricación y entrega de soluciones para la identificación, monitoreo y trazabilidad de animales. Los agricultores, empresas y países utilizan sus soluciones basadas en datos para gestionar cientos de millones de animales en todo el mundo. Al poner información de gestión inteligente y procesable en manos de los agricultores, estas soluciones les permiten actuar de manera oportuna para salvaguardar la salud y el bienestar de sus animales, al tiempo que logran resultados de producción óptimos para un suministro de alimentos saludable. Allflex Livestock Intelligence es una cartera de productos digitales para ganado dentro de MSD Animal Health.

A través de su compromiso con Science of Healthier Animals®, MSD Animal Health ofrece a los veterinarios, granjeros, dueños de mascotas y gobiernos una de las más amplias gamas de productos farmacéuticos veterinarios, vacunas y soluciones y servicios de gestión de la salud, así como una amplia gama de identificación conectada digitalmente y productos de seguimiento. MSD Animal Health se dedica a preservar y mejorar la salud, el bienestar y el rendimiento de los animales y las personas que los cuidan.

Tienen presencia internacional con oficinas situadas en Australia, Bielorrusia, Bélgica, Brasil, Canadá, China, Dinamarca, Francia, Alemania, India, Israel, Italia, Países Bajos, Nueva Zelanda, Noruega, Polonia, Rumanía, Suecia, Sudáfrica, Reino Unido, Uruguay y EEUU.

- **Servicios:**
 - Identificación del ganado.

- Monitoreo de ganado.
- Tecnologías de automatización de ordeño.
- **Proyectos:**

Cuentan con infinidad de proyectos en diferentes países, algunos de ellos son:

- **Granja Rockwella Holsteins, Australia:** con 380 vacas lecheras en la granja y 250 vaquillas. Sistema Allflex Heatime® HR LD para rumia, detección de celo e identificación de vacas. Heatime identifica las vacas enfermas mucho más rápido de lo que normalmente se puede y elimina todas las dudas y preguntas sobre si esa vaca está en celo o no. Al reducir el intervalo entre el parto y la concepción la producción por vaca ha aumentado en 600 litros/año.
- **Lechería Pozo de Avestruz, Argentina:** Allflex Heatime® HR con collares HR y HRLDn para detección de celo en tiempo real y control de la salud. Ordeña alrededor de 300 vacas Holstein, con rendimientos cercanos a los 27 litros por vaca por día y un nivel sorprendentemente alto de sólidos lácteos. Beneficios obtenidos: la grasa de la leche ha aumentado de 3,1 % a 3,7 % y se han minimizado los problemas de abomaso desplazado, mientras que seis horas diarias de trabajo manual para la detección visual de celo se liberan para otras tareas.
- **Granja Nicholson, Inglaterra:** solución de monitoreo de vacas Allflex SenseHub™ con etiquetas de cuello cSense™ Flex.
- **Sitio web:** <https://www.allflex.global/>

4.4. Delaval

Es proveedor de soluciones que mejoran el rendimiento de las granjas de los productores profesionales de alimentos. Ofrecen productos, sistemas y servicios para todas las etapas de la producción lechera.

- **Servicios**
 - Ordeño: DeLaval VMS™ Series, Ordeño DeLaval Flow-Responsive™, salas de ordeño, rotativas, unidades de ordeño de estabulación libre.
 - Accesorios de ordeño
 - Bienestar animal
 - Alimentación: DeLaval OptiDuo™, DeLaval Optimat™, mezcladores, alimentación para terneras, estaciones de alimentación.

- Plataforma de gestión para granjas lecheras. Ha sido diseñado para apoyar los cinco pilares clave de la gestión ganadera, y para proporcionar herramientas que ayuden a tomar decisiones que maximicen los resultados en toda la granja. DeLaval DelPro™ y su conjunto de sensores y aplicaciones sirven para ofrecer más control de la granja, con un acceso más rápido y preciso a información valiosa, análisis e informes que ayudarán a mejorar la toma de decisiones.
 - Información precisa, fácil de comprender y de corregir.
 - Válido para vacas, ovejas, cabras y búfalas.
 - Desde unos pocos animales hasta 20.000.
 - Informes de rendimiento del sistema de ordeño.
 - Registro de calidad y volumen de leche.
 - Resumen de eventos del rebaño.
 - Informes sobre animales de forma individual.
 - Indicadores del rendimiento (reproducción, alimentación, etc.).
 - Registro de visitas veterinarias y vacunaciones.
- **Proyectos:**
 - Una alternativa a la mano de obra

Los sistemas de ordeño voluntario de DeLaval ayuda producir más, con menos. El robot utilizado en esta granja es un V300, el cual sustituye a su antigua sala de ordeño. Junto con el robot han comenzado a trabajar con un nuevo programa de gestión con el que controlan, entre otras cosas, la información que obtienen de los podómetros.

Trabajan con varias *apps*, una de ellas es DeLaval MyFarm, donde se muestran los datos de la granja, la producción de las últimas 24 horas y de los últimos siete días por vaca y por granja.

También emplean el DeLaval InControl, que permite la conexión a la pantalla del robot directamente y su manejo desde el móvil, y también la aplicación de las cámaras. Esta aplicación permite ver desde el móvil a tiempo real si todo está funcionando correctamente,
- **Sitio web:** <https://www.delaval.com/>

4.5. Digital animal

Aportan soluciones de localización y control del ganado.

- **Servicios**
 - Collares GPS para ganado.

- Báscula inteligente para ganado bovino, ovino, caprino o porcino, para el control del engorde de los animales. La herramienta asegura una gestión más eficaz y rentable de las explotaciones ya que posibilita la detección temprana de enfermedades, puesto que notifica y alerta si un animal no está reponiendo de manera adecuada, su peso no está evolucionando correctamente o si visita más o menos veces el bebedero.
 - Dispositivos para investigación y fauna salvaje: proyectos a medida a bajo coste para monitorizar todo tipo de animales, resistentes y con alta autonomía. Disponibilidad de API y técnicas de *big data*.
 - Innovación y digitalización: transformación digital, permite conectar con los clientes y transmitir a través de un código QR la trazabilidad total de tus productos gracias a *blockchain*.
- **Proyectos**
 - En la sierra sur de La Rioja ya hay 86 ganaderías que han decidido apostar por introducir la tecnología GPS en su actividad profesional. En esta zona ya son 573 cabezas de ganado las que cuentan con dispositivos de geolocalización.
Gracias a la implantación de esta tecnología, la Consejería de Agricultura de La Rioja ha realizado un estudio pionero con los datos que se recogen de los más de 500 localizadores activos actualmente.
 - La Unión de Pequeños Agricultores y Ganaderos lidera el proyecto GELOB, desarrollado junto con la Universidad Politécnica de Madrid y las empresas Digitanimal, RBZ, Consultores en Biología de la Conservación y la Fundación para la Investigación en Etología y Biodiversidad.
 - **Sitio web:** <https://digitanimal.com/>

5. Software

5.1. Agrisat Iberia, SL

Es una empresa al servicio del campo que nace de la unión entre la agronomía y las nuevas tecnologías. Con sede en Albacete, tiene presencia internacional.

Esta empresa ha sido pionera en el uso de imágenes satélite aplicadas a la agricultura a escala nacional y pone a disposición de los agricultores un servicio agrario mediante el cual pueden observar y medir, el crecimiento y desarrollo de los cultivos, el *software* AgriSat webGIS, resultado de 15 años de experiencia operacional con Spiderwebgis.

- **Servicios**

- *Software* AgriSat WebGis:

A través de su plataforma *online* ofrece información en la zona de interés y permite consultar información en forma de mapas, obteniendo un conocimiento de los siguientes aspectos:

- El índice de vegetación de la parcerla (NDVI) que muestra la vigorosidad de la vegetación.
- Los valores NDVI para cada píxel y su evolución durante la campaña agrícola.
- La Imagen RGB o composición de color.
- Irrimaps. Se envían informes semanales con la estimación de las necesidades hídricas del cultivo en los próximos siete días. Esta información se ofrece de forma sencilla para el agricultor a la unidad de manejo que necesite como, por ejemplo, en el sector de riego o en la parcela.
- Fertimaps maximiza la rentabilidad de las parcelas caracterizando el potencial productivo de cada zona para realizar tareas de diagnóstico de fertilidad, estimación de extracciones de nutrientes, elaboración de planes de siembra y abonado o recogida selectiva de producto.
- Agricultura digital: dispone de sensores de humedad y sensor grainsense (medición de proteína, humedad en grano).

- **Sitio web:** <https://agrisat.es/>

5.2. Grupo Hispatec

Empresa de digitalización inteligente de la red agro global. Está presente en España, Marruecos, México, Perú, Chile, Centroamérica, Brasil, Portugal, Colombia y Argentina. Nacieron con el sector agro, junto a la agricultura intensiva almeriense, líder mundial en producción hortícola. A partir de ahí han apostado por un crecimiento sostenido hacia otras regiones y otros sectores, hacia la agricultura extensiva, y hacia los demás eslabones de la cadena de valor del negocio agroalimentario.

Especialidades: ERP Software de Gestión Empresarial especialista en sector agroalimentario, respaldo y monitorización de sistemas, venta de *hardware*, consultoría e implantación de *software*, sistemas informáticos, redes y comunicaciones, *apps* agrícolas, *software* agroalimentario, *smart agro*, I+D+i, agroindustria, sensores en cultivos, *big data*, computación agrícola y GIS.

● Servicios

- Soluciones precosecha: desde la gestión productiva de los cultivos, semilleros o suministros hasta la gestión agronómica de las explotaciones.
 - Explotación agrícola: gestión productiva de los cultivos, tanto del control económico y logístico de la producción como de la planificación de la producción.
 - Programación de cultivos: control y cálculo de las ubicaciones y superficies donde se ha de sembrar el cultivo en todas las fincas de la explotación.
 - Gestión de técnica de cultivos.
 - Almacenes de suministros: pone a disposición de las empresas de productos para el campo, las herramientas necesarias para gestionar de forma eficiente sus procesos de negocio.
 - Planes de abonado.
 - Gestión de semilleros y viveros.
 - *Apps* para técnicos y agricultores: gestión desde el móvil, alta de fincas, cuaderno de campo o recomendaciones de manejo.
 - Control de presencia en campo: identifica a trabajadores y cuadrillas en el momento gracias a reconocimiento facial o por voz, desde el mismo cultivo o en el almacén.
 - Soluciones personalizadas.
- Tecnología postcosecha: permite el control de todos los procesos de producción, confección, subasta, socios, proveedores y también contabilidad y recursos humanos.
 - Compras y almacenes
 - Gestión de alhóndiga y cooperativa
 - Almacenes de suministros
 - Control de confección y comercialización
 - Control de producción
 - Gestión de ventas y expediciones
 - *Software* de subasta
 - Gestión contable y financiera
 - Trazabilidad y seguridad alimentaria
 - Control de costes
- Gestión de negocio
 - Modelos predictivos y analítica avanzada

- Inteligencia de negocio
 - Cuadro de mando agrícola
 - Informes personalizados
 - Soluciones personalizadas
- Hispatec Analytics. *Big data* y analítica avanzada agro.
 - Organizar e integrar datos internos y externos, proveer de soluciones IoT.
 - Modelizar datos y proveer de tecnologías para desarrollar analítica predictiva.
 - Proveer de herramientas para realizar analítica descriptiva y diagnóstica.
 - Cooperar para desarrollar analítica prescriptiva.
 - Hispatec Track: monitorización de los envíos en tiempo real.
- **Proyectos**
 - **Trops:** es una organización de productores especializada en la producción y comercialización de aguacate y mango. Trops fue fundada en el año 1979 en Vélez-Málaga (Málaga), agrupando en la actualidad a más 3.000 agricultores asociados. Las soluciones de Hispatec les permiten la reducción de los tiempos de gestión de procesos, la planificación detallada de la producción y el control exacto de las unidades confeccionadas, todo ello con el análisis de costes e integrado con el módulo de ventas para la generación automática de los pedidos.
 - Analítica avanzada e inteligencia artificial en frutos rojas en la Cooperativa Costa de Huelva. Mediante la integración de diferentes fuentes de datos realizan las predicciones de cosecha, la calidad asociada, y prevén diferentes escenarios para la toma de decisiones.
 - Participación en diversos proyectos de investigación.
 - *Next Generation Training on Intelligent Greenhouses* (NEGHTRA), cuyo objetivo es proporcionar formación innovadora sobre tecnologías inteligentes aplicadas en invernadero y adaptadas a las especificaciones de diferentes cultivos y regiones, garantizando asimismo la sostenibilidad económica y medioambiental.
 - Proyecto para la mejora de los medios de vida y la seguridad alimentaria de las familias campesinas de Apurímac, Perú, a través de la modernización de sistemas de producción agroecológicos de quinua y palta gracias a la innovación tecnológica (*big data*).
 - Anti-Bo, tecnología de control antifúngica. Desarrollo de tecnología de control antifúngica y tecnología de control ambiental para eliminar la aparición de *Botrytis*

spp. Se trata de la construcción de una plataforma IT donde, aplicando técnicas de inteligencia artificial para el reconocimiento e interpretación de imágenes, se puede detectar automáticamente *Botrytis cinerea* en cultivos bajo invernadero.

- El Proyecto CropWatch4.0 tiene como objetivo desarrollar una solución integrada para la gestión avanzada de cultivos. Está basado en los desarrollos tecnológicos y actividades de I+D desarrolladas por las pymes Hidrosoph e Hispatec, que han trabajado en soluciones para el monitoreo y control agrícola, combinadas con el conocimiento que AGQ Labs tiene de metodologías y monitoreos de suelos agrícolas.
- **Sitio web:** <https://www.hispatec.com/>

5.3. RAWDATA

Soluciones agrícolas con inteligencia artificial para el sector agroalimentario.

- **Servicios**
 - Imágenes satelitales
 - Detección de anomalías en campo
 - Identificación de las etapas fenológicas
 - Reducción de costes en campo: Detección de diferencias intraparcelsarias para mejorar la sostenibilidad en los principales recursos: agua, fitos y fertilizantes
 - *Software*
 - Viticultura
 - Hortifruticultura
 - Oleicultura
 - Otros cultivos
 - *Software* agrícola integral: toda la información agronómica en un único lugar. Trazabilidad, los costes y personal. Añade la potencia de las imágenes satelitales, meteorología y predicción de cosechas.
- **Sitio web:** <https://agrawdata.com/>

5.4. EOS

En EOSDA quieren hacer realidad el cambio, fusionando la tecnología espacial con la determinación humana para lograr la sostenibilidad en la Tierra. Su objetivo es incorporar el GIS a la agricultura de precisión como herramienta para ahorrar tiempo y recursos, reducir costes y pérdidas, obtener beneficios y mantener el ritmo del cambio. Utilizando su *software* para la agricultura de precisión para estar siempre un paso por delante.

• Servicios

- *Crop Monitoring*: un *software* para monitorizar el campo a distancia, localizar los problemas en el momento y actuar con antelación.
 - Mapas de productividad.
 - Detección de cambios casi en tiempo real.
 - Planificación eficiente.
 - Análisis exhaustivo del estado del campo.
 - Acceso a todos los datos de la maquinaria agrícola en una sola pantalla gracias a un gestor de datos fácil de usar.
 - Identificación de las etapas fenológicas.
 - Reducción de costes en campo: detección de diferencias intraparcelarias para mejorar la sostenibilidad en los principales recursos: agua, fitos y fertilizantes.
- Aplicación móvil de *scouting*
 - Permite establecer, gestionar y supervisar las tareas de exploración más fácilmente con una aplicación móvil especializada.
 - Examinar los problemas, adjuntar fotos a los informes y compartir los resultados con todo el equipo: toda la información sobre las exploraciones en un solo lugar.
 - Aprovechar la precisión del GPS para explorar solo en las zonas indicadas.
 - Trabajar con las tareas de exploración en línea y sin conexión.
 - Estar al tanto de hasta el más pequeño cambio gracias a la sincronización automática con la versión web.
 - Añadir amenazas a los informes durante la exploración y recibir notificaciones sobre la presencia de amenazas de nivel alto directamente desde los campos.
- **Sitio web:** <http://eos.com/es/industries/agriculture/>

5.5. Plataforma Tierra

La Plataforma Tierra es una iniciativa para la digitalización y la sostenibilidad del sector agroalimentario del Grupo Cooperativo Cajamar.

Un punto de encuentro para el profesional y la empresa de la agroalimentación que fomenta un ecosistema de innovación abierto a toda la cadena de valor agro.

Sus especialidades son: agrotech, innovación, formación, herramientas digitales, análisis de mercados, publicaciones y transferencia.

- **Servicios:**

- **Mercados:** el equipo de analistas de Cajamar realiza un seguimiento permanente de lo que está ocurriendo en los principales mercados de productos agroalimentarios. Recogen los precios de los mercados españoles de referencia y de los mundiales, cuando tienen incidencia en las producciones nacionales. Analizan el comportamiento de los mercados exteriores. Observan la evolución de la producción y el comportamiento de la demanda.

La información estadística, que está en permanente actualización, la acompañan con informes cualitativos periódicos que elaboran contando con la información y las opiniones que aportan expertos y agentes de todas las fases de la cadena alimentaria.

- **Innovación:** identifican nuevas tecnologías aplicadas a la eficiencia y la sostenibilidad del sector agroalimentario, y presentan informes de síntesis de las últimas tendencias y aplicaciones del mercado.
- **Herramientas digitales para la gestión del cultivo:**
 - Riego y fertilización
 - Previsión meteorológica
 - Control integrado de plagas
 - Manejo de suelos
 - Cuaderno de campo
 - Huella de carbono

- **Proyectos:**

- En los Centros Experimentales de Cajamar abordan proyectos de investigación aplicada en el desarrollo de innovadoras tecnologías, en colaboración permanente con decenas de empresas, universidades y centros tecnológicos.

Disponen de más de 20 hectáreas destinadas a I+D+i en Valencia y Almería:

- La Estación Experimental Cajamar en Almería es un centro de referencia en agricultura protegida. Desde 1975 trabajan en la generación y la transferencia de tecnologías sostenibles.
 - El Centro de Experiencias Cajamar en Valencia se dedica desde 1994 a la investigación y experimentación en horticultura y fruticultura mediterránea.
- **Sitio web:** <https://www.plataformatierra.es/>

5.6. Agcode

Lanzado en 2003, AgCode potencia las operaciones agrícolas con la solución de *software* líder en cultivos especiales. La compañía proporciona a la industria agrícola servicios de misión crítica, entregando datos unificados e inteligencia comercial para maximizar la eficiencia y la productividad. La tecnología y los asesores de AgCode son esenciales para las organizaciones de todo el mundo, ya que sirven a todos los cultivos especiales de alto valor, incluidos viñedos, árboles frutales, nueces, bayas y cultivos de campo. Impulsado por las relaciones desde sus inicios, AgCode se ha construido con el conocimiento y el apoyo de sus clientes, incluidos Gallo, Constellation Brands, Treasury Wine Estates, Del Monte Foods, Opus One y muchos otros.

- **Servicios**
 - Planificación
 - Planificación de temporada
 - Estimaciones de cultivo
 - Seguimiento del tiempo
 - Operaciones
 - Gestión laboral
 - Órdenes de trabajo
 - Aplicaciones de plaguicidas
 - Exploración del campo
 - Manejo de riego y agua
 - Cosecha
 - Financiero
 - Gestión

- Cuadro de mandos inteligentes
- Aplicaciones web y móviles
- Precisión
 - AgCode Passive™: para realizar un seguimiento de los equipos y las actividades laborales con dispositivos GIS mientras ocurren
- Extensiones
 - Soluciones integradas
 - *Hardware* integrado
 - APIS
- **Sitio web:** <http://www.agcode.com>

5.7. DTN

Como empresa de datos, análisis y tecnología, DTN ofrece inteligencia operativa a organizaciones con cadenas de suministro complejas en todo el mundo.

DTN, es una fuente independiente de información y análisis, y soluciones de apoyo a la toma de decisiones para clientes de todo el mundo en agricultura, energía, materias primas y análisis financiero. Proporciona servicios productores y empresas de la agroindustria.

- **Servicios agricultura**
 - Ag Market Place: esta aplicación móvil gratuita e independiente para iOS facilita las ventas de granos. Desde el teléfono inteligente o dispositivo móvil, permite moverse rápidamente y aprovechar los rallies de mercado de corta duración y las oportunidades de *marketing* de temporada.
 - Agronomic Insign: es un *software* agronómico integral que contiene múltiples facetas de la tecnología agrícola de precisión en una única interfaz fácil de usar. La información detallada de los datos permite la toma de decisiones y brinda la información y las tendencias que se necesitan para actuar. Brinda herramientas para respaldar la exploración, la captura, el muestreo del suelo, la planificación de cultivos y más.
 - Estación meteorológica DNT Ag: es parte de la red meteorológica más grande y precisa de la industria con más de 26.000 puntos de observación meteorológica en total.
 - Herramientas meteorológicas: proporciona la información meteorológica precisa, confiable y localizada por GPS.

- Conocimientos agronómicos especializados.
- MyDTN: proporciona la información más reciente sobre los precios y estrategias del mercado, la información meteorológica más precisa y otras opciones.
- **Sitio web:** <https://www.dtn.com/>

5.8. Heimdall Technology

Esta empresa desarrolla plataformas RFID (identificación con etiquetas inteligentes), aplican rangos de frecuencia UHF y HF. Estas frecuencias se aplican para distintos entornos. Para entornos industriales aplican UHF y para mejorar la experiencia del consumidor final HF (NFC).

Aplican tecnologías NFC-etiquetas inteligentes que comunican y verifican información en tiempo real de productos además de agilizar la interacción en redes sociales, potenciando la imagen de marca.

Acercando a la etiqueta el móvil con el NFC activado, el usuario accede directamente a toda esta información y puede interactuar respondiendo encuestas y accediendo a contenido interactivo. Es una tecnología más fiable que en otros soportes como el QR.

Todo ello contribuye a la revolución del *marketing* personalizado.

- **Servicios:** ofrecen plataformas para diferentes sectores. Las plataformas RFID se componen de un *software* específico para gestionar los datos recogidos por los TAGS +ANTENAS +LECTORES, para posteriormente aplicarse en departamentos como *marketing*, logística, inventarios, calidad (trazabilidad). La plataforma para explotaciones agrícolas y ganaderas se llama CERES y ofrece la posibilidad de monitorizar todos los activos que la empresa necesite.
- Operarios y personal
- Maquinaria y vehículos
- Almacenes, herramientas, aperos
- Todo ello interconectado
- **Sitio web:** <https://heimdalltechnologies.com/>

5.9. oSIGRis

- **Servicios**
 - Usuario

- Cuaderno de campo
- Información meteorológica
- Alerta de plagas y enfermedades
- Plataforma web
- Gestión cooperativa
 - Administración de equipos
 - Canal de comunicación
 - Mapas y estadísticas resumen
- **Sitio web:** <https://osigris.com/>

5.10. ec2ce

Es una empresa tecnológica que aplica inteligencia artificial en agricultura inteligente, produciendo herramientas predictivas para el control de plagas/enfermedades y el pronóstico de productividad en sistemas de agricultura de decisión.

La tecnología predictiva ec2ce es capaz de anticipar la evolución de plagas y enfermedades, así como la productividad por acre, mediante el manejo de *big data* histórico a partir del monitoreo y muestreo del cultivo (datos agronómicos, climatológicos y biológicos).

- **Servicios**
 - Planificación de cosecha
 - Optimización del riego
 - Previsión de mercado
- **Sitio web:** <https://www.ec2ce.com/>

6. Equipos

6.1. Hemav. Drones, mapeo y análisis de datos

HEMAV nació el 2012 como una empresa tecnológica. Hoy en día Hemav, ya cuenta con dos sedes (Barcelona y Madrid), más de 16 centros operativos en España y presencia en México, Portugal, Italia, Colombia, Marruecos, Francia Argentina Reino Unido y Chile. HEMAV proporciona soluciones digitales profesionales gracias a su capacidad de procesamiento automatizado de datos en la nube y el uso de

tecnología dron de alta calidad y estándares de seguridad. La compañía está estructurada en cuatro líneas de negocio: agricultura de precisión, inspección de infraestructuras industriales, geomática y formación. La propuesta de valor reside en generar capas de información básica, avanzada o inteligencia predictiva de alto valor agregado. HEMAV, como punta de lanza en la industria de los RPAs ha adquirido el compromiso de capacitar a la sociedad y al tejido industrial de conocimientos y capacidades de la tecnología dron, incluyendo labores de docencia y difusión de la tecnología.

HEMAV ha construido un sistema basado en inteligencia artificial que utiliza datos agronómicos y datos captados con tecnología dron, para ofrecer al sector agrícola recomendaciones agronómicas para hacer más eficientes los tratamientos y generar estimaciones de producción de los cultivos en cuanto a producción y calidad.

● Servicios y productos agropecuarios

- Layers for Agriculture: es un sistema basado en inteligencia artificial que utiliza drones de precisión calibrados y datos agronómicos, creando capacidades de predicción a la vanguardia de la agrociencia.
- SAT TECH 2.0 en la plataforma de Layers. Un sistema de monitorización IA desarrollado para el agro con alertas automáticas. Incluye las siguientes funcionalidades:
 - LAYERS web Mapa y Dashboard
 - LAYERS Aforos APP
 - Panel Gerencial
 - Atención personalizada

● Proyectos

- **Elaia:** estimación de la producción para olivar super-intensivo:

ELAIA es un proyecto de SOVENA Y ATITLÁN para la obtención de aceites de oliva de máxima calidad. Con un claro enfoque mediterráneo, la empresa cuenta con más de 15.000 hectáreas de cultivo que abarcan olivares en diversas zonas como España y Marruecos, siendo Portugal el principal país de producción.

Gracias a los informes y recomendaciones realizados por HEMAV se obtuvieron los siguientes beneficios cuantificados:

- Los análisis de nitrógeno foliar tuvieron una correlación del 87 % comparados con 120 analíticas de campo en los 3 vuelos realizados.
- La estimación de producción final tuvo una precisión del 85 % en junio y 90 % en agosto. Entre 2 y 5 meses antes de cosecha.

- En la estimación del rendimiento graso (I+D+i) se obtuvo una precisión del 90 % en las parcelas controladas. Un dato que permitiría aumentar rendimientos por encima del 3 % por finca.
 - La anticipación en la obtención de los datos de producción estimada aportó una información muy valorada para la gestión de la compra y venta de su producción.
 - Se optimizaron los trabajos de recolección pudiendo recoger en primer lugar aquellas zonas con mayor índice graso, asegurando la calidad del producto
- Bodegas Proto: inteligencia artificial aplicada a la agricultura de precisión

Bodegas Protos es líder en la zona de Ribera del Duero y confía en Hemav para mejorar aún más su producto. A través de imágenes captadas por un sensor multiespectral montado en un dron y un *software* de inteligencia artificial, Hemav ofrece recomendaciones agronómicas para eficientar los tratamientos y generar estimaciones de producción de los cultivos a nivel producción y calidad. Hemav también es capaz de hacer una estimación de producción. Estas capas de alto valor agronómico permiten predecir la producción final de la finca hasta con tres meses de antelación, obteniendo una fiabilidad en los informes superior al 90 %.

- **Sitio web:** <https://hemav.com/>

6.2. ServiDrone

Empresa operadora de drones pionera en España como plataforma o *marketplace* del sector, con vocación de prestación de servicios en el ámbito nacional, creada en 2014, con sede central en Sevilla.

Ofrece un servicio de vigilancia de cultivos con drones profesionales, incorporando cámaras termográficas y multiespectrales para facilitar la gestión de plantaciones, repercutiendo en un incremento de la productividad de los cultivos. Optimiza la gestión de una plantación y evalúa con absoluta precisión la densidad óptima de siembra, el uso de fertilizantes como la frecuencia de riego y otras posibilidades.

- **Servicios:**
 - Detección de estrés hídrico en cultivos para manejo eficiente del agua
 - Detección de estrés nutricional en cultivos
 - Detección temprana de enfermedades y plagas en cultivos
 - Índices relativos de calidad en cultivos (por ejemplo, vid)
 - Generación de inventarios de áreas de cultivos

- Supervisión de áreas fumigadas.
- Obtención de ortofotos.
- Informes NDVI.
- **Sitio web:** <https://www.servidrone.com/>

6.3. Pulverizadores Fede

La empresa de Pulverizadores Fede dedicada única y exclusivamente al diseño y fabricación de atomizadores y nebulizadores, y a equipos para la protección de cultivos especiales, son especialistas en el sector a escala internacional. Han diseñado el Smartatomizer, que es un atomizador inteligente y conectado.

Este sistema permite una calibración en función de la masa vegetal, reducción de combustible de hasta 5 l/h, disminución de la deriva real en un 47,6 % y de la potencia en un 45,9 %. Obtención de la información en tiempo real, un sistema de visualización de aplicación correcta GPS y otro proactivo de alertas.

El sello Efficient Solution distingue al Smartomizer H30® como medio de producción sostenible. El Smartomizer H30® ha sido seleccionado como solución para el ODS 12 «Producción y Consumo Responsables», ya que facilita una producción ecoeficiente e innovadora de cultivos de alto valor (cítricos, frutas, viña, olivar, almendro).

- **Servicios:**
 - *Specialty Crops Platform:* herramienta para controlar con total precisión los tratamientos realizados. Permite agilizar el trabajo y aporta información para ayudar a la a toma de decisiones en la explotación. Esta plataforma ofrece las siguientes soluciones:
 - *Calibración profesional:* acceso gratuito a G-Spraytech para calibrar las boquillas del atomizador.
 - *Conexión directa:* envía órdenes de trabajo al atomizador para conseguir la máxima eficiencia en los tratamientos.
 - *Control del trabajo:* control del trabajo de todos los atomizadores de un campo
 - *Visualización detallada:* visualización detallada de los tratamientos realizados sobre mapa
 - *Información:* sobre la trazabilidad real en las parcelas.

- **Proyectos:**

- Pulverizadores Fede lidera el proyecto LIFE – F3 (LIFE Farm, Fresh Fruit ENV/ES/000349), el cual ha recibido el apoyo de la Unión Europea dentro del programa LIFE + Climate Action, que tiene el objetivo de impulsar proyectos que contribuyen a reducir sustancialmente la emisión de gases de efecto invernadero de forma contrastada.

- **Sitio web:** <https://www.fedepulverizadores.com/>

6.4. Carbon Robotics

Carbon Robotics es pionera en la próxima revolución en la agricultura a través del despliegue de tecnología y *hardware* innovadores. El primer producto de Carbon Robotics, el Autonomous LaserWeeder, está especialmente diseñado para abordar uno de los mayores problemas de la industria: el control de malas hierbas. Al aprovechar la inteligencia artificial y la tecnología láser, el enfoque revolucionario y de alta precisión de Carbon Robotics mejora el rendimiento de los cultivos, proporciona condiciones de trabajo más seguras para los agricultores, reduce los costes generales asociados con la agricultura moderna y crea caminos sostenibles para los productos orgánicos y regenerativos. Carbon Robotics se fundó en 2018 y tiene su sede en Seattle.

- **Sitio web:** <https://carbonrobotics.com/>

6.5. Teejet technologies

TeeJet Technologies es el líder de la industria en el diseño y fabricación de productos de precisión para aplicaciones agrícolas. Su línea de productos incluye boquillas de pulverización agrícolas, componentes de la barra, válvulas, filtros, pistolas de pulverización, controles automáticos de dosis, sistemas de guía GNSS, controles ISOBUS, monitores de pérdida de grano, sistemas de inyección de productos químicos y más.

- **Servicios:**

- Guiado visual y autoguiado de aplicaciones fitosanitarias mediante GPS.
- Equipos integrales: el ordenador de control Teejet permite la funcionalidad que se necesita. El ordenador Aeros 9040, permitirá aprovechar al máximo la inversión en agricultura de precisión empleándolo como terminal virtual compatible ISOBUS.
- Control y monitorización de aplicaciones fitosanitarias.
- *App* para la selección de boquillas.

- **Sitio web:** <https://www.teejet.com/>

6.6. Amazonen-Werke H. Dreyer Se & Co. Kg

AMAZONEN-WERKE son especialistas en abonadoras, sembradoras, labranza activa (cultivadores y rastras rotativos) y pasiva (cultivadores de discos y rastras), sembradoras de precisión y fumigadoras fitosanitarias. Además, AMAZONE lleva años ofreciendo dispositivos de alto rendimiento para el mantenimiento de parques y espacios verdes. AMAZONE ofrece un servicio de fertilización, donde el cliente también puede recibir asesoramiento por teléfono para todos los tipos de fertilizantes, incluso los desconocidos.

AMAZONE ofrece un amplio servicio de información en internet, por ejemplo, listas de repuestos, mesas de ajuste, etc. Con 32 medallas en las últimas diez exposiciones de Agritechnica, AMAZONE es la empresa más innovadora del sector.

- **Servicios:**
 - Esparcidor de fertilizante
 - Equipo fitosanitario
 - Implementos de labranza
 - Rodillos
 - Sembradoras mecánicas
 - Sembradoras neumáticas
 - Sembradoras de precisión
 - Tecnología municipal
 - Esparcidor de servicio de invierno
- **Proyectos:**
 - SwingStop pro es una innovación desarrollada en cooperación con Rometron, que garantiza un guiado de la barra aún más preciso en los pulverizadores fitosanitarios modernos. SwingStop pro incluye el amortiguador de vibraciones activo SwingStop combinado con un nuevo sistema de boquillas que funciona según el principio de modulación de frecuencia de ancho de pulso (PWFm). Con la ayuda de *software* y sensores de aceleración, SwingStop pro calcula la velocidad relativa de cada boquilla individual en tiempo real, la establece en relación con la velocidad de conducción del pulverizador y controla de forma variable la tasa de aplicación correspondiente en milisegundos. De esta manera, se pueden compensar todas las perturbaciones causadas por los movimientos horizontales del brazo de pulverización.

- En la feria internacional de tecnología agrícola Agrosalon 2016 en Moscú, Amazone recibió tres medallas de innovación. El control de boquilla individual controlado por sensor de Amaspot recibió una medalla de oro porque este sistema permite la aplicación precisa de herbicidas en áreas objetivo, hasta plantas individuales, por primera vez. De esta manera se puede prescindir de aplicaciones completas de herbicidas.
- **Sitio web:** <http://www.amazone.es/>

6.7. John Deere

Es un líder mundial en el suministro de productos, tecnología y servicios avanzados para clientes cuyo trabajo está revolucionando la agricultura y la construcción. Esta empresa adquirió The Blue River Technologie una compañía que desarrolla soluciones basadas en inteligencia artificial aplicadas al cultivo. Con la incorporación de esta tecnología, John Deere busca convertirse en el referente de la revolución tecnológica en el sector de la maquinaria agrícola. Del mismo modo que la automoción y el transporte se está adaptando a las nuevas tecnologías, la empresa está haciendo lo propio con sus vehículos.

- **Servicios de agricultura de precisión**
 - Operations Center:
 - Planificación de tareas: laboreo, siembra, pulverización, fertilización y cosecha.
 - Líneas de guiado automático mediante GPS.
 - Cuaderno de campo digital.
 - Importación ISOXML: se puede realizar la importación directamente de datos de documentación de terminales Claas, Case IH, New Holland, Fendt Vario, CCI o Kverneland y su consulta en un solo lugar.
 - Transferencia de datos de múltiples marcas: gracias a la solución estándar común DataConnect, se puede ver en tiempo real los datos para máquinas Claas en el Operations Center John Deere.
 - Gestión de máquinas en tiempo real.
 - Toma de decisiones inteligentes: la información de las máquinas y aperos se recogen en tiempo real para poder ver rápidamente lo que está sucediendo y tomar las medidas adecuadas en la explotación.
- **Sitio web:** <https://www.deere.es/es/>

6.8. Nutricontrol

Empresa española que ofrece equipos de control de clima y automatización del riego en invernaderos o instalaciones al aire libre, con más de 40 años de experiencia en investigación y desarrollo tecnológico en el sector. Su trabajo se basa en el análisis y desarrollo del *software* y *hardware* específicos para el control del riego, de la fertirrigación y de las variables climáticas.

- **Servicios:**
 - Riego:
 - Controladores del riego
 - Control integrado (OPTIMUN): solución completa para la explotación: un sistema que vincula y controla la gestión del clima, el fertirriego, la energía y los datos de la instalación agrícola.
 - Monitoreo mediante instalaciones inteligentes
 - Comunicación APP-PC/comunicación a pc (*hardware/software*), comunicación inalámbrica vía radio.
 - Fertirrigación:
 - Equipos automáticos y equipos manuales.
 - Clima:
 - Controladores de clima para invernaderos.
 - Solución completa (OPTIMUN): Un sistema que vincula y controla la gestión del clima, el fertirriego, la energía y los datos de la instalación agrícola.
 - Comunicación APP-PC/comunicación a PC (*hardware/software*), comunicación inalámbrica vía radio.
- **Sitio web:** <https://nutricontrol.com/>

7. Cadena de suministro: empresas desarrolladoras de *blockchain*

Empresa	Tipo de red sobre la que opera	Modularidad, arquitectura	web
Tracefood	Red provisionada propia	BD centralizada. Varias opciones de conexión. Tienen una herramienta propia de interconexión	https://aqiveo.com/listing/trace-food/
Accuro	Hyperledger Fabric (privada, permissionada)	Diseño propio específico (nodos)	https://www.accuro.es/
IBM Food Trust	Red privada permissionada	Modelo propio	https://www.ibm.com/es-es/blockchain/solutions/food-trust
TRAZABLE	Permite decidir la red en la que desarrollar el <i>blockchain</i>	Arquitectura de microservicios que conectan con el <i>blockchain</i>	https://trazable.io/
Vottun	Se desarrolla sobre Hyperledger Fabric (privada) o Ethereum (pública)	Adapta solución al cliente. A partir de ahí desarrolla conexión	https://vottun.com/es/inicio/
EY	Desarrolla sobre Hyperledger Fabric (privada) o Ethereum (pública)	Se basa en Casos de uso y <i>smart contracts</i> que se pueden replicar	https://www.ey.com/es_es
Deloitte	Herramienta de conexión con cualquier red	Tienen un sistema propio de conexión con la red	https://www2.deloitte.com/es/es.html

8. Iniciativas públicas

En este apartado se recogen diversas iniciativas públicas de digitalización.

SiAr (Sistema de Información Agroclimática para el Regadío)

Esta herramienta del MAPA (Subdirección General de Regadíos e Infraestructuras Rurales) captura, registra y divulga los datos agroclimáticos necesarios para el cálculo de la demanda hídrica de las zonas de riego, permitiendo obtener información útil, rigurosa y de calidad, que contribuye a una mejor planificación, gestión, manejo y control de las explotaciones de regadío para fomentar el ahorro de agua y de energía, y atender las demandas tecnológicas por parte de los profesionales del sector.

Consta de más de 500 estaciones meteorológicas, que representan una cobertura aproximada del 90 % de la superficie regable de España y proveen de la información necesaria para la determinación de la evapotranspiración de referencia y el posterior cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos en regadío.

Fruktia (Herramienta predictiva de cosecha para fruta de hueso y cítricos)

Herramienta desarrollada por el MAPA para la predicción de cosecha de frutales, en concreto fruta de hueso y cítricos. Los modelos desarrollados se basan en la información disponible de AEMET, estaciones agroclimáticas SiAR, información de la solicitud única de la PAC, datos de seguro agrario,

información estadística, etc. Tras el análisis de la información disponible y sus interrelaciones, se desarrollan dos modelos predictivos:

- *Modelo provincial*: permite, en base a la información meteorológica agregada en la provincia, lograr una predicción de cosecha para los cultivos indicados. Mejora la información actual disponible en tiempo y en aproximación a la realidad.
- *Modelo de recintos*: se basa en el efecto de las condiciones meteorológicas de la parcela en la producción (en desarrollo). El conocimiento que genera Frukta sobre las producciones permitirá un mejor conocimiento del sector y contribuirá a una mejor toma de decisiones a los agricultores, a las organizaciones de productores y a la propia Administración.

Caja de herramientas sobre buenas prácticas en digitalización

La subdirección general de innovación y digitalización del MAPA ha desarrollado una gran base de datos que permite la consulta sobre soluciones y servicios digitales para todo el sector, que tiene el formato de un buscador en función de cuatro variables clasificatorias.

En ella podemos encontrar, por sector y subsector agroalimentarios, información sobre empresas, centros de servicios de diferente naturaleza y tecnologías digitales. Se ha incorporado un sistema de filtros que facilita el acceso a la información que se desee buscar.

Grupos operativos

En este apartado podemos destacar diversos grupos operativos que contribuyen a la digitalización del sector:

- *Sensorización y big data eficiente y viable para explotaciones*: el objetivo es que pequeñas y medianas explotaciones vitícolas implanten de una forma viable y eficiente, nuevos sistemas de captación, tratamiento y procesamiento de datos mediante tecnologías de *big data* que, estando ya disponibles en el mercado, les permitan mejorar la producción agraria en diferentes aspectos.
- *Agrodon*: digitalización, teledetección, sensorización, análisis multivariable, estudio pormenorizado, modelación matemática, procesado computacional e interpretación agronómica de los resultados en cultivos herbáceos (cespitosos y forrajeros) de fincas de ensayos y productivas, en diferentes zonas agrícolas de España (Levante, Meseta, Cordillera).
- *Grupo Operativo IOT Rur- Aplicación de las tecnologías de IOT y big data a la digitalización del sector hortofrutícola español*: el objetivo es el desarrollo de estrategias para la digitalización del sector hortofrutícola, identificando las barreras para la implantación tecnológica y desarrollando soluciones a medida que aporten herramientas al sector productor-comercializador para mejorar la competitividad y su posicionamiento en los mercados nacionales e internacionales.

- *Digitalización de circuitos cortos de comercialización agrolimentarios en frutas y hortalizas:* el objetivo es identificar los actores de mínima intermediación necesarios e imprescindibles para diseñar un canal corto de distribución de frutas y hortalizas; que use el modelo de Agroboca y permita a todos los productores acceder directamente a los distintos escalones de la cadena de comercialización con mayor calidad y valor añadido usando herramientas digitales.
- *Grupo Operativo Tics4Fruits-Tics para optimizar la cadena post-recolección y distribución de frutas:* el objetivo es la gestión 4.0 de toda la cadena de valor de la fruta, desde la recolección al punto de venta, mediante la digitalización y aplicación de TIC con el fin de mantener la calidad inicial y reducir las pérdidas
- *GO Inverconec-Invernadero conectado:* desde el cultivo hasta el consumidor final: este Grupo Operativo plantea la construcción de una plataforma tecnológica para la digitalización y control completo de la producción bajo invernadero y su correspondiente gestión postcosecha para asegurar la productividad, un óptimo rendimiento y la trazabilidad para garantizar la salubridad y seguridad alimentaria, así como la optimización en el consumo de recursos para sostenibilidad.

9. Otros

9.1. Agua

Empresa	Soluciones	Web
Balamis	Se centra en el desarrollo de sistemas que permitan un mapeo de la humedad del suelo utilizando un sensor móvil en lugar de una red de sondas fijas	https://www.balamis.com/
ModpoW Agritechnologies	Asesoramiento en riego y nutrición de los cultivos, principalmente basados en monitoreo	https://www.modpowagritech.com/
Smalle Technologies	Internet de las cosas para el sector del agua	https://smalletec.com/es/
Smart Biosystem	Sistema de riego 100 % libre de mantenimiento que funciona gracias a sensores inteligentes	https://smartbiosystem.com/

9.2. Drones

Empresa	Soluciones	Web
Catuav	Proporciona tecnología de vehículos aéreos no tripulados para cualquier aplicación civil	https://www.catuav.com/
Drone Hopper	Diseña, fabrica y comercializa drones de alta capacidad de carga fundamentalmente para la lucha contra el fuego, agricultura y soluciones logísticas	https://www.drone-hopper.es/
EbreDrone	Captura datos precisos y los convierte en informes de alto nivel para ayudar a sus clientes a tomar mejores decisiones	https://smalletec.com/es/
Kowat	Creación de vehículos no tripulados dirigidos por piloto automático y/o visión artificial que copian e imitan procesos de la naturaleza	http://www.kowat.es/

Empresa	Soluciones	Web
Smart flight	Servicios aéreos con drones en agricultura y ganadería.	https://www.catuav.com/
Tvant	Equipos SenseFly, drones autónomos	https://tvant.es/
UTW Agro	Integración de diversas tecnologías (drones, imágenes satelitales, sensores de humedad, sistemas RFID y <i>machine learning</i>)	https://utw-agro.es/

9.3. Internet de las cosas, inteligencia artificial y big data

Empresa	Soluciones	Web
Aonchip	<i>Hardware</i> y <i>software</i> que se combinan para crear aplicaciones IOT (internet de las cosas)	https://www.aonchip.com/
Artificial Intelligence Talentum	Diseño y desarrollo de algoritmos de inteligencia artificial para modelos de predicción	https://www.aitalentum.com/
Collyra	Soluciones B2B de monitorización en tiempo real orientada al campo de la agricultura	https://collyratech.com/
eFoodPrint	Ha desarrollado herramientas como EFOODPRINT ENV, que proporciona indicadores de sostenibilidad ambiental, cómo Huella Hídrica y Huella de Carbono, además de otros indicadores de eficiencia; o AGRIPPLACE que permite ordenar fácilmente la información y agilizar el cumplimiento de las siguientes normativas de calidad (GLOBALGAP, GRASP, TESCO NURTURE, BRC, EU BIO). Crean modelos de predicción de cosechas gracias a la tecnología <i>big data</i> y proporcionan informes analíticos	https://efoodprint.com/
Nuvathings	Internet de las cosas	https://www.nuvathings.com/
Prismab	Sensores conectados a internet	https://prismab.com/
Ruralista	<i>Big data</i>	https://www.ruralista.es/ruralista/

9.4. Otros

Empresa	Soluciones	Web
Agromarketing	Marketing digital para empresas del sector agrícola	https://agromarketing.online/
AgroPestAlert	Desarrolla y comercializa productos y servicios digitales para la detección temprana y automatizada de plagas en la agricultura	https://agropestalert.com/
Agrosan	Dedicada al conocimiento y la tecnología para crear las máquinas más eficientes y un servicio post-venta permanente y profesional	https://www.agrosan.es/
Agroterra	Marketplace de productos agroganaderos	https://www.agroterra.com/
Argo Tractors	Diseña, produce y comercializa tractores, servicios y piezas en todo el mundo	https://www.argotracors.com/es/
ECOagricultor	Acerca la agricultura y los alimentos ecológicos al público general	https://www.ecoagricultor.com/
Green Killer Weeds	Startup tecnológico que ha creado una máquina capaz de detectar e identificar las malas hierbas y plagas, así como eliminar de forma selectiva sin hacer uso de herbicidas ni pesticidas	https://greenkillerweeds.com/
H2Hydroponics	Comercializa sistemas de control, sistemas de cultivo y proyectos de ingeniería agrícola en 25 países. Especializados en Hidroponía y Vertical Farming	https://h2hydroponics.com/
Id David	Líder en el sector de mecanización de viñedos y frutales	https://id-david.com/
Orballo	Cultivo, transformación y comercialización de productos ecológicos especializada en plantas aromáticas, medicinales y té	https://orballo.eu/
Seipasa	Formulación y desarrollo de tratamientos de origen botánico y microbiológico para la protección, la bioestimulación y la nutrición de los cultivos	https://www.seipasa.com/es/
Sustainable Innovations	Consultora que brinda servicios innovadores a una amplia gama de sectores en toda Europa: industria bio, energías renovables, o materiales avanzados, entre otros	https://sustainableinnovations.eu/es/
Idai Nature	Empresa biotecnológica especializada en el desarrollo y fabricación de productos a base de microorganismos y novedosos extractos botánicos con carácter biofitosanitario	https://www.idainature.com/

9.5. Software como servicio

Empresa	Soluciones	Web
Agroguía	Sistema de guiado agrícola RTK, especialmente diseñado para labores de abonado y aplicación de herbicidas	http://agroguia.es/
Agrosmart	Software de gestión agrícola y cuaderno de campo inteligente	https://www.agrosmart.cl/
Auravant	Plataforma digital con versiones web y móvil, que permite realizar seguimiento y monitoreo de cultivos a través de imágenes satelitales o de drones, análisis e integración de las distintas capas del suelo para generar zonificaciones, prescripciones variables de insumos para aplicar la dosis óptima de semillas, fertilizantes y herbicidas.	https://www.auravant.com/

Empresa	Soluciones	Web
Graniot	Procesamiento de datos satelitales de Unión Europea, la agregación de datos públicos a escala nacional/internacional y la agregación de los datos de sensores	https://graniot.com/
Hermisan	Actúa como un socio tecnológico para el desarrollo de proyectos avanzados de riego agrícola por goteo, automatización y fertirrigación	https://hermisan.com/
Monet Viticultura	Plataforma web para controlar el estado del viñedo desde cualquier dispositivo conectado a internet y te apoyo a la toma de decisiones	https://monet-ti.com/
Orion Agriculture	Se centra en el estudio del suelo para la fertilización eficiente	https://orionagriculture.com/
Ornavera	Ofrece una herramienta para que todos los productores puedan beneficiarse de la inteligencia artificial y las tecnologías de agricultura de precisión para la toma de decisiones rápidas e informadas	https://ornavera.com/
Thebluedots	Plataforma integral de análisis de los campos de cultivos mediante tecnología satelital	https://thebluedots.io/
Voltstone	Proporciona un software de inteligencia artificial que ayuda a reducir el desperdicio en fábricas de alimentación	https://www.voltstone.io/

9.6. Cuaderno de campo

Empresa	Soluciones	Web
A3 Paintec	Plataforma integral de gestión agraria	https://www.paintec.tech/
Agresebe	Su tecnología facilita la optimización de la producción en base al análisis de datos, la gestión de los recursos y la consultoría, utilizando una plataforma <i>cloud-based</i>	https://www.alhambraventure.com/agresebe/
Agricolum	Es una aplicación en la nube que permite llevar el control de una o varias explotaciones agrícolas mediante GPS para el ahorro energético y la mejora de la productividad en el campo	https://agricolum.com/
Agroplanning	Es una solución web que mejora la productividad de la explotación agrícola, monitorizando el trabajo y localización de la maquinaria, el vigor del cultivo o la humedad del suelo de tu parcela, en tiempo real y desde cualquier dispositivo	https://www.agroplanning.com/es
Agroptima	Una plataforma web y una <i>app</i> móvil utilizan más de 2.500 agricultores y empresas donde anotan sus labores diarias desde el campo	https://www.agroptima.com/es/
Agroslab	Ecosistema digital agrario, diseñado para facilitar la integración colaborativa de los actores del sector: explotaciones agrarias, cooperativas, empresas de suministros y servicios, asesorías e ingenierías, OPAs y Comunidades de Regantes	https://www.agroslab.com/
AKIS International	Transfieren los nuevos conocimientos adquiridos en la investigación a la empresa agroalimentaria	http://www.akisinternational.com/
SensaCultivo	Uso de sensores y una aplicación para envío de recomendaciones que permiten al agricultor ahorrar agua y fertilizantes	https://sensacultivo.es/

9.7. Social

Empresa	Soluciones	Web
Acopinb - Impulso Ecofarm	Creación de un proceso productivo enmarcado en el sector de la agricultura social. Trabaja en la inclusión sociolaboral de personas con discapacidad	https://impulsoecofarm.es/
Apadrinaunolivo	Es una plataforma donde los usuarios pueden elegir que olivo recuperar y bautizarlo	https://apadrina-un-olivo.com/esp
Bioterreta	Es una iniciativa de gestión común, empresa con vocación social y medioambiental que aúna tradición y tecnología para dar solución al grave problema de abandono de tierras	https://bioterreta.com/

9.8. Urbana

Empresa	Soluciones	Web
Aquapioneers	Soluciones de agricultura urbana sostenible utilizando las últimas tecnologías de cultivo de interior sin tierra, fomentando la autosuficiencia alimentaria en las ciudades	http://aquapioneers.io/es/
Ecohortum	Diseño, producción y distribución de huertos urbanos, tradicionalmente mesas de cultivo de grandes dimensiones	https://ecohortum.com/
Optimus Garden	Ha desarrollado un jardín vertical inteligente (conectado a una <i>app</i>) que utiliza la hidroponía	https://optimusgarden.com/

9.9. Agroalimentación

Empresa	Soluciones	Web
Aestivum	Consultoría de mercados de cereales y oleaginosas que ayuda a las empresas de la industria agroalimentaria	https://aestivum.com/
AGrowing Data	Consultoría especializada en analítica avanzada y <i>big data</i> en la industria agroalimentaria	https://agrowingdata.com/es/
AlcuzApp	Servicio que facilita y agiliza la comunicación de almazaras cooperativas e industriales y aceituna de mesa con sus socios y proveedores	https://alcuzapp.com/
Beetle Genius	Trabaja en una fábrica modular, sostenible y automatizada 4.0 para garantizar las necesidades del mercado de la fabricación de piensos	https://andalucia.openfuture.org/startups/beetle-genius-3-0/
Belerofontech	Unen predicción financiera con la arquitectura de datos y el análisis de grandes volúmenes de información para ofrecer a la empresa habilidades para crecer y ser más rentable	http://www.belerofontech.com/
Circular Crop	Recicla residuos agroalimentarios utilizando larvas de mosca soldado-negra como bioconvertidores	https://circularcrop.com/es/
Comprar al productor	100 % <i>online</i> , del productor a tu mesa, en un solo envío	https://compraralproductor.com/
Cultipliy	Empresa de base biotecnológica enfocada en el desarrollo de bioprocesos, con alta especialización en los procesos fermentativos implicados en la producción de alimentos y bebidas, también bioestimulantes para cultivo, probióticos y otros productos obtenidos a partir de microorganismos	https://www.cultipliy.es/

Empresa	Soluciones	Web
FoodXain	Tecnología <i>blockchain</i> para poder mostrar y garantizar las certificaciones de producto, su trazabilidad, así como cualquier documento que muestre su calidad y características en el sector agroalimentario	https://foodxain.com/
Gastrocampo	Es un SaaS-enabled B2B marketplace donde los chefs pueden comprar directamente de pequeños y medianos productores	https://www.gastrocampo.com/
Monkey Markets	Facilitador compuesto por un SAAS para profesionales de la exportación del sector de alimentos y bebidas, que digitaliza e integra todos los procesos necesarios para vender en China	https://www.monkeymarkets.eu/

Empresa	Soluciones	Web
Naturcode etiquetado inteligente	Es una plataforma SaaS de información tecnóética, imparcial y transparente entre los consumidores y la cadena agroalimentaria	https://naturcode.eu/
Nutrasign	Soluciones tecnológicas basadas en <i>blockchain</i>	https://www.nutrasign.io/
Sinapssia	Es una empresa especializada en mejorar la productividad de las empresas del sector agroalimentario con una tecnología de análisis de datos basada en inteligencia artificial. Ha desarrollado un producto para el sector de los berries	https://andalucia.openfuture.org/startups/sinapssia/

9.10. Desintermediación

Empresa	Soluciones	Web
Abastores	Lonja <i>online</i> de materias primas para empresas del sector agro donde el comercio justo, la transparencia y la agilidad fluyen en todas direcciones	https://www.abastores.com/
AGRARI	<i>Marketplace</i> que reúne a todas las personas productoras de alimentos de la ciudad de Valencia; una aplicación que permite comprar alimentos directos de la huerta	https://agrari.es/

Empresa	Soluciones	Web
Agrocomparador.com	Herramienta agrícola <i>online</i> que pone en contacto a agricultores, empresas y cooperativas para facilitar la compra o venta de sus productos de manera directa, sin intermediarios	https://agrocomparador.es/
Consentio	Es una plataforma B2B enfocada en el sector hortofrutícola	https://es.consentio.co/
Ecolocal Market	Es una empresa que apuesta por traer productos de la granja a la mesa. Opera el servicio de entrega y recogida de comestibles a través de un sitio web y una aplicación móvil	https://www.ecolocal.market/
Fruitbull	Es un proveedor mundial de datos en tiempo real para el sector hortofrutícola	https://www.fruitbull.com/
Grupo a Grupo	A través de su herramienta, crean redes para hacer que más gente pueda unirse a Grupos de Consumo existentes o puedan crear nuevos Grupos de Consumo con compañeras/os, vecinas/os o amigas/os. Del mismo modo, dan la posibilidad a productoras y productores ecológicas/os de promocionar sus productos y comunicar tanto con grupos de consumo como con otros productores para intercambiar información	https://www.grupoagrupo.net/
HarBest Market	Es la primera plataforma que permite a los restaurantes comprar directamente a pequeños agricultores	https://harbestmarket.com/
La despensa del campo	Es un <i>marketplace</i> de origen que pone en contacto directo al productor con el consumidor	http://shop.ladespensadelcampo.es/
Proyecto Kulto	Es una plataforma tecnológica que ayuda a los agricultores locales a vender sus productos ecológicos de forma directa y a un precio justo	https://proyectokulto.com/es/

9.11. Ganadería

Empresa	Soluciones	Web
AutoFarm	Es una plataforma centrada en el desarrollo rural. Adapta los componentes del <i>software</i> y <i>hardware</i> a las características particulares de cada explotación	https://autofarm.network/
EuroVacas	Es una empresa de importación y exportación 4.0 de ganado bovino especializada en novillas Holstein de calidad	https://www.eurovacas.com/

Empresa	Soluciones	Web
Insylo	Tiene como misión la digitalización de la cadena de suministro de piensos a las explotaciones ganaderas	https://www.firmware.org/
iTechTerm	Ha diseñado un sistema informático capaz de medir, en tiempo real, la temperatura de cada animal, detectar de forma precoz las principales enfermedades del ganado vacuno, así como celos, partos o cuando es el momento idóneo para retirar un antibiótico	https://innogando.com/
Ixoriguè	La solución de gestión ganadera Inteligente se apoya en un collar que recopila información sobre localización y actividad del ganado y la envía a la nube, donde es procesada y, a través de algoritmos avanzada, se identifican situaciones tales como celo, parto, enfermedad, extravió o muerte y se alerta al ganadero a través de una plataforma <i>software</i>	https://ixorigue.com/
MC Systems	Diseña y fabrica soluciones integrales para la gestión de existencias mediante sensores completamente inalámbricos y tecnologías de la comunicación punteras	https://mcsystems.es/es/
Saluvel-innova	Transferencia de conocimiento generado en los proyectos de investigación desarrollados por el grupo Saluvel	https://saluvelinnova.com/
SmartWood	Es una plataforma que ayuda en el asesoramiento del ámbito rural. Centrándose en la gestión de parcelas rurales y explotaciones agrícolas, ganaderas y forestales	https://smartwood.app/

9.12. Medioambiente

Empresa	Soluciones	Web
Byproductplace	Es una plataforma digital tipo <i>marketplace</i> de intercambio comercial de residuos y subproducto	https://byproductplace.com/
CitySens	Nace para acercar la naturaleza al día a día de las personas que viven en la ciudad a través de productos de diseño vertical con riego automático	https://www.citysens.com/es/
Ixoriguè	La solución de gestión ganadera Inteligente se apoya en un collar que recopila información sobre localización y actividad del ganado y la envía a la nube, donde es procesada y, a través de algoritmia avanzada, se identifican situaciones tales como celo, parto, enfermedad, extravió o muerte y se alerta al ganadero a través de una plataforma <i>software</i>	https://ixorigue.com/
CO2 REVOLUTION	Pretende prestar sus servicios a aquellos organismos que deseen llevar a cabo actividades de plantación y reforestación masiva. Han desarrollado una semilla inteligente (lseed), que, lanzada desde drones, permite reforestar grandes extensiones de terreno en horas y con un bajo coste	https://co2revolution.es/
VEnvirotech	<i>Startup</i> biotecnológico dedicada a la transformación de residuos orgánicos a bioplásticos Polyhydroxalcanoato (PHA), que se caracterizan por ser producidos por bacterias, rápidamente biodegradables en el medioambiente y compatibles con el cuerpo humano	https://www.venvirotech.com/



El escenario europeo y global de la digitalización agroalimentaria

1. El papel de las instituciones internacionales

1.1. Iniciativas para la transformación digital

Dentro del ecosistema de iniciativas impulsadas por las instituciones internacionales en la puesta en marcha de la transformación digital la mayoría tienen como misión principal la recopilación de información y ofrecen la posibilidad de obtener mapas o gráficos a partir de los mismos.

A continuación, se ha recopilado algunas de las más influyentes y sus iniciativas más relacionadas con la transformación digital del sector agroalimentario:



El Banco Mundial financia diversas iniciativas relacionadas con la agricultura digital, principalmente en países en vías de desarrollo. Sin embargo, podemos destacar entre todas las iniciativas la labor de recopilación de datos en torno a la agricultura y el desarrollo (accesible de forma gratuita a través de tu web «Data for Better Lives»). Los datos facilitados no miden exactamente la digitalización, pero están relacionados con el uso de tecnologías que pueden aportar una primera aproximación al nivel de digitalización (por ejemplo, acceso a la electricidad en zonas rurales, tipo de cultivo, tipo de sistema de riego, etc.).



La OCDE ofrece la plataforma sobre digitalización donde se recopilan informes, estudios, bases de datos y herramientas dirigidas a realizar un seguimiento de las políticas de cada país. Tiene un apartado exclusivo para todo el trabajo relacionado con la digitalización y el aumento de la productividad a lo largo del tiempo en distintos territorios (*Digitalisation and productivity* - OECD).



La misión principal del CGIAR se centra en generar sinergias entre instituciones con experiencia y fortalecer la red de profesionales sobre *big data* en agricultura a través de su red de 15 centros de investigación. Asimismo, reúne información mundial en una plataforma específica en torno al desarrollo agrícola basado en datos «Platform for Big Data in Agriculture».



International Digital Council for Food and Agriculture | E-Agriculture (fao.org) es la organización internacional que juega el rol principal en el impulso de la digitalización del sector agroalimentario mundial. Por un lado, promueve foros de debate y comisiones de trabajo que reúnen actores con distintos perfiles para compartir lecciones aprendidas en torno a la digitalización del sector agroalimentario. Por otro lado, publican con frecuencia informes de referencia sobre el avance de la digitalización. También colaboran con otras entidades en el impulso de acciones concretas, entre las que destacan:

- El FAO Data Lab, usa inteligencia artificial para aportar nuevas fuentes de datos que ayuden, por ejemplo, a medir el desperdicio de alimentos o la degradación de la tierra.
- La Plataforma geoespacial «Mano de la mano» es una recopilación de estadísticas procedentes de FAO y sus asociados en materia de seguridad alimentaria, cultivos, suelo, agua, clima, pesca, ganado o silvicultura. La plataforma aporta información esencial para monitorizar la evolución de los sistemas agrarios y analizar las tendencias relacionadas con el clima.

2. El papel de los países y regiones

Uno de los hitos más destacados como resultado del acuerdo global de la mayoría de los países son los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) consensuados en 2015 en el marco del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).



Los 17 ODS adoptan un enfoque universal, están relacionados entre sí y el desarrollo de unos impacta sobre el resto. En conjunto, marcan las guías generales a seguir a partir de las cuales los distintos países establecen sus agendas y estrategias de desarrollo.

En esta línea, la tecnológica vinculada a la digitalización se encuentra de forma transversal en la mayoría de ellos, siendo clave su papel para alcanzarlos. Por ejemplo, el «Objetivo 12: Garantizar

modalidades de consumo y de producción sostenibles», pasa por la evolución de los medios digitales para optimizar y ofrecer la mejor gestión de los recursos. A partir de este esquema global cada país o región aterriza y ajusta sus políticas y presupuestos en torno a la transformación digital.

2.1. Estrategias para la transformación digital

Como se ha descrito, los datos son la fuente del conocimiento y por tanto del poder para tomar decisiones para alcanzar los objetivos deseados. Por ello es importante que cada país según sus características defina su estrategia de digitalización del sector agroalimentario.

A continuación, se resumen los planes de transformación digital vinculados al sector agroalimentario de los países más innovadores y que mayor presupuesto destinan. Y, se describe con más profundidad la estrategia de digitalización de la Unión Europea.



En general, en EEUU son las grandes corporaciones las que recopilan y gestionan los datos agrarios. No obstante, es el USDA el organismo que actúa como entidad principal a la hora de impulsar y poner en marcha el programa de digitalización en el país. En el plan estratégico del USDA 2018-2022 la digitalización ocupa un protagonismo transversal a lo largo de los 7 objetivos principales. Concretamente aparece destacado su papel en el objetivo 1 «Asegurar que los programas del USDA se entreguen de manera eficiente, efectiva, con integridad y un enfoque en el servicio al cliente».

Para ello, el USDA reúne la mayor fuente de datos del mundo sobre el sector agroalimentario y se apoya en herramientas de análisis. Algunas de las herramientas más destacadas son:

- USDA:NRCS: Geospatial Data Gateway:Home:Direct DownLoad ofrece información recogida por satélite y es fácilmente descargable (la búsqueda se realiza en función del código postal).
- Soil Data and Maps | NRCS Soils (usda.gov), es la base de datos más completa de parcela sobre el cambio de usos del suelo, uso de agua, e infraestructuras agrarias.
- USDA Digital Strategy Playbook ofrece una guía orientada a las empresas de consulta rápida y consejos para favorecer la digitalización. Reúne temas como: orientación al cliente, uso de redes sociales, mejora de los sistemas de venta, etc.



La estrategia de digitalización en Israel se caracteriza por combinar una dirección gubernamental con una estrecha colaboración de las empresas *bigtech*, colocando en el centro de sus políticas nacionales la financiación al emprendimiento. Como resultado de esta cultura de inversión en I+D, en concreto en el sector agroalimentario, actualmente es una de las principales potencias tecnológicas a escala mundial (y es el país con más *startups* agroalimentarias per cápita del mundo).

Su estrategia de digitalización «Start-up Nation central» liderada por el gobierno en coalición con las corporaciones e inversores globales, se caracteriza por su diseño compacto basado en 6 líneas de actuación: 1) *Agrotech*; 2) Ciberseguridad; 3) Industria 4.0; 4) *Fintech*; 5) *Watertech* y 6) Salud digital.

Dentro de la línea de trabajo *Agrotech*, una de las subáreas de trabajo es *smart farming*, donde podemos encontrar dos vías de impulso de la digitalización:

- *Dirigido a las empresas*: la guía del acelerador de *Agrotech* es un mapeo de los programas de aceleración para las empresas emergentes de *agrofoodtech* en torno a la digitalización. Actúa como «ventanilla única» y ofrece la posibilidad de obtener información sobre todos los programas de financiación en agricultura inteligente y permite a las empresas buscar programas de acuerdo con su ubicación, los criterios de solicitud y las fechas, los requisitos, la duración del programa, etc.
- *Dirigido a los inversores*: la Guía del inversionista sobre innovación israelí, permite a través de un cuestionario que completan los inversionistas identificar sus necesidades y contactar con las empresas emergentes que trabajen en las líneas en las que están interesados. Esta guía actúa como puente de contacto entre empresas e inversionistas y facilita la interconexión entre el ecosistema de actores privados (empresas suministradoras de la tecnología y los inversionistas).

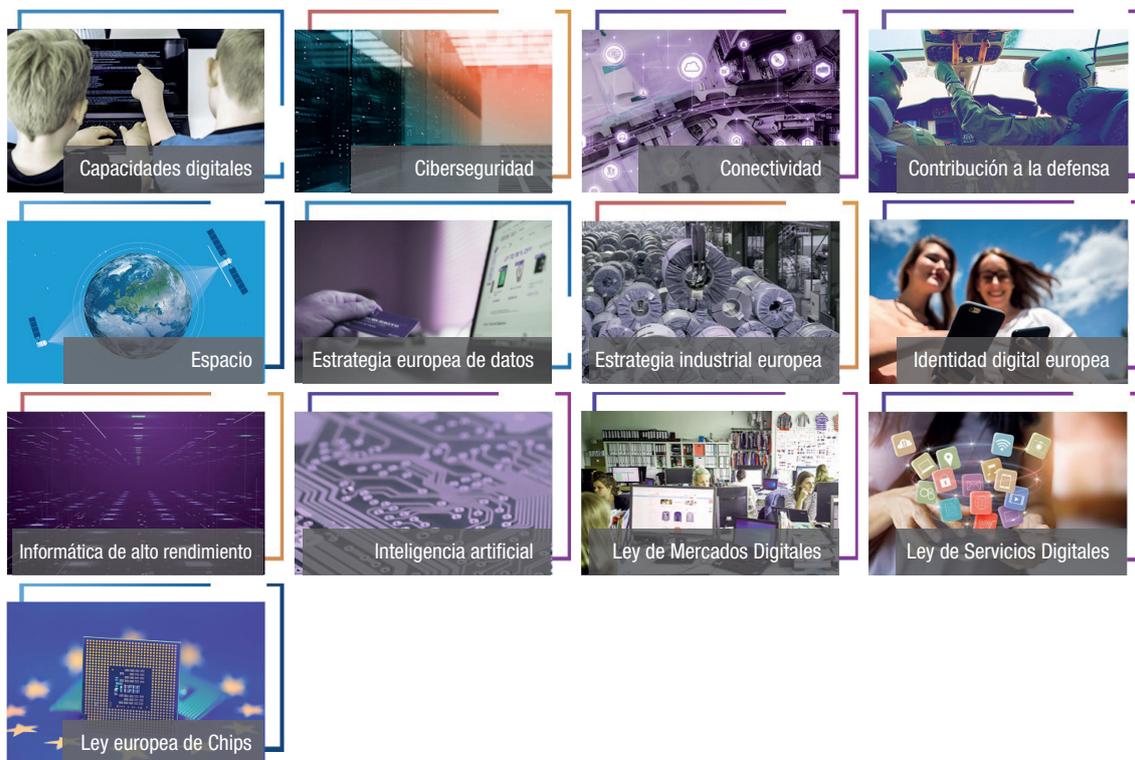
2.2. La transformación digital de la Unión Europea: cuestión transversal y capital para la descarbonización de la economía

En el marco de la Unión Europea, el impulso de la transformación digital se plasma a través de distintas políticas que conforman un marco legislativo común.

La publicación en 2019 de una serie de comunicaciones bajo el título «Una Europa adaptada a la era digital» es el punto de partida en el que la digitalización pasó a convertirse en una prioridad de las políticas europeas. Este proceso fue consolidándose hasta 2020 con la publicación de la nueva estrategia digital de la Comisión Europea.

Figura 1.

Áreas temáticas de las comunicaciones realizadas por la Unión Europea bajo el título «Una Europa adaptada a la era digital»



Fuente: Comisión Europea.

No obstante, en la Tabla 1 se recopilan los hitos más relevantes en la construcción del proceso de transformación digital y la formulación de la estrategia digital de la Comisión Europea vigente hoy en día.

Por otro lado, merece la pena detenerse resaltar el Programa Europeo Digital (DEP). Sus dos pilares centrales se pueden resumir en:

- Reforzar y promover la capacidad de Unión Europea en ámbitos clave de la tecnología mediante un despliegue a gran escala.
- Ampliar la difusión y adopción de las tecnologías en el sector privado y en áreas de interés público.

Para alcanzar estos retos globales, reúne cinco objetivos específicos:

- Informática de alto rendimiento.
- Inteligencia artificial (IA).

- Ciberseguridad y confianza.
- Capacidades digitales avanzadas.
- Despliegue y mejor uso de la capacidad digital e interoperabilidad.

Tabla 1.
Hitos recientes de mayor relevancia en la transformación digital de la Unión Europea

Año	Documento	Objetivo	Conceptos y puntos clave
2019	Ursula Von der Leyen es nombrada presidenta de la Comisión Europea y la digitalización pasa a ser parte fundamental de la agenda política de la Comisión.		El mercado digital único
	<i>Dictamen del Comité de las Regiones</i>	Este dictamen reúne lo mimbres sobre los que posteriormente se desarrollaron las orientaciones políticas de la estrategia europea de digitalización	Programa Europa digital Cohesión digital Potenciar el 5G Digitalización del sector público La importancia de la protección de datos
2020	<i>El futuro digital de Europa</i>	Este documento describe la componente digital como factor clave para la consecución de los objetivos de la nueva estrategia de crecimiento de la Unión Europea, el Pacto Verde Europeo y los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU	Incluye una referencia concreta a la importancia del uso de la agricultura de precisión
	<i>Estrategia europea de datos</i>	Esta publicación reúne las acciones para la creación de un espacio europeo de datos sectoriales en nueve áreas estratégicas, siendo la agricultura una de estas líneas estratégicas	Dentro del Espacio de datos agrarios europeos se subraya la necesidad de adoptar tecnologías disruptivas como <i>blockchain</i> para garantizar la seguridad alimentaria en Europa
	<i>Libro blanco sobre la Inteligencia artificial</i>	Habla de la importancia y el papel de la inteligencia artificial en el desarrollo de los principales sectores industriales	Destaca el papel de la inteligencia artificial en el sector agroalimentario
	Aprobación del Programa Europa Digital (DEP)	Este programa es la guía principal sobre la digitalización para el conjunto de la UE. Reúne las líneas de acción y el presupuesto para la aplicación de cada una de ellas	Adopción de nuevas tecnologías Uso de inteligencia artificial e informática de alto rendimiento Despliegue de infraestructura y mejor uso de datos Alfabetización digital de los ciudadanos

Fuente: Comisión Europea.

El seguimiento y avance de este programa puede realizarse a través de los informes anuales publicados por la Comisión Europea sobre la situación de cada país (el último informe es accesible a través del siguiente enlace: [Europe's Digital Progress Report | Digital Single Market](#)).

Las diversas estrategias han conducido a fijar unos objetivos comunes en cuanto a digitalización. La Década Digital de la Unión Europea es el documento que los recoge. Se pueden observar en la Tabla 2. En ellos se aprecia como se desea mitigar la brecha digital a través de fomentar la penetración de la tecnología en su territorio. Los objetivos propuestos son de vital importancia para alcanzar el

modelo de producción desligado de las emisiones netas de GEI que desea la Unión Europea en el año 2050.

Tabla 2.
Objetivos propuestos en la Década Digital de la Unión Europea

Capacidades	Transformación digital de las empresas
<p><i>Especialistas en TIC:</i> 20 millones + convergencia de género</p> <p><i>Capacidades digitales básicas:</i> mínimo el 80 % de la población</p>	<p><i>Asimilación de la tecnología:</i> utilización de la nube, la IA y los macrodatos por el 75 % de las empresas de la UE</p> <p><i>Innovadores:</i> aumento de las empresas emergentes en expansión y la financiación para duplicar los unicornios en la UE</p> <p><i>Usuarios tardíos:</i> más del 90 % de las pymes alcanzan al menos un nivel básico de intensidad digital</p>
Infraestructuras digitales seguras y sostenibles	Digitalización de los servicios públicos
<p><i>Conectividad:</i> Gigabit para todos, 5G en todas partes</p> <p><i>Semiconductores de vanguardia:</i> duplicar la cuota de la UE en la producción mundial</p> <p><i>Datos: borde y nube:</i> 10 000 nodos frontera de alta seguridad y neutros desde el punto de vista climático</p> <p><i>Informática:</i> primer ordenador con aceleración cuántica</p>	<p><i>Servicios públicos clave:</i> 100 % en línea</p> <p><i>Salud electrónica:</i> el 100 % de los ciudadanos tienen acceso a los historiales médicos</p> <p><i>Identidad digital:</i> utilización de la identificación digital por el 80 % de los ciudadanos</p>

Fuente: Comisión Europea.

En concreto, para el sector agroalimentario, la Unión Europea aterriza el programa de Europa Digital a través de diferentes programas de acción.

El Pacto Verde Europeo, una estrategia de carácter transversal, presenta un doble desafío, plantea un cambio inmediato de dirección hacia soluciones más sostenibles y a su vez, que sean eficientes en el uso de los recursos naturales para alcanzar una descarbonización del sistema productivo en 2050. En este sentido, el papel de la implementación de tecnología digitales es una de las piezas angulares para alcanzar ambos objetivos.

La estrategia de la Granja a la Mesa (F2F), entiende que el creciente volumen de datos en la Unión Europea combinado con el cambio tecnológico permitirá adoptar decisiones de la explotación para mejorar la rentabilidad y la sostenibilidad del sector agroalimentario. En este sentido, la transformación digital pasa por la evolución de los profesionales del sector agroalimentario y la gestión de sus explotaciones a partir del uso e interpretación de los datos en su día a día.

La nueva reformulación de la PAC ha incorporado este espíritu a sus elementos tradicionales. Además, se ha realizado una transformación profunda de la PAC, estableciendo que los beneficiarios deberán cumplir con unos resultados determinados que giran alrededor de tres objetivos generales:

- *El fomento de un sector agrícola inteligente, resistente y diversificado que garantice la seguridad alimentaria.*

- *La intensificación del cuidado del medio ambiente y la acción por el clima, contribuyendo a alcanzar los objetivos climáticos y medioambientales de la UE.*
- *El fortalecimiento del tejido socioeconómico de las zonas rurales.*

Además, incorpora un objetivo transversal que propone «la modernización del sector agrario a través del conocimiento, la innovación y la digitalización en las zonas rurales». Por lo que la transformación digital y ecológica de las explotaciones agropecuarias es un aspecto de importancia capital para la nueva política agraria, y permitirá que el sector ocupe una posición de liderazgo y vanguardia.

Los TEF agro (*Testing experimentation facilities*) son espacios de referencia para el ensayo y experimentación de las soluciones y productos de *software* y *hardware* basados en IA. El objetivo principal de los TEF es testear la tecnología y poder a continuación escalarla a nivel marco. Este proceso permite optimizar la inversión y evaluar los avances en un número limitado de sitios de referencia especializado.

Los TEF se centran en cuatro sectores: fabricación, atención médica, agroalimentación y ciudades y comunidades inteligentes, así como en la IA de vanguardia como tecnología.

A lo largo del 2021, se celebraron cinco talleres sobre TEF de IA específicos del sector agroalimentario:

- Presentación de Agrotech Valley sobre TEF
- Presentación de FBK sobre TEF
- Presentación de agROBOfood y WUR sobre TEF
- Presentación del TEF agroalimentario de la CE
- Talleres agroalimentarios de IA TEF

Una de las medidas tomadas por la Unión Europea para catalizar la digitalización es la creación del Espacio Europeo de Datos Sectoriales. Con él se da paso a un sistema único de datos abiertos para todos los sectores, convirtiendo a la Unión Europea en el único continente con un modelo de abierto de datos. Además, se pretende aumentar la confianza en el intercambio de datos y establecer las nuevas fórmulas que permitan a los intermediarios actuar como organizaciones fiables de la puesta en común de los datos, reutilizar datos públicos y velar por el control de estos.

Asimismo, estas medidas pueden incrementar el potencial de innovación de los sectores, donde se encuentra el agroalimentario a través del espacio europeo de datos agrarios. Este espacio de datos europeo compartidos es uno de los nueve espacios previstos (cada uno abordará un sector económico transversal relevantes de la UE).

Asimismo, desde la Comisión Europea se entiende la implementación de tecnologías digitales como elemento fundamental para el desarrollo de las siguientes etapas de la economía digital. Por ello,

a través del Programa Horizonte Europeo y de los Fondos de Recuperación Europeos (Fondo *Next Generation*) se mantienen otras vías de financiación paralelas.

En definitiva, la estrategia de crecimiento de la UE pasa por la digitalización, y más allá de implementar un paquete tecnológico, se pretende cambiar la forma en la que vivimos y trabajamos, producimos y consumimos alimentos, en favor de acelerar la transición hacia un sistema alimentario cada vez más sostenible en todas sus dimensiones.

Sinergias y complementariedades entre programas europeos

Es importante destacar que el Programa Europa Digital actúa como guía, no obstante, otros instrumentos propuestos también a escala europea actúan de manera compatible y aprovechando las posibles sinergias entre programas, en particular: Horizonte Europa, el Mecanismo «Conectar Europa» (MCE2), el Fondo de valores de la UE, Europa Creativa (incluido el programa Media), el Fondo InvestEU, COSME, el FEDER, el Fondo Social Europeo + (incluida la Iniciativa de Empleo Juvenil y competencias digitales básicas), Erasmus +, el Fondo Europeo de Adaptación a la Globalización (competencias digitales básicas y avanzadas), el Fondo de Gestión Integrada de Fronteras, la Acción por el clima y el medio ambiente (incluida la eficiencia energética) y el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural.

Las sinergias entre los programas garantizan por un lado distintas modalidades de financiación y por otro lado favorecen que se establezcan colaboraciones entre especializaciones inteligentes. Esto se traduce en inversiones más efectivas y con impacto real sobre los ciudadanos. Asimismo, otras inversiones digitales nacionales y regionales podrán complementar mejor el programa de la UE.

En definitiva, la articulación entre programas persigue aumentar la repercusión y la eficiencia de los fondos públicos para abordar los desafíos digitales de una manera más holística.

La inversión pública española en digitalización

El Gobierno de España ha destinado grandes partidas presupuestarias del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia a la Digitalización.

En primer lugar, destaca la agenda España Digital 2025. En ella se destina casi el 30 % del Plan de Recuperación con una dotación de 20.000 millones de euros para el periodo 2021-2023. La agenda gira en torno a diez ejes estratégicos (Figura 2) que desarrollan a su vez a 50 medidas.

Algunas de ellas pueden tener un impacto capital sobre la digitalización del sistema agroalimentario. La tecnología 5G puede ofrecer a los agentes de la cadena alimentaria de una alta velocidad de conexión a internet para aplicar las nuevas tecnologías o el incremento del comercio electrónico puede permitir la exploración de nuevos nichos de mercado cada vez más importantes, a la vez que se facilita la venta de los productos locales que se obtienen de los entornos rurales.

Figura 2.
Líneas estratégicas y grandes objetivos de la agenda España Digital 2025

Conectividad digital	Cobertura de 100 Mbps en el 100 % de la población
Conectividad 5G	Adecuación del 100 % de las instalaciones para el 5G
Competencias digitales	Competencias digitales básicas en el 80% de la población
Ciberseguridad	Tener 20.000 especialistas en ciberseguridad, Inteligencia artificial y datos
Digitalización de las administraciones públicas	Prestar al menos el 50 % de los servicios públicos a través de <i>app</i> móvil
Acelerar la digitalización en las empresas	Obtener el 25 % del volumen de negocio mediante comercio electrónico
Acelerar la digitalización del modelo productivos	Reducir un 10 % las emisiones de GEI
España como plataforma audiovisual	Incremento del 30 % en la producción audiovisual
Economía del dato	Uso de inteligencia artificial y big data por el 25 % de las empresas
Garantizar los derechos digitales	Elaboración de una carta de derechos digitales

Con destino específico al Sistema Agroalimentario destaca el PERTE Agroalimentario que pretende ofrecer una vía de financiación para todos los agentes de la cadena de valor agraria e investigación a través de tres grandes ejes mediante un presupuesto que asciende a los 1.000 millones de euros (Tabla 3). Con él se desea afianzar el progreso de la cadena agroalimentaria y ofrecerle las herramientas necesarias para hacer frente a los retos medioambientales, digitales, sociales y económicos de la próxima década.

Tabla 3.
Ejes de financiación del PERTE Agroalimentario

Eje 1	Eje 2	Eje 3
Industria agroalimentaria	Agentes de la cadena de valor	Agentes de innovación e investigación
Objetivo: mejorar sus procesos de producción, vinculados con su competitividad, sostenibilidad y trazabilidad de la producción de alimentos	Objetivo: apoyar el proceso de adaptación digital	Objetivo: apoyar a la innovación e investigación para lograr un sector agroalimentario competitivo en todos los eslabones
Dotación: 400 millones de euros	Dotación: 454,35 millones de euros	Dotación: 148,56 millones de euros

Fuente: MAPA.

El PERTE de Digitalización del Ciclo del Agua ofrece la financiación necesaria para modernizar los sistemas hídricos y mejorar así la protección del medio ambiente, mejorar la gestión de los recursos hídricos y hacer frente a el reto demográfico a través de una inversión de 3.000 millones de euros. A pesar de que incidirá sobre la digitalización del ciclo urbano del agua, la industria y el regadío, hace hincapié sobre la digitalización de la última actividad. El cultivo agrícola en régimen de regadío es la actividad principal en el consumo de agua, por lo que mejorar la eficiencia del regadío es una cuestión de importancia capital.

Estrategia de Digitalización del Sector Agroalimentario y Forestal y del Medio Rural en España

España es uno de los pocos Estados miembros de la UE que cuenta con una estrategia sectorial de digitalización para el agroalimentario. A partir de las guías de la Comisión Europa descritas en el apartado anterior desde el MAPA se ha trabajado en la publicación de la estrategia de digitalización del sector agroalimentario y forestal y del medio rural.

Esta estrategia supone el punto de partida del proceso de transformación digital del agro español y constituye la hoja de ruta a seguir, para eliminar y/o reducir las barreras técnicas, legislativas, económicas y formativas existentes en la actualidad, contribuyendo así al liderazgo de un sector agroalimentario sostenible económica, social y medioambientalmente, y al poblamiento activo del medio rural, haciéndolo, a su vez, un lugar más atractivo, vivo, dinámico y diversificado, generador de riqueza y de empleo de calidad, con especial atención a jóvenes y mujeres.

Para conseguirlo, la estrategia se centra en los siguientes tres objetivos específicos:

- Reducir la brecha digital.
- Fomentar el uso de datos.
- Impulsar el desarrollo empresarial y los nuevos modelos de negocio.

El desarrollo de esta estrategia se ha concebido, a través de la ejecución de planes de acción bienales, que dotarán de acciones y presupuesto para hacer frente a este desafío a largo plazo que supone la digitalización del sector.

El I Plan de Acción 2019-2020 ya recogía la relación de las actuaciones puestas en marcha a desarrollar en 2019 y 2020, articulando el comienzo de la implementación de la Estrategia de Digitalización del Sector Agroalimentario y Forestal y del Medio Rural.

Actualmente, está en marcha el II Plan de Acción 2021-2023, que recoge 21 actuaciones a desarrollar con una dotación presupuestaria de más de 64 millones de euros entre 2021 y 2023. Se puede consultar el documento completo a través del siguiente enlace: [Estrategia de Digitalización del Sector Agroalimentario y Forestal y del Medio Rural](#).

Este segundo plan se articula en cuatro bloques de acción:

- Actuaciones ejecutadas por el MAPA, de alto impacto en el sector agroalimentario y carga presupuestaria. Aquí se incluyen todas las medidas de peso para el sector, ya que su ejecución requiere cambios profundos como por ejemplo la recogida de datos, la formación y el asesoramiento en competencias digitales, Su presupuesto engloba más del 87 % del presupuesto total del II Plan de Acción
- Actuaciones que dan continuidad a otras iniciadas del I Plan de Acción. Aquí se incluyen todas las actividades que quedaron pendientes o por cerrar en el plan anterior o que debido por su impacto se considera de interés prolongar en el tiempo.
- Actuaciones transversales, lideradas por otros ministerios, que contribuyen a la digitalización del sector agroalimentario y del medio rural. Aquí se incluyen actividades en colaboración y coordinación con otras Administraciones y potenciales beneficiarios de las mismas.
- Actuaciones de gobernanza y dinamización enfocadas principalmente a la divulgación en el ámbito de la digitalización en el sector agroalimentario y rural.

Asimismo, en el marco de estas actuaciones en paralelo existen otras incitativas que forman parte del El Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR) y presentan objetivos compartidos para sumar en la transformación digital del sector agroalimentario. Entre ellas, se pueden destacar las siguientes:

- Línea específica de apoyo al emprendimiento de base tecnológica dirigida a pymes agroalimentarias (Agroinnpulso).
- Programa de apoyo para la aplicación de la agricultura de precisión y tecnología 4.0 en el sector agrícola y ganadero.
- Creación del Hub de innovación digital de tecnología interoperable (*Fiware*), para facilitar que las empresas centradas en el desarrollo de tecnológicos digitales (fomento del ecosistema *agrotech*).

- Una Plataforma de apoyo a los asesores del Sistema de Conocimiento e Innovación en la Agricultura (AKIS).
- La creación del Observatorio de digitalización del sector agroalimentario (al que corresponde la redacción del presente documento). El Observatorio tiene como finalidad realizar un seguimiento y análisis continuado del grado de implantación y adopción de nuevas tecnologías en el sector agroalimentario.

3. El papel de las universidades

A medida que avanza la sociedad y la economía digital se extiende, los espacios de generación de conocimiento como son las universidades y sus centros de investigación asociados juegan un papel clave en su desarrollo por dos motivos fundamentales:

- El desarrollo del mundo digital está abriendo paso a un nuevo mercado laboral y los centros proveedores de formación deben adaptar su oferta formativa a las nuevas necesidades y demandas empresariales. En definitiva, los centros de conocimiento deben estar a la altura de las competencias digitales que los profesionales necesitan en su día a día.
- La transformación digital requiere un enfoque científico-metodológico que incorpore conocimientos altamente específicos y disruptivos de manera integrada. Esta complejidad requiere de altas dosis de investigación especializada.

¿Se están preparando las universidades para esta nueva realidad? ¿Cuál es su rol principal en este proceso de cambio? A continuación, se recopila un listado de las instituciones educativas que ofrecen formación puntera en temas de digitalización y lideran en proceso de investigación en alguno de los campos de la transformación digital en el sector agroalimentario.



Es una de las universidades pioneras en desarrollar productos innovadores en el área de la economía digital. En la década de los años 70 a través de su iniciativa «Design School» idearon el método de trabajo *Design Thinking* (es un método diseñado para buscar soluciones creativas y convertirla en resultados a base interacciones). Este tipo de metodologías de pensamiento son la antesala necesaria para generar fórmulas de trabajo diferentes como plantea la transformación digital. Actualmente es una de las Universidades que lideran la investigación en torno a los modelos de redes neuronales de la inteligencia artificial (*Deep Learning for Natural Language Processing*).



En 2001 un grupo de investigadores del MIT definieron el código de producto eléctrico (EPC) este cifrado asentó las bases de lo que ahora conocemos como el internet de las cosas. Actualmente impulsa el portal especializado en sistemas alimentarios Food Systems and Agriculture | MIT Climate Portal. Otras iniciativas vinculadas con la digitalización del sector agroalimentario son: 1) Overview < Open Agriculture (OpenAg) — MIT Media Lab es un laboratorio de ideas donde se realizan convocatorias de proyectos en torno a la digitalización en el sector agro. 2) MIT Food and Agriculture Club website. Es una comunidad de estudiantes a escala mundial que comparten preocupación por la sostenibilidad en el sector agroalimentario y ofrecen el uso de tecnologías para buscar soluciones.



Actualmente ocupa el primer lugar mundial en la investigación agroalimentaria, especialmente en nuevas fórmulas de producción de alimentos. Situada en Países Bajos, lidera el ecosistema de investigación e innovación en torno al sector agroalimentario en Europa a través de un enfoque multiactor (trabaja en coordinación con otras universidades, la propia administración y las empresas), e integra la transformación digital de forma transversal en toda su formación y programas educativos. Se puede consultar su visión sobre la digitalización del sector agroalimentario a través de los siguientes vídeos: 1) «Market Intelligence: a comprehensive view of the future» - YouTube, 2) «FarmDigital: Data sharing agricultural sector (Wageningen University & Research)» - YouTube.



Fundada en 1897, ocupa las primeras posiciones del *ranking* de universidades tecnológicas chinas. En 2020 celebraron junto con la FAO el foro sobre agricultura digital. En el Foro, la ZJU y la FAO publicaron conjuntamente el primer «Informe insignia sobre agricultura digital en China», que analiza el estado actual de desarrollo del comercio electrónico rural de China. El documento recoge los beneficios principales del desarrollo del comercio electrónico vinculado al sector agroalimentario en zonas rurales de China.



Université Paris-Saclay, es un consorcio de universidades que reúne las principales instituciones de educación superior en Francia. En el marco del consorcio se puede destacar la creación del «Laboratorio Interdisciplinario de Ciencias Digitales». Este laboratorio, de carácter multidisciplinar basa su fortaleza en la fusión de esfuerzos de las principales universidades y centros de investigación del país CNRS, CentraleSupélec, Inria. Asimismo, el consorcio tiene una línea de trabajo específica en inteligencia artificial destinado a impulsar la competitividad de las empresas francesas y posicionar a Francia como líder en IA operativa para empresas.

Otro impulso a tener en cuenta por parte de las Universidades es un papel en la puesta en marcha de plataformas *online* de formación, donde se reúnen expertos de las mejores universidades, por lo que la calidad de la enseñanza es alta. La capacitación abarca desde cursos cortos (*Massive Open Online Courses* o MOOC) hasta grados con certificados profesionales de Google. Se caracterizan por ofrecer formación para usuarios autodidactas de carácter gratuito o a precios asequibles.

Las plataformas más importantes son:



- Fundada en 2012 por investigadores de Harvard y el Instituto de Tecnología de Massachusetts. Es una plataforma de formación en línea que reúne la colaboración de 160 universidades de todo el mundo y actualmente tiene más de 10 millones de usuarios registrados y ofrece alrededor de 3.000 cursos en distintas áreas. Concretamente ofrece 18 cursos sobre digitalización y ofrece un curso especializado en agricultura y Deep-learning (*e-learning* en agricultura digital).



- Fundada en 2012, por académicos de la Universidad de Stanford, es una plataforma de formación en línea que reúne la colaboración de 200 universidades de todo el mundo. La capacitación abarca desde cursos cortos hasta grados *online*. En torno a la digitalización ofrecen 1413 cursos y 193 están especializados en agricultura.

España no es una excepción, y también desde el mundo académico y espacios universitarios y centros de investigación públicos y privados se trabaja en aspectos relacionados con la digitalización agroalimentaria. En la Tabla 4 se muestran las principales Cátedras españolas cuyas líneas de actuación se encuentran relacionadas con la digitalización.

Tabla 4.
Líneas de actuación y centros de las principales Cátedras especializadas en digitalización en España

Cátedra	Centros y año de creación	Líneas de actuación
Cátedra Sipcam de digitalización para una agricultura sostenible	Alianza profesional y universitaria de la empresa SIPCAM Iberia y la ETSIAM de la Universidad de Córdoba 2021	El desarrollo e implantación de asistentes virtuales, redes de sensores y la modelización mediante computación en la nube
		Promover una agricultura sostenible basada en la agricultura de conservación y en la de precisión, en el uso de nuevas moléculas que favorezcan el desarrollo de los cultivos y la reducción del uso de insumos
		Además, convocan dos becas para la realización de TFG/TFM mediante una estancia de prácticas en la empresa SIPCAM Inagra SA, de 5 meses de duración
Cátedra de Innovación Agroalimentaria en Navarra	Alianza entre el Instituto Navarro de Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias (INTIA), y la Universidad Pública de Navarra (UPNA) 2022	Generación de conocimiento en las áreas de agricultura, ganadería, riegos e infraestructuras, digitalización, economía agraria, gestión, calidad y promoción de productos agroalimentarios
		Además, se impulsarán prácticas y doctorados de estudiantes de la UPNA en el INTIA, así como intercambios con otras universidades nacionales e internacionales con las que el INTIA tenga contacto
Catedra Telefónica de la Universidad de Extremadura	Alianza entre Universidad de Extremadura y Telefónica 2001	Todas las actividades de la Cátedra se centran en promover y divulgar el uso de tecnologías para la transformación digital del sector agroganadero y agroalimentario (<i>internet of things, big data, machine learning</i> y <i>blockchain</i>)
Cátedra Corteva. Agricultura Digital y Sostenibilidad	Alianza entre Universidad de Sevilla y la empresa Corteva Agriscience™ 2019	El objetivo principal es realizar divulgación y estudios para poner en valor la digitalización y la innovación en la agricultura. Para ello, sus líneas de investigación se centran en nuestra tecnologías digitales y nuevos modelos de empresas <i>Agrotech</i> . Ofrecen doctorados y becas de prácticas en esta línea. Y son activos en la celebración de talleres y transferencia de los resultados de los beneficios de la digitalización
Cátedra Fuentes Fertilizantes ICL Specialty Fertilizers	Alianza entre la Universidad Politécnica de Cartagena y el ICL Specialty Fertilizers 2014	Obtener fertilizantes que mejoren la eficiencia de los nutrientes permitirá disminuir su cantidad de uso y, con ello, un menor impacto medioambiental. Para alcanzar este objetivo apuestan por la digitalización de las explotaciones
Cátedra Bayer Crop Science	Alianza entre la Universidad Politécnica de Valencia y la empresa Bayer Crop Science Iberia 2012	La finalidad de la Cátedra es la promoción y desarrollo de conocimientos científico-tecnológicos que contribuyan al desarrollo de la innovación, la transformación digital y la sostenibilidad en la agricultura y la alimentación
Cátedra G's España-UPCT	Alianza entre Grupo G's España y la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT) 2018	Impulsa actividades de investigación y desarrollo tecnológico, formación y divulgación en el ámbito agroalimentario. La Cátedra convoca un Premio al mejor TFG/TFM y ofrece becas para estudiantes de grado o doctorado

La red de cátedras universitarias son espacios de colaboración entre el tejido empresarial del sector agroalimentario, los centros de conocimiento público privados y las universidades. El objetivo principal es aunar esfuerzos a través de equipos multidisciplinar para profundizar en temas de interés para el sector con un enfoque práctico y orientado a la formación de jóvenes profesionales.

Estos espacios de formación complementaria entre las empresas y las universidades son muy bien valorados por sus resultados directos (estudios, doctorados, prácticas, talleres, etc.) y por fortalecer sinergias y colaboraciones entre profesionales de distintos perfiles.

El impulso del MAPA

En esta línea de fomento de la formación mixta, desde el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, la Universidad de Córdoba y la Universidad Politécnica de Madrid se creó en 2021 el Centro de Competencias Digitales. Las actividades de este Centro se enmarcan en el II Plan de Acción 2021-2023 de la Estrategia de Digitalización del Sector Agroalimentario y Forestal y del Medio Rural del MAPA. Y el objetivo principal el Centro es impulsar la transformación digital del sector agroalimentario y el medio rural y combatir la brecha digital a través de la formación práctica y emprendedora.

Desde su creación el Centro de Competencias Digitales ha inaugurado una primera edición de 8 cursos gratuitos y compatibles con la actividad profesional:

1. Programa Copernicus: computación en la nube de imágenes de satélite para la toma de decisiones en agricultura.
2. Riego de precisión y gestión eficiente del agua.
3. Maquinaria: tecnologías de distribución variable de insumos, sistemas de seguimiento y trazabilidad.
4. Aplicaciones de ganadería de precisión.
5. Agroindustria 4.0: tecnologías habilitadoras.
6. Herramientas digitales para el desarrollo rural: pueblos inteligentes.
7. Herramientas digitales para la gestión de la empresa agroganadera.
8. Control inteligente de procesos y productos a lo largo de toda la cadena agroalimentaria: sensores espectrales y *blockchain*.

Todos los cursos completaron el aforo y se espera que a lo largo del 2022 se oferte un nuevo catálogo de cursos dirigido a profesionales del sector agroalimentario y forestal para fomentar la adquisición de competencias digitales.

4. El impulso desde el sector privado

A lo largo de la historia con cada tecnología han aparecido nuevos modelos de negocio. Y, en este sentido la transformación digital supone un nuevo desafío para todos los sectores estratégicos al tiempo que ofrece una oportunidad de generar nuevos modelos de negocio. Estas oportunidades han sido rápidamente interiorizadas por los grupos empresariales más innovadores.

A continuación, se recopila un listado de las corporaciones mundiales más vanguardistas y las iniciativas que impulsan en favor de la digitalización en el sector agroalimentario:



John Deere apuesta por la digitalización de la agricultura a través de la recopilación de datos por tres vías principales:

- *Recopilación de los datos de la maquinaria:* incluye todos aquellos relacionados con el funcionamiento de máquinas de trabajo (tractores y aperos). Algunos ejemplos son: consumo de combustible, indicadores de estado, códigos de diagnóstico del vehículo y rendimiento del motor. También a través de Deere Connected Support™ ofrecen un servicio de apoyo remoto en temas de seguridad y alertas para identificar fallos potenciales y corregirlos con antelación, reducir el tiempo de inactividad de la maquinaria y sus posibles averías.
- *Recopilación de datos de producción:* recopila todos aquellos relacionados con el trabajo que realiza la maquinaria en campo. Algunos ejemplos son: detalles de tareas de campo, variedad de cultivos, tipo de suelo, árboles o cultivos cosechados (rendimiento), estadísticas de la cosecha, e insumos agronómicos aplicados.
- *Recopilación de otros datos agrícolas:* incorpora la información relacionada con algún manejo especial. Algunos ejemplos son las notas ingresadas por el usuario e informes formateados por el usuario.

A modo de ejemplo, la visión de la explotación agroalimentaria del futuro de John Deere puede visualizarse en estos vídeos de Youtube: 1) «Farm Forward by John Deere» y 2) «Farm Forward | John Deere Innovation & Technology».



Dentro de todos los proyectos de Microsoft en el marco de la digitalización destaca 'FarmBeats', que se desarrolló en 2017. Es una plataforma digital que integra datos a través de la «nube» de Microsoft para monitorizar y analizar las condiciones de los suelos, el agua, los cultivos y la climatología. Es una herramienta orientada a países en vías de desarrollo (especialmente la India). La clave es facilitar la conectividad de tecnología móvil a través de wifi e imágenes aéreas con drones sencillos de usar. Su objetivo principal es asesorar a los agricultores sobre qué, cuándo y dónde plantar en función de los datos introducidos previamente.



Climate Corporation International SAClimate FieldView es una plataforma digital cuyo objetivo es ayudar a los agricultores a maximizar su producción. Está basado en imágenes detalladas y capas de datos agronómicos, de gestión de la explotación, de tipos de suelo, de la maquinaria y del clima para ofrecer análisis y recomendaciones basados en modelos meteorológicos, agronómicos e integración de datos. Es de uso privado previo pago y los usuarios principales son agricultores, minoristas agrícolas, profesionales vinculados y proveedores de servicios. Climate Corporation es una filial de Bayer AG.



Siguiendo el lema general de Google «hacer que merezca la pena la búsqueda», en el marco del sector agroalimentario uno de sus proyectos principales fruto de la colaboración entre Google y FAO es la herramienta Earth Map. Este sistema de análisis pone a disposición pública imágenes satelitales a tiempo real a escala planetaria. Su función principal es permitir la detección, cuantificación y monitoreo de cambios y tendencias en la superficie de la Tierra. Permite visualizar, procesar y analizar imágenes satelitales y conjuntos de datos globales sobre clima, vegetación, incendios, biodiversidad, factores geosociales y otros temas como las migraciones y la movilidad. Esta herramienta es de acceso público y gratuito. Asimismo Google Analytics ofrece herramientas para analizar el tráfico y el perfil de usuarios de una web y facilitar la toma de decisiones en torno al comercio digital. Y, Google Activa ofrece formación gratuita en torno a la digitalización de las empresas y empleados, el objetivo principal es estimular el mercado de las nuevas tecnologías a través de la formación de los usuarios.



Farmobile es propiedad de Amazon. Es una herramienta que pretende ayudar a los agricultores de países en vías de desarrollo a recolectar datos e interpretarlos directamente a través de su móvil, así como a recibir un pago por la venta de estos. Se trata de un dispositivo que se coloca en la maquinaria agrícola y recopila automáticamente datos agronómicos y de la propia maquinaria. Los datos agronómicos que se recopilan son aquellos relacionados sobre el tipo de semillas, los niveles y ritmos de plantación, el rendimiento, manejo de plagas y nutrición de cultivos. Los datos de la tierra se refieren a información sobre la labranza, el tipo de suelo y del medioambiente, etc. Los datos de la máquina son información sobre su estado y su funcionamiento. Asimismo, en España, Amazon ofrece una plataforma de formación «Despega, crea y acelera tu negocio vendiendo por internet (amazon.es)» *online*, gratuita y específica para pymes con poca o ninguna experiencia para expandir su presencia *online* y para emprendedores que quieren crear su propio negocio de comercio electrónico.



FMC Corporation Arc Farm Intelligence, es una plataforma exclusiva sobre agricultura de precisión que permite a los productores y asesores agrícolas predecir con mayor precisión la presión y el avance de las plagas antes de que se conviertan en un problema. Una vez introducidos los datos sobre el cultivo y la parcela (ubicación, riego, tipos de manejos, etc.) la plataforma devuelve información personalizada al usuario sobre temas relacionados con protección de cultivos, sanidad vegetal y manejo profesional de plagas.

- BASF

BASF, entre sus líneas de trabajo sobre la digitalización destaca la plataforma «Xarvio» es una herramienta que ayuda a identificar malezas, enfermedades, insectos, etc. en campo y predice cuándo se convierten en una plaga y aconseja cuándo tratar. La metodología de cálculo se basa en modelos predictivos y funciona con la descarga de una *app* gratuita (a través de Google Play o App Store). Esta *app* funciona al sacar foto con tecnología móvil y enviarla a través de la plataforma, los usuarios reciben instantáneamente como resultado un conjunto de guías o recomendaciones de manejo de plagas de más de 50 cultivos. Xarvio es resultado de una colaboración entre BASF y Bosch, y combina la tecnología y el *software* del sensor de cámara de Bosch con la plataforma de cultivos y optimización de manejo de BASF.



Corteva Agriscience™ tiene una plataforma de contenidos sobre el sector agrícola, «Corteva Talks», donde presentan su principal herramienta «Granular Link» es una *app* móvil gratuita que ofrece información diaria al usuario de la parcela sobre el manejo del cultivo frente a plagas y enfermedades, riego inteligente (con recomendaciones y alertas sobre necesidades del cultivo) y mapas VRA (aplicación de tipo variable, se refiere a la aplicación de un producto en una ubicación precisa). El objetivo de la aplicación es ayudar a los agricultores a optimizar la aplicación de insumos (agua, nutrientes y productos fitosanitarios).



Syngenta ofrece una herramienta digital web «Run Off Tool». La plataforma web se puede utilizar desde cualquier dispositivo móvil, tableta u ordenador. El objetivo es analizar el suelo de las parcelas de cultivo y ofrecer una serie de recomendaciones para evitar la pérdida del suelo y degradación de este por efecto de la escorrentía y erosión. El usuario debe introducir datos relativos a la composición, orografía del suelo de la explotación y a cambio obtiene recomendaciones de buenas prácticas agrícolas que le ayuden a proteger su suelo y entorno.



Hispattec es una de las empresas con una especialización en digitalización agroalimentaria y referente nacional en este ámbito. Está especializada en desarrollo de *software* ERP, *big data* y analítica avanzada para la agricultura y el sector agroalimentario. Participa en proyectos de I+D+i con los principales actores nacionales e internacionales. Algunos de los proyectos más destacados en los que participa actualmente son: loF2020–Internet of Food & Farm, *big data*: Modernización de sistemas agroalimentarios sostenibles; Proyecto Inverconec; Anti-Bo, tecnología de control antifúngica.

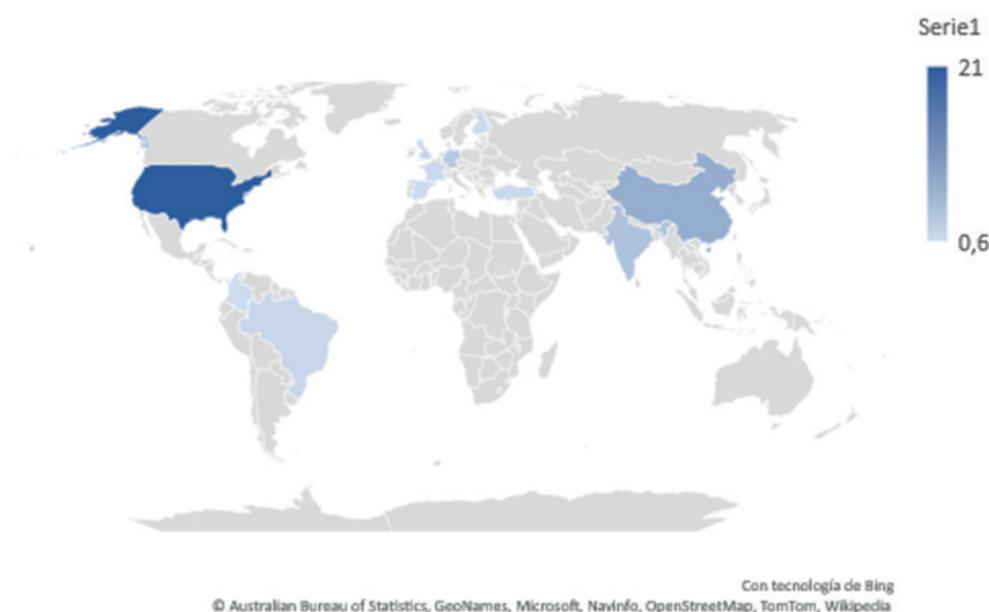
El agrotech español

La comparación con el resto de empresas tecnológicas vinculadas al sector agroalimentario de la Unión Europea y mundial nos permite identificar cual es nuestra situación de partida, puntos de mejora y ventajas competitivas frente a nuestros países homólogos.

Según el último informe publicado por Agfunder, respecto al *ranking* de los 20 principales países mundiales en inversión dirigida a empresas del sector *agrofoodtech* encontramos que España ocupa la posición número 12, con un total de 0,7 billones de dólares. Por lo tanto, podemos indicar que la dimensión económica del mercado *Agrotech* en España presenta un volumen considerable y tiene un peso relevante a escala mundial. Sin embargo, está lejos de los países como EEUU, China y la India, que lideran la clasificación.

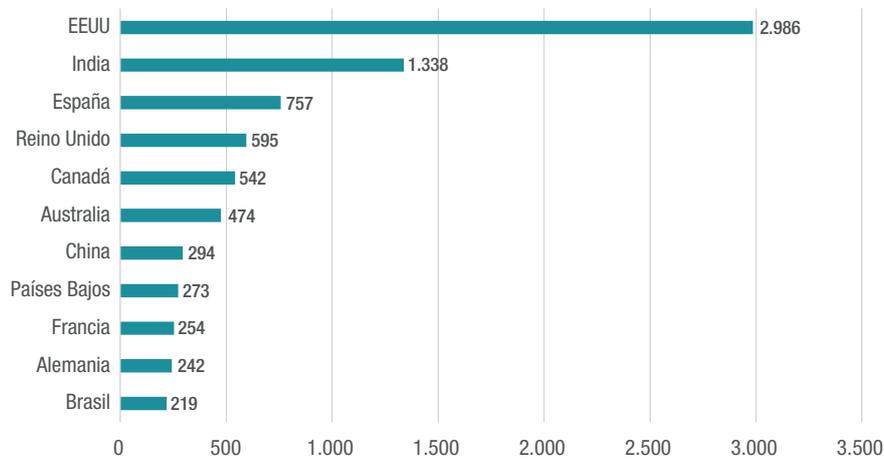
Figura 1.

Ranking mundial en inversión en el sector Agrifoodtech por países. En billones de dólares



Fuente: Agrifoodtech investment report (2020).

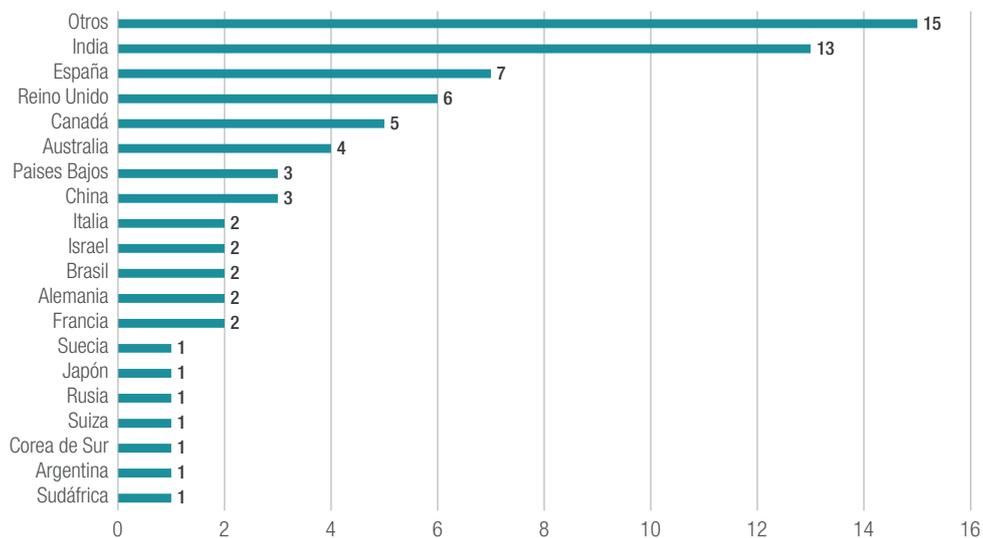
Gráfico 1.
Número de empresas *agrotech* en el mundo



Fuente: Agrifoodtech investment report (2020).

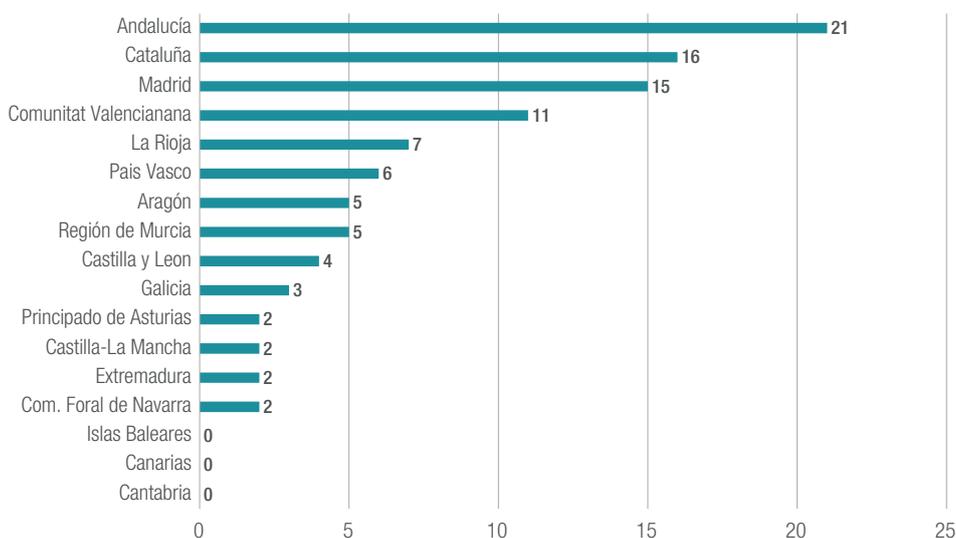
Al comparar este volumen de empresas con el resto de los países, el resultado indica que España aglutina el 7 % de este tipo de empresas a escala mundial.

Gráfico 2.
Presencia de empresas *agrotech* en el mundo. En porcentaje



Fuente: Informe Agrotech España (2021).

La distribución geográfica de las 757 empresas españolas del sector *agrotech* en las Comunidades Autónomas es la siguiente:

Gráfico 3.Distribución territorial de las empresas *agrotech* españolas por comunidad autónomas. En porcentaje

Fuente: Informe Agrotech España (2021).

Las empresas *Agrotech* se caracterizan por su dinamismo y crecimiento debido a su propio enfoque y naturaleza innovadora. Según Agrotech España (2021), un total de 60 % de las empresas *Agrotech* se crearon hace menos de 5 años y el 40 % restante tiene aproximadamente entre 5 y 10. Asimismo, los resultados arrojan que el 58 % de las empresas factura menos de 250.000 euros al año. Por lo tanto, se trata de empresas jóvenes en torno a un sector relativamente nuevo, con volúmenes de facturación en fase incipiente, pero con un potencial de futuro importante.

4.1. Aprendizajes desde el sector privado

A partir del estudio de las iniciativas más punteras de las grandes corporaciones para impulsar la digitalización en el sector agroalimentario, se puede extraer una serie de factores que tienen en común y que favorecen la transición hacia la transformación digital.

Los recogemos a continuación:



La tecnología digital forma parte de su estrategia empresarial

Todos los casos expuestos comparten un elemento esencial: la estrategia de transformación digital forma parte estructural de la entidad y no únicamente de un departamento. Este papel central que ocupa la transformación digital permite entender que, sin importar el tamaño de la empresa, todas están obligadas a renovarse y adaptarse llegando incluso a tener que modificar profundamente sus modelos de negocio para poder sobrevivir.



La colaboración de distintas entidades multiplica resultados

En las empresas estudiadas es importante destacar que muy habitualmente estas compañías líderes de la transformación digital colaboran entre sí o con organizaciones internacionales para poder aprovechar todo el alcance y potencial de sus iniciativas. Por tanto, favorecer un ecosistema inspirador y apoyarse en proceso de innovación abierta potencia la transformación digital. El cambio de paradigma que implica la transformación digital implica dejar de pensar en términos de talento individual y pensar en términos de inteligencia colectiva.



Los beneficios de la transformación digital global son innumerables

En los casos comentados las oportunidades que ofrece la digitalización son muy diversos. Por ejemplo: permite ampliar información y profundizar sobre las necesidades de los consumidores para capturar valor en las ventas de los servicios o productos, también permite fidelizar compras y ampliar mercados, etc.

La característica compartida se centra en entender la innovación digital como un proceso de constante en la forma de trabajar (la digitalización agrega valor) y que la inacción puede ser catastrófica para el futuro de los negocios.



El cliente es el centro

Las empresas descritas forman parte de los grandes grupos generadores de tendencias «movilizadores» y tienen en común el interés en conocer, entender y acceder a sus clientes de la manera más flexible posible. Este enfoque tiene en cuenta el fomento de la participación y la comunicación externa activa a través de múltiples canales con los clientes (algunos ejemplos son: *feedback* contante, técnicas de *customer journey*, *growth hacking*, *inbound marketing*, etc.) Asimismo, a nivel interno el uso de plataformas de colaboración y comunicación ya son procesos digitalizados e interiorizados en estas empresas (algunos ejemplos son: el fomento del intraemprendimiento, la gestión del talento, los procesos *onboarding* para nuevos empleados, etc.).



La sostenibilidad como meta

El desafío común de lucha contra el cambio climático cobra un protagonismo en el día a día de las empresas y esto se traduce en la implementación de medidas vinculadas a la sostenibilidad a la hora de presentar y elaborar sus productos o servicios. En todos los casos expuestos la misión final está orientada a alcanzar un mundo más sostenible, desde una mirada sistémica y holística.

Es decir, este nuevo paradigma invita a llevar una transformación digital teniendo en cuenta desafíos climáticos y medioambientales. Y, entiende como sostenibilidad la combinación equilibrada de las dimensiones sociales, económicas y ambientales.



BIO



ECO

PH

La conexión entre todas las fases de la cadena alimentaria

1. Fases que conforman el sistema agroalimentario

En muy pocas décadas, el sistema agroalimentario ha experimentado un importante cambio en su estructura y en el peso relativo que tienen sus diferentes componentes.

Hasta hace pocos años la producción agraria era la más relevante, estando basada en la generación de la mayor parte de los insumos empleados en los procesos productivos en la propia explotación, con una mínima transformación de las materias primas y la venta en mercados relativamente próximos.

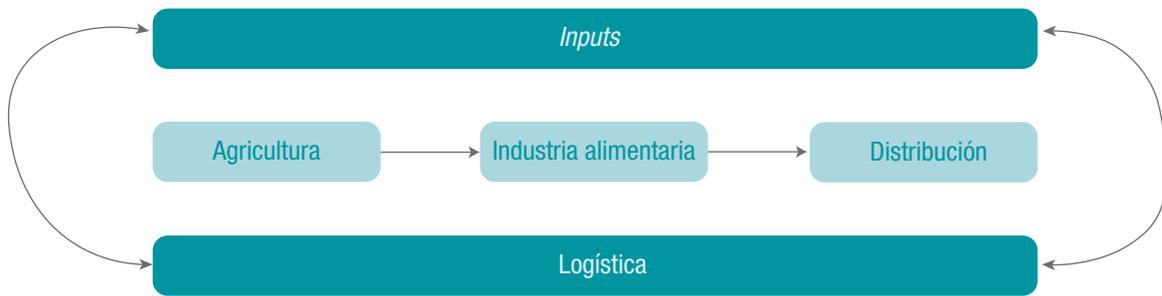
Pero conforme ha ido incrementándose la población global y ha aumentado el porcentaje de la misma que vive en las ciudades, las cadenas de suministro de alimentos se han hecho más complejas. Y para dar respuesta a un incesante crecimiento de la demanda se ha tenido que invertir en la generación de nuevas tecnologías y en la implementación de las mismas en las explotaciones agrarias.

Simplificando mucho, el agricultor ha pasado de ser el centro del ecosistema de producción de alimentos a ser un eslabón más, que tiene por delante a los generadores de innovaciones productivas; como son las empresas de agroquímicos, de nuevos materiales vegetales o de maquinaria agrícola, y por detrás a una industria alimentaria que transforma las materias primas en productos cada vez más sofisticados y que posteriormente los traslada hacia los grandes centros consumo, donde las cadenas de distribución ocupan un lugar privilegiado.

Este nuevo sistema agroalimentario quedaría representado en la Figura 1.

El objetivo final de todo este sistema es el de satisfacer las demandas de alimentos que tiene la población. Y como se ha mencionado anteriormente, estas han cambiado de manera intensa por una serie de circunstancias que pasamos a enumerar.

Figura 1.
Componentes y relaciones en el Sistema Agroalimentario

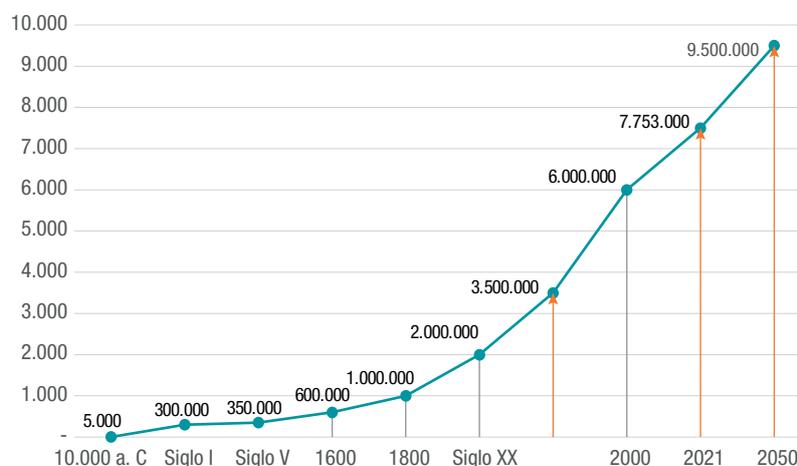


1.1. Evolución de la población mundial

A lo largo de la historia la evolución de la población mundial ha sido muy variable y ha estado muy condicionada por factores naturales como han sido las epidemias que generaban altas tasas de mortalidad, las catástrofes naturales que suponían unas grandes pérdidas en las cosechas con una limitación de la oferta de alimentos disponibles, o las condiciones sanitarias que las tasas de supervivencia en determinados colectivos fuesen muy bajas. También las condiciones de vida y trabajo hacían que la esperanza de vida fuesen sensiblemente inferiores a las actuales.

Conforme se van resolviendo todas estas incidencias, y muy especialmente a raíz de las mejoras alcanzadas con la consolidación de la revolución industrial, el desarrollo demográfico inicia un proceso expansivo desde principios del siglo XIX en el que todavía nos encontramos (Gráfico 1).

Gráfico 1.
Evolución de la población mundial. En millones de habitantes



Para llegar a los 1.000 millones de personas de 1800 se habían necesitado prácticamente tres siglos. Después se necesitaron 100 años para volver a duplicar y alcanzar los 2.000 millones de habitantes sobre la Tierra. Pero a partir de entonces el crecimiento ha experimentado una fuerte aceleración. Los 4.000 millones se alcanzaron en 1975 y actualmente estamos por encima de los 7.700 millones. Es decir, en apenas cien años la población global se ha incrementado en más de 5.000 millones de personas. Ello ha supuesto un enorme desafío para todos ya que la cantidad de alimentos ha tenido que crecer en mucha mayor proporción. El regadío, la biotecnología, los agroquímicos y la mecanización han sido los factores que han permitido el desarrollo alcanzado hasta ahora. Y en parte serán las variables sobre las que tendremos que seguir actuando, aunque si queremos conseguir un entorno sostenible tendremos que introducir nuevas tecnologías que nos permitan ser más eficientes. Aquí es donde la digitalización va a jugar un papel fundamental.

1.2. El desarrollo de las ciudades

Paralelamente a la expansión experimentada por la población mundial, a lo largo del último siglo hemos asistido a una progresiva concentración en ciudades cada vez más grandes.

De los 200 millones de habitantes que vivían en ciudades a principios del siglo XX hemos pasado a los 4.352 millones que según del Banco Mundial lo hacen en la actualidad, lo que viene a representar más del 56 % de la población. En la siguiente tabla se muestra la evolución experimentada desde el año 1900 y las proyecciones que realiza el propio Banco Mundial para mediados de este siglo (Tabla 1).

Tabla 1.
Evolución de la población urbana y total mundial

	1900	1960	2020	2050
N.º habitantes	200	1.019	4.352	6.650
Urbana/total (%)	10	34	56	70

Fuente: Banco Mundial.

Esta fuerte concentración de la población en las áreas urbanas ha provocado, y seguirá haciéndolo, un progresivo distanciamiento de los consumidores con las zonas, las formas y las personas que se dedican a producir los alimentos. Y son necesarias estructuras cada vez más complejas para asegurar el suministro de un bien que es esencial para la vida.

Este alejamiento de los ciudadanos con la agricultura está provocando que en muchos casos se desconozcan las condiciones en las que viven y producen los alimentos los agricultores. Todo ello motivado porque al asegurar en todo momento el suministro a los centros de consumo, incluso en los momentos de máxima tensión como los generados durante las primeras semanas del confinamiento provocado por la covid-19, le ha llevado a ser invisible para la sociedad.

Pero en la misma medida que han cambiado nuestras costumbres, el lugar donde vivimos y compramos, nuestras necesidades y las prioridades en nuestra cesta de gasto, los agricultores también han experimentado una profunda transformación. Proceso que seguirá acentuándose en las próximas décadas y que pasamos a describir brevemente en el siguiente apartado.

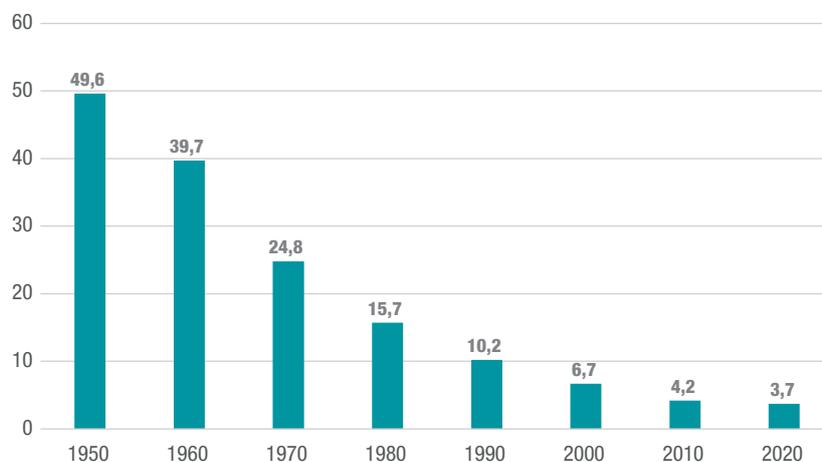
2. El sector agrario como base del sistema alimentario

En el mundo todavía el 26,8 % de la población sigue dedicada a la agricultura. Sin embargo, esta cifra muestra realidades muy distintas, que van desde el poco más del 1 % en los países más desarrollados como son los Estados Unidos de América, Reino Unido o Alemania hasta valores muy por encima del 50 % en muchas zonas de África. En China, la población agraria representa un 25 % de su masa laboral, pero hace tan solo 30 años estaba en el 60 %.

En el caso de España, la gran disminución de la población ocupada en la agricultura tuvo lugar durante la segunda mitad del siglo XX, cuando se pasó de casi el 50 % al 6 % (Gráfico 2).

Gráfico 2.

Evolución de la participación del sector agrario en la población ocupada en España. En porcentaje



Fuentes: Banco Mundial, MAPA, INE.

Estos cambios tan importantes como ha sido el fuerte incremento en las cantidades de alimentos producidas y la intensa reducción de las personas que se dedican a la actividad ha sido posible gracias a una serie de cambios estructurales en las explotaciones agrarias de las que destacaríamos las siguientes:

2.1. Drástica reducción en el número de explotaciones

La agricultura española se ha caracterizado tradicionalmente por el elevado peso que han tenido las explotaciones familiares de pequeña y mediana dimensión. Normalmente con un tamaño medio inferior al de los demás países de nuestro entorno.

Esta situación provocó un cierto retraso en la incorporación de nuevas tecnologías a la agricultura española, ya que la escasa dimensión estaba muchas veces relacionada con la baja capitalización de las explotaciones.

No obstante, en las últimas tres décadas se ha registrado un rápido proceso de consolidación con la desaparición de muchos propietarios agrícolas y el crecimiento del tamaño medio.

Desde el año 1962 hasta 2016, el número de explotaciones que contaban con tierras labradas ha pasado de 2,75 millones a 945.024.

Tabla 2.
Evolución del número de explotaciones (1962-2016). En hectáreas

	1962	2016
N.º explotaciones	2.747.235	945.024

Fuente: INE.

En el gráfico podemos observar que las explotaciones que consiguen una producción estándar de más de 120.000 euros solo representan el 6,9 % del total pero generan el 63,7 % del valor de la agricultura española. En sentido contrario, las más pequeñas, que generan menos de 9.600 euros, y que por tanto serán en la mayoría de las ocasiones de propietarios para los que la agricultura no es su actividad principal, significan el 56 % de las explotaciones, pero generan menos del 5 % del valor.

2.2. Un sector agrario cada vez más tecnificado

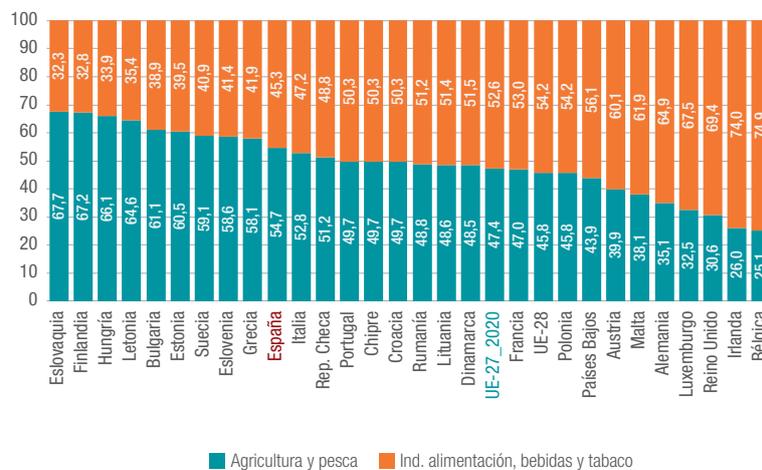
Al mismo tiempo que se ha ido incrementando la dimensión superficial y la producción de aquellas empresas agrarias más dinámicas lo ha hecho su dependencia de los insumos y de las tecnologías que han ido incorporando.

En el periodo temporal que hemos estado analizando en este capítulo la agricultura española ha pasado de una estrategia basada en la autosuficiencia y en el aprovisionamiento de una gran parte de los factores de producción en el seno de la propia explotación, a otra situación en la que las empresas realizan inversiones en infraestructuras y maquinaria y adquieren suministros a organizaciones que han realizado un gran esfuerzo en I+D+i y que han obtenido como resultados incrementos significativos en la productividad.

Todo este cambio se fue acelerando desde la incorporación de España en la UE, momento que podemos considerar clave en la modernización en la forma de producir que empleaban nuestros agricultores y ganaderos, hasta llegar a la situación actual en la que nos hemos consolidado como uno de los principales países productores agrarios de Europa. En 2020, la significación del sector agrario llevó a España a ocupar la décima posición de la Unión Europea en cuanto a su significación dentro del Valor Agregado Bruto generado por el sector agroalimentario (Gráfico 3).

Gráfico 3.

Composición del sector agroalimentario europeo en términos del VAB. Países miembro de la UE-27 y Reino Unido. 2019* (%)



Fuente: Eurostat.

Para poder alcanzar este nivel de productividad y de generación de valor se ha tenido que realizar un importante esfuerzo en las inversiones realizadas y en la compra de insumos, que se puede ver reflejados en dos componentes de las macromagnitudes de la agricultura española, como son los consumos intermedios y las amortizaciones.

En el Gráfico 4 se han representado la evolución que han tenido estas dos componentes en relación con el valor de la producción de la rama agraria, partiendo desde el año 1980 para poder recoger la situación que había previa a la incorporación como socio europeo de pleno derecho, que tuvo lugar en 1986.

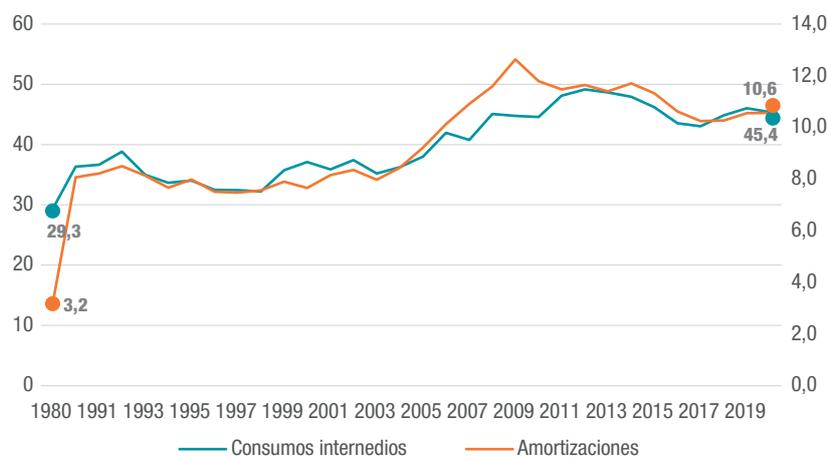
Como se puede comprobar en el gráfico, el mayor salto se produce entre 1980 y 1990, momento en el que la agricultura recibe un fuerte apoyo a raíz de nuestra entrada en el mercado común europeo. Y que vino propiciado tanto por el poder acceder a unas ayudas para la modernización de las que no gozaba anteriormente España, como por la apertura de un nuevo mercado con un gran número de consumidores y en el que progresivamente nuestros productos han ido ganando cuota de mercado.

De esta forma las inversiones se han ido incrementando, pasando de representar solo 3,2 % del valor de la producción hasta llegar a un máximo en el año 2009 que alcanzaron el 12,6 %. En la

misma medida los consumos intermedios que solo representaban el 29,3 % de la producción en 1980 llegaron a suponer más del 49 % en 2012. Desde estas fechas tanto los valores absolutos de amortizaciones como de consumos intermedios muestran una cierta estabilidad frente a las oscilaciones que ha experimentado la producción total. Por tanto, la caída en el peso relativo de estas dos variables no se debe a una reducción en las inversiones en las compras de insumos, sino a un crecimiento en mayor medida de la producción.

Gráfico 4.

Evolución de los consumos intermedios y de las amortizaciones en relación con el valor de la producción de la rama agraria. En porcentaje



Fuente: Macromagnitudes agrarias. MAPA.

En cualquier caso, parece que el ritmo de incorporación de innovaciones en el sector agrario en su conjunto parece haberse estabilizado. Situación que podría verse nuevamente modificada en los próximos años con motivo del proceso de digitalización.

3. Las relaciones del sector agrario con las suministradoras de tecnologías de producción

Vinculado al proceso descrito en el apartado anterior, de creciente tecnificación de las explotaciones y cada vez más dependientes de las empresas que generan las nuevas tecnologías, se han ido creando nuevas relaciones de colaboración.

Cuanto más fluida, directa y estrecha es esta relación más se van a adaptar las soluciones propuestas a las necesidades específicas del agricultor. Tanto en términos de mejora de la productividad, de incorporaciones de nuevos productos que van a disfrutar de una cierta ventaja en los mercados o de técnicas que van a ser más eficientes.

Con frecuencia ha ocurrido que una nueva variedad vegetal o una raza animal, desarrolladas por empresas de genética de un determinado país, han sido explotadas en un territorio de origen de la empresa aportándole una ventaja competitiva clara a los primeros adoptadores de la misma. Una vez se *comoditiza* se amplía su comercialización al mercado masivo a precios mucho menos interesantes.

Igualmente ocurre con nuevos complejos para la nutrición de las plantas, de control de plagas y enfermedades o de nuevas maquinarias más precisas y con mayores rendimientos.

La sofisticación que requieren todas estas nuevas tecnologías ha llevado a una progresiva concentración de las organizaciones que las desarrollan, controlando un número reducido de empresas una parte muy relevante del mercado.

Recogemos a continuación los sectores más relevantes de las tecnologías agropecuarias y las empresas líderes mundiales que los conforman.

3.1. Fertilizantes

Las mayores exigencias de los cultivos para poder aprovechar todo su potencial productivo han podido ser satisfechas gracias al empleo de los fertilizantes químicos. En algunos casos como complemento de enmiendas orgánicas procedentes de los subproductos de las explotaciones ganaderas o del compostaje de diversos restos vegetales. Pero cada vez más se han impuesto como la única fuente de incorporación de nutrientes para las plantas.

A los tradicionales compuestos nitrogenados, fosfatados y potásicos, que cubren un elevado porcentaje de las demandas, se han ido incorporando nuevos productos que complementan con otros macro y micronutrientes las necesidades de los cultivos, mejorando considerablemente la respuesta de estos y la calidad de los productos obtenidos.

Últimamente, a estos insumos químicos se le están incorporando diversos bioestimulantes procedentes de microorganismos y con los que se pretende reactivar la fauna presente en el suelo, generando un efecto simbiótico con las raíces y mejorando su capacidad para absorber el agua y los nutrientes presentes. Aunque muchas de estas novedades han sido desarrolladas por nuevas empresas independientes cada vez están siendo más objeto de deseo de las grandes industrias de fertilizantes que las están adquiriendo e incorporando en su porfolio de entidades participadas.

Entre los mayores productores de fertilizantes nos encontramos a las grandes potencias del petróleo, que controlan los nitrogenados, o a los que cuentan con grandes reservas de fósforo y potasio.

Estamos hablando de grandes operadores globales, aunque en cada país podamos encontrar con empresas muy dinámicas que compaginan la distribución de fertilizantes importados con el desarrollo de productos propios. En el caso de España las principales empresas del sector son Fertiberia, S.A., Fertinagro Biotech, S.L., Herogra Fertilizantes, S.A. y Antonio Tarazona, S.L..

Entre los grandes grupos mundiales cabe destacar:

- Saudi Arabian Fertilizer Company. Arabia Saudí
- K+S AG. Alemania
- CF Industries. Estados Unidos de América
- BASF. Alemania
- Uralkali PJSC. Rusia
- Israel Chemicals. Israel
- Yara International. Noruega
- Potash Corporation. Canadá
- The Mosaic Company. Estados Unidos de América
- Agrium. Canadá

Además de las chinas, Sinochem, Hubei Xinyangfeng Fertilizer, Wengfu Group, Lenan Cinlianxin, Luxi Chemical Group, China BlueChemical Ltd. Y Anhui Liuguo Chemical Co. Ltd, entre otras.

Optimizar el empleo de los fertilizantes tiene varias consecuencias para la sostenibilidad económica y ambiental de la producción agraria. Por un lado, suponen una parte importante de los costes de producción de los cultivos, por lo que un ahorro en el empleo de los mismos puede mejorar la cuenta de explotación de los agricultores. Más aún si tenemos en cuenta que el progresivo encarecimiento de la energía, y la limitada disponibilidad de fósforo y potasio nos llevarán a que el precio de los fertilizantes sea cada vez mayor. Situaciones como las que se están viviendo en 2021, de fuerte incremento de las cotizaciones de los abonos, serán cada vez más frecuentes.

El otro aspecto relevante en el empleo de estos compuestos es la necesidad de maximizar la absorción por parte de los cultivos evitando las pérdidas por lixiviación, especialmente de los compuestos nitrogenados y del fósforo. Utilizar más abonos de los necesarios, aplicarlos cuando las plantas no pueden aprovecharlos o cuando las condiciones meteorológicas son adversas puede suponer pérdidas importantes en las cantidades aplicadas que terminan por llegar a los acuíferos contaminándolos.

Las técnicas que se están desarrollando para optimizar el empleo pueden ir desde programas que simulan el consumo de las plantas y realizan recomendaciones de las cantidades a utilizar y el momento óptimo de aplicación, hasta la implantación de sensores y el uso de imágenes aéreas y de satélite para comprobar el estado de los cultivos y la distribución espacial de los fertilizantes. Todo ello unido a los mecanismos implantados en la maquinaria agrícola o en los sistemas de riego de precisión permitirán una distribución óptima de los nutrientes.

3.2. Fitosanitarios

El otro gran componente de los insumos utilizados por los agricultores lo conforman la gama de herbicidas, insecticidas y fungicidas, que en el caso español pueden representar el 4 % de sus gastos.

En este ámbito también hay un claro dominio de empresas multinacionales. Hay que tener en cuenta que los periodos para desarrollar las diferentes materias activas para luchar contra los diferentes organismos que compiten con el crecimiento de los cultivos requieren de largos periodos de investigación y de ensayo para obtener las autorizaciones administrativas pertinentes.

La gran apuesta por la consolidación en el sector ha llevado a numerosas compras durante los últimos años con lo que 8 empresas se reparten un porcentaje muy elevado de las ventas mundiales. Liderada por ChemChina, que adquirió a la suiza Syngenta y la israelí Adama, seguida por Bayer CropScience, que también apostó por el crecimiento mediante la compra de Monsanto, y en tercer lugar se posiciona la también alemana BASF. En el listado de mayores empresas se encuentra Corteva, resultado de la integración de Dow, Dupont y Pioneer. El listado se completa con FMC en los Estados Unidos de América, Nufarm en Australia, Sumitomo Chemical en Japón y UPL en la India.

En este ámbito se está avanzado hacia sistemas de control integrado de plagas, con objeto de reducir la aplicación de productos químicos de síntesis. Del adecuado monitoreo de las plagas, de la capacidad de modelizar su desarrollo y determinar el momento óptimo de aplicación, de la reducción de las dosis empleadas y de la mejora de la biodiversidad de los sistemas agrarios va a depender que consigamos una producción cada vez más sostenible, saludable y sin poner en riesgo la disponibilidad de alimentos. Para alcanzar estos objetivos la agricultura de precisión se presenta como una herramienta fundamental y todas las empresas líderes en el sector están realizando un esfuerzo importante para el desarrollo de soluciones.

También es importante la labor que están realizando en este sentido los principales institutos públicos de investigación agraria, las universidades y las nuevas empresas que están surgiendo en el ámbito de los bioproductos.

3.3. Maquinaria agrícola

Una de las principales inversiones que realizan los agricultores para el trabajo en sus explotaciones son las relativas a la maquinaria agrícola, dentro de la cual se incluyen distintos tipos de tractores, cosechadoras y cualquier otro equipamiento que ayuda en la realización de las actividades agrarias.

Se trata igualmente de empresas de ámbito global, con elevadas facturaciones y un gran esfuerzo inversor en I+D+i para generar continuas soluciones cada vez más eficientes.

Al igual que ocurre con los dos grupos anteriormente analizados, las sedes sociales de estas corporaciones se reparten entre Estados Unidos, China y Alemania. El gran líder del sector es John

Deere, seguida por la holandesa CNH Industrial, N.V., Agco Corporation, Claas KGaA mbH, DFAM, Lovol Heavy Industry CO. Ltd. Changfa Group The YTO Gropu Corporation y SDF Farming Technology.

Dada la gran base territorial sobre la que se desarrolla la actividad agraria y la importancia que tiene la adaptación de las prácticas culturales a las particularidades del terreno, la maquinaria agrícola está teniendo un papel fundamental en la implementación de la digitalización. A los tractores, cosechadoras y demás ingenios mecánicos se le están añadiendo sensores, sistemas de visión artificial, GPS, etc. Con objeto de que puedan trabajar cada vez más autónomamente, con la mínima participación humana, aplicando los insumos que van a aprovechar los cultivos y analizando los rendimientos obtenidos en función de las principales variables que pueden afectarles. También están consiguiendo la eliminación de malas hierbas de manera mecánica y la aplicación de fitosanitarios de forma localizada y con el mínimo consumo de productos químicos. Y en breve veremos como muchas de las frutas y hortalizas serán recolectadas automáticamente por robots que trabajan las 24 horas del día y que eligen cada fruto en función de su grado óptimo de maduración.

3.4. Las semillas

El último gran capítulo de gastos para los agricultores lo conforman las semillas agrícolas. Al igual que ha ocurrido con los principales operadores del sector de los agroquímicos, en los últimos años se han llevado a cabo una serie de adquisiciones y fusiones que han llevado a una gran concentración en este sector. Siendo además coincidentes las empresas que desarrollan los agroquímicos y que generan los nuevos materiales vegetales. En este caso, cuatro compañías representan más del 50 % del mercado mundial, estando lideradas por Bayer, seguida por Corteva, Syngenta y Limagrain.

En este sector la aplicación de la digitalización y de las modernas técnicas de gestión de datos e inteligencia artificial están siendo aplicadas para acortar los plazos de obtención de nuevo material vegetal.

Tradicionalmente, los plazos de la mejora genética han sido muy largos, ya que requerían de sucesivos ciclos vitales de la especie a mejorar. Sin embargo, con las nuevas tecnologías de secuenciación genómica, unidos con los algoritmos que permiten asociar determinados genes a las propiedades que se están buscando en las nuevas variedades, se están acortando significativamente los plazos. También los sistemas de cultivo in vitro o en condiciones ambientales totalmente controladas están permitiendo que en un año se puedan desarrollar varios ciclos del cultivo en cuestión.

Hay que tener en cuenta que la biotecnología vegetal aplicada al desarrollo de nuevos materiales es una de las principales herramientas para poder dar respuesta a algunos de los retos que tiene la humanidad para incrementar la producción de alimentos. Adaptar las plantas a condiciones abióticas adversas, como son el aumento de temperaturas, escasez de agua, mayor salinidad, etc., resistencia a plagas y enfermedades y mejora de los rendimientos son algunos de los objetivos a conseguir.

Pero también son un elemento diferencial que puede permitir mejoras competitivas en los mercados, a través de variedades con mejores propiedades organolépticas o con mayores contenidos en componentes bioactivos.

3.5. La alimentación animal

Dentro de la producción ganadera hay una componente que representa un porcentaje claramente mayoritario de los gastos en los que incurren los productores. Los piensos suponen el 61 % del valor de la producción ganadera y el 24 % del total de la producción de la rama agraria.

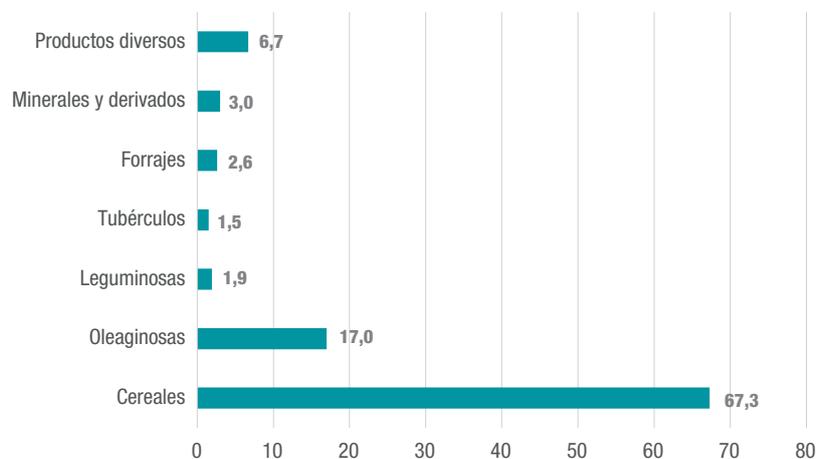
No obstante, frente a la gran concentración empresarial que presentaban los proveedores de tecnologías para la agricultura, en este caso estamos ante una diversidad de oferentes y distintos tipos de materias primas empleadas para su fabricación.

Dentro de las mismas cabe diferenciar las que suponen el mayor volumen de las diferentes fórmulas, entre las que nos encontramos los cereales y las oleaginosas, principalmente, de los complementos nutritivos, que son marginales en cuanto a la cantidad aportada, pero con un valor unitario mucho mayor. Dentro de estos aditivos cabe diferenciar cinco grandes grupos: tecnológicos, organolépticos, nutricionales, zootécnicos y coccidiostatos e histomonostatos.

De los 40 millones de toneladas de piensos que se fabrican en España anualmente, la distribución de las principales materias primas se representa en el Gráfico 6.

Gráfico 6.

Materias primas empleadas en la fabricación de piensos. En porcentaje



Fuente: Cesfac.

Y dentro del sector nos encontramos desde filiales de grandes multinacionales, entre los que destacan Nanta, S.A., y Cargill, a los principales grupos que integran la fabricación de piensos con la producción ganadera, como son Vall Companys, Cefusa, Piensos Costa, Grupo Jorge, Mazana Piensos Compuestos, Corporación Alimentaria Guissona, cooperativas, como Grupo AN, Coren, Agropienso, etc. y pequeñas y medianas empresas de ámbito local.

Dado que la alimentación animal supone el mayor concepto de gasto de las explotaciones de ganaderas, pudiendo superar en algunos casos el 70 % de los mismos, se han desarrollado distintas aplicaciones y sistemas de cálculo para optimizar su aplicación y analizar la respuesta de los animales. De esta forma, los índices de conversión, el diseño de las granjas y la distribución de los animales, los distribuidores de los piensos y otras variables están permanentemente monitorizadas para mejorar la eficiencia en el consumo de los piensos. Reducciones del 10 % en las cantidades empleadas puede suponer la diferencia entre el beneficio o la pérdida de una explotación.

La fuerte integración del sector, ya sea a través de cooperativas, de empresas fabricantes de alimentación animal o de industrias cárnicas está favoreciendo la rápida implantación de programas de gestión integral de las explotaciones.

3.6. Productos veterinarios

El último gran capítulo de los consumos intermedios del sector agrario lo componen los productos veterinarios empleados en la sanidad animal. Aunque no llegan a la magnitud de los fitosanitarios tienen en común con ellos que su desarrollo, producción y comercialización está dominado por grandes corporaciones de ámbito global. Entre las más destacadas cabe señalar a Zoetis, Boehringer Ingelheim Animal Health, MSD Animal Health, Elanco, Idexx Laboratories y Bayer Animal Health.

Su utilización es fundamental para asegurar el control de las enfermedades y evitar tasas de mortalidad que harían inviable la actividad ganadera. Pero su abuso puede generar resistencias y el traslado de las mismas hacia los consumidores. Por este motivo, los sistemas de monitoreo y de aplicación solo en los casos necesarios hacen mejorar su eficacia y aportan claros beneficios para la sociedad.

Por estos motivos, todas las entidades vinculadas con la salud animal están realizando esfuerzos para aplicar las nuevas tecnologías para el control y la aplicación de los productos veterinarios con la mayor precisión posible.

Para finalizar este apartado nos gustaría recordar que los consumos intermedios y las amortizaciones suponen más del 55 % del valor de la producción de la rama agraria española. De una adecuada gestión de todos estos insumos va a depender la rentabilidad y la viabilidad de muchas explotaciones agrarias. Además de la contribución medioambiental que supone el menor consumo de energía, fertilizantes o fitosanitarios.

La agricultura de precisión se presenta como una herramienta que puede ayudar a optimizar los procesos productivos y a mejorar la sostenibilidad.

4. La integración de los productores con las empresas de transformación y comercialización de alimentos

A lo largo de las últimas décadas ha cambiado radicalmente la forma en la que compramos los alimentos. Del comercio de proximidad, en tiendas tradicionales independientes, hemos pasado al claro dominio de las cadenas de distribución que han creado dos formatos principalmente: los hipermercados y los supermercados. Además, estas empresas de distribución se han ido concentrando en grandes grupos de ámbito nacional o internacional.

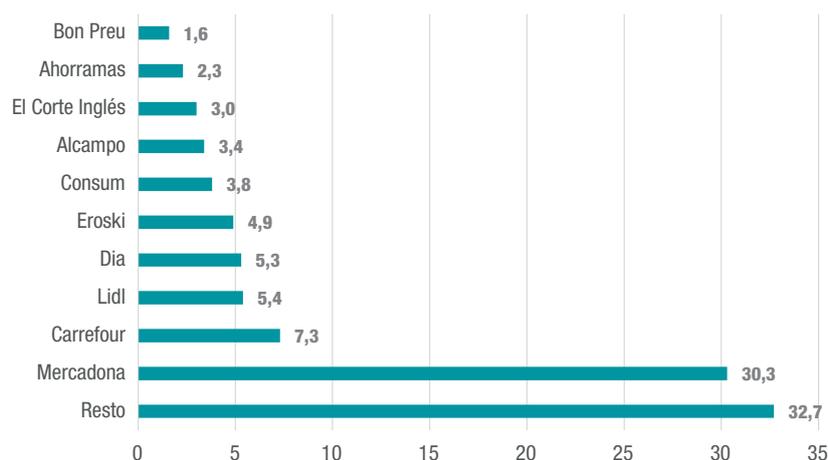
De esta forma nos encontramos que en cada país unas pocas organizaciones concentran una proporción muy elevada de la cuota del mercado alimentario.

En el caso de España la distribución organizada supone más del 75 % de las ventas de alimentos. Repartiéndose el 25 % restante entre las tiendas tradicionales, los comercios especializados, principalmente en productos frescos como son fruterías, pescaderías y carnicerías o en productos ecológicos y gourmets, y cada vez tiene un mayor peso el comercio electrónico, aunque todavía se queda en el 2,3 % de cuota de mercado.

Según la revista *Alimarket*, la facturación de las empresas de distribución alimentaria en España durante el año 2020 fue de 81.000 millones de euros, siendo las principales empresas del sector y la cuota de mercado de cada una de ellas las siguientes:

Gráfico 7.

Cuota de mercado de la distribución alimentaria por operadores (2020). En porcentaje



Fuente: Alimarket.

El número total de operadores que distribuyen alimentos en España está integrado por más de 450 empresas, pero los 10 mayores controlan más del 67 % del mercado, con un claro dominador como es Mercadona. El mercado español se caracteriza por la presencia de un número relevante de distribuidores de carácter regional que cuentan con cuotas relevantes en sus respectivos territorios de actuación.

Esta situación de concentración que presenta el mercado español es si cabe más acusada en la mayor parte de los países europeos. Dándose además la circunstancia que las empresas más grandes trabajan simultáneamente en varios países a la vez.

Los principales grupos de distribución alimentaria en Europa son Lidl, Aldi, Carrefour, Tesco, Rewe Group, Edeka Group, Les Mousquetaires, E. Leclerc, Sainsbury, Auchan, Coop, Migros, Ahold Delhaize, Asda, Metro, etc.

El sector está claramente dominado por las empresas alemanas, que ocupan 4 de los 6 primeros puestos en el ranking europeo y con un claro liderazgo para Lidl, que en 2020 tuvo una facturación de 113 mil millones de euros, frente a los 76 mil millones de Aldi, los 73 mil millones de Carrefour y los 64 mil millones de euros de Tesco.

Frente al continuo crecimiento de estas empresas y el claro dominio que mantienen en la cadena agroalimentaria, las principales industrias de alimentación han tenido que llevar a cabo un proceso de consolidación, mediante el crecimiento orgánico o la adquisición de sociedades, con objeto de conseguir la dimensión adecuada para poder satisfacer la elevada demanda de la gran distribución.

No obstante, la industria alimentaria europea tiene una presencia relativamente modesta entre las grandes empresas del sector global. Entre las 30 principales compañías agroalimentarias solo encontramos nueve que tengan su sede social en Europa.

La mayor empresa mundial es Cargill, con una facturación que supera los 103.600 millones de euros, seguida por Nestlé, PepsiCo y Archer Daniels Midland.

Tabla 3.
Principales industrias agroalimentarias con sede social en Europa

Empresa	Sede	Ventas (Millones €)	Sector
Nestlé	Suiza	83.220	Multiproducto
AB InBev	Bélgica	46.700	Cerveza
Danone	Francia	25.290	Lácteos, agua, nutrición especializada
Heineken	Países Bajos	23.970	Cerveza
Lactalis	Francia	19.960	Lácteos
Unilever	Países Bajos / Reino Unido	19.290	Multiproducto
Diageo	Reino Unido	13.400	Bebidas alcohólicas
Ferrero	Italia	11.400	Repostería
FrieslandCampina	Países Bajos	11.300	Lácteos

Fuente: foodanddrikeurope.

Todo este proceso de consolidación de la cadena agroalimentaria está dirigido principalmente por las empresas de distribución. En poco tiempo se ha llevado a cabo una fuerte concentración de la industria en grupos con carácter también internacional. Y progresivamente se están reduciendo el número de explotaciones agrarias, que cada vez son de mayor dimensión y mantienen una relación estrecha y estable con la industria. La integración entre productores agrarios e industria se está realizando a través de cooperativas o directamente con sociedades mercantiles, adquiriendo ambas partes acuerdos de colaboración a largo plazo.

Estos procesos de integración están facilitando la implementación de nuevas tecnologías y nuevas relaciones que tienen por objetivo mejorar la eficiencia de todos los procesos productivos, mantener una comunicación directa, favorecer la extensión de las mejores prácticas y asegurar la trazabilidad de los alimentos.

Las economías de escala que se obtienen con este tipo de relaciones permiten invertir en el desarrollo de nuevos productos, de nuevas tecnologías y en campañas de comunicación para dar a conocer a los clientes y al consumidor final las ventajas competitivas de los alimentos finales obtenidos.

La digitalización se presenta como una herramienta que facilita el intercambio entre los diferentes agentes de la cadena.

4.1. La integración de la cadena agroalimentaria en España

El sector agroalimentario español está integrado en el mercado europeo y su estructura y funcionamiento está condicionado por las grandes tendencias que se observan en nuestro entorno. Más aún si tenemos en cuenta que una parte muy relevante de nuestra producción está orientada hacia el resto del continente.

No obstante, el sector en España presenta una gran heterogeneidad y nuestras empresas no han llegado a ocupar el puesto que le correspondería en el *ranking* de principales operadores, si nos atenemos a la relevancia del sector agroalimentario español en el ámbito europeo.

Los dos elementos que nos gustaría resaltar son la limitada integración entre las fases de producción y transformación y la reducida dimensión de las cooperativas e industrias alimentarias españolas.

Principales características de la producción agraria y la industria

En España hay unas 945.000 explotaciones agrícolas y ganaderas y unas 31.000 industrias alimentarias. Si realizamos una comparativa con los principales países europeos por su relevancia en la producción de alimentos obtenemos la siguiente tabla.

Tabla 4.
Comparativa de la producción agraria y la industria alimentaria de los principales países europeos

	N.º explotac. agrarias	Valor producción (Mill. €)	N.º industrias	Facturación IAB (Mill. €)	Producción/explotaciones	Facturación/Industria	Fact IAB/Prod. agraria
España	945.020	51.158	31.342	116.900	54.134	3.729.819	2,3
Francia	456.520	73.866	54.260	213.100	161.802	3.927.387	2,9
Alemania	276.120	56.622	28.800	211.100	205.063	7.329.861	3,7
Italia	1.145.710	52.261	56.400	141.300	45.615	2.505.319	2,7
Países Bajos	55.680	27.382	7.038	76.200	491.774	10.826.939	2,8
Reino Unido	185.060	28.233	10.715	119.500	152.561	11.152.590	4,2
Bélgica	36.890	8.939	4.239	54.900	242.315	12.951.168	6,1
Polonia	1.410.700	26.316	16.912	54.600	18.655	3.228.477	2,1

Fuente: Eurostat y Food and Drink Europe.

Tipos de relaciones entre productores y transformadores

El sistema tradicional de integrar la producción con la transformación en España había sido a través de las cooperativas.

Según Cooperativas Agroalimentarias, en España existen 3.669 cooperativas que en el año 2020 facturaron unos 35.000 millones de euros, lo que supone un incremento del 45 % en los últimos diez años.

Estas cooperativas agrupan a un total de 1.150.000 socios, teniendo en cuenta que una misma persona puede ser socia de varias cooperativas dedicadas a sectores diferentes. Y dan empleo a unos 111.000 trabajadores.

El peso que tiene el cooperativismo agroalimentario español en el conjunto del sector está próximo al 25 %, pero con grandes diferencias según sectores. Así su relevancia es importante en aceite de oliva, vino, frutas y hortalizas, cultivos herbáceos y suministros. Sin embargo, se reduce considerablemente para la mayor parte de las producciones ganaderas, solo destacando la actividad láctea y la fabricación de piensos.

Los principales retos a los que se enfrenta el cooperativismo español es conseguir una mayor vertebración, mejorando el valor añadido generado y aumentando la remuneración a los socios, y una mayor integración y colaboración entre cooperativas, para aumentar el tamaño y poder llevar a cabo los procesos de internacionalización y de mejora de su posicionamiento en las cadenas globales de suministro de alimentos.

Aunque durante los últimos años se observa un claro proceso de consolidación de grandes grupos cooperativos de ámbito nacional, todavía su dimensión es muy pequeña en relación con las empresas europeas del mismo tipo.

Tabla 5.
Principales cooperativas agroalimentarias españolas y europeas

Cooperativa	Millones de euros	Cooperativa	Millones de euros
Grupo AN	1.353	BayWa Ag	16.050
Grupo DCOOP	1.114	FrieslandCampina	11.300
Grupo Guissona	1.089	Arla Foods	10.530
Coren	800	Danish Crown	7.570
Central Lechera Asturiana	779	Kerry Group	7.240
Coop. Anecoop	713	DLG	6.500
Covap	620	Agravis Raiffeisen	6.400
Unica Group	348	DMK	5.796
Kaiku/Iparlat	293	Invivo	5.500
Jaencoop	250	Agrial	5.495

Fuente: Cooperativas Agroalimentarias, Copa-Cogeca

Como se puede observar claramente en la tabla anterior la dimensión de las cooperativas españolas está lejos de la alcanzada por los principales grupos europeos.

Esta menor dimensión está probablemente relacionada con el menor peso relativo que tiene el cooperativismo en España frente al alcanzado en los países del centro y el norte de Europa. Así las 2.400 cooperativas francesas facturan 84.400 millones de euros y las 2.024 cooperativas alemanas llegan a 62.100 millones de euros.

Tradicionalmente, el resto del sector agrario que no estaba integrado en cooperativas lo conformaban grandes empresas de producción, que realizaban directamente la comercialización de su producción, o agricultores independientes que vendían en cada momento al mejor postor. Para actuar con este último grupo era básica la figura del intermediario que llevaba a cabo una agrupación de la producción para su posterior suministro a la industria que realizaba la transformación.

Durante los últimos años se está observando un rápido proceso de reestructuración el sector entre estas dos tipologías de productores.

Por un lado, se están consolidando las grandes explotaciones agrarias que mantienen una relación estrecha y permanente con la industria. A veces son las propias industrias y empresas comerciales las que se están constituyendo en grandes productores.

Por otro lado, los pequeños y medianos agricultores sin vinculación estable se están viendo sometidos a las grandes fluctuaciones de los precios en origen y tienen cada vez más dificultades para alcanzar la rentabilidad adecuada.

Otro sistema que se está extendiendo es la integración realizada por la industria alimentaria con sus proveedores de materia prima. En este modelo se asegura un precio que permite mantener una adecuada rentabilidad y se les facilita las últimas tecnologías disponibles en el sector que corresponda. El modelo de integración ha sido característico del porcino español pero progresivamente se va extendiendo a otros sectores, tanto ganaderos como agrícolas. Cada vez es más frecuente en el avícola, en el lácteo y se está imponiendo en cítricos, hortalizas, frutas, olivar y viñedo.

Toda esta integración desde la producción hasta el punto final de venta de los alimentos ha requerido poner en marcha sistemas de comunicación y de transferencia de información que pueden ayudar a mejorar la respuesta de los agricultores, la industria y la distribución, consiguiendo sistemas más eficientes, ágiles y con menor desperdicio alimentario. Ajustando progresivamente la oferta a la demanda de los consumidores y modificando las formas en las que se producen y transforman los alimentos en función de las nuevas tecnologías y de las inquietudes y necesidades de la sociedad.

4.2. Las normas de calidad y la trazabilidad como mecanismo para mantener la uniformidad en el producto final

Los volúmenes cada vez más grandes de alimentos que son transformados y distribuidos por las grandes empresas del sector y la gran diversidad de orígenes, tanto geográficos como de las explotaciones agrarias que los generan, obligaron a desarrollar e implementar unas normas de calidad y unos sistemas de certificación y trazabilidad que permitiesen ofrecer una uniformidad en el producto final. Además de poder identificar cualquier fallo que ocurriese en la cadena de suministro.

Esta inquietud empezó a desarrollarse por las principales cadenas de distribución alimentaria, en muchos casos con la exigencia de la aplicación de las normas particulares desarrolladas por cada una de ellas. Ello generó una cierta confusión y una elevada carga administrativa, por lo que finalmente se han ido unificando en reglas ampliamente aceptadas por los principales agentes del sector.

Actualmente, las principales normas de aseguramiento de la calidad en la cadena alimentaria están basadas sobre diversos criterios, siendo los más importantes los que hacen referencia al aseguramiento integral de fincas, el análisis de peligros y puntos críticos de control, el correcto funcionamiento de las máquinas que procesan los alimentos, la inspección de los productos a lo largo de la cadena y la monitorización de la logística. Dentro de estas normas se destacan algunas como GlobalGAP, BRC, IFS, ISO 22005 y las de producción ecológica, dentro de las cuales destaca la normativa europea transpuesta a los diferentes países y regiones de la Unión Europea.

Para realizar todo este proceso de la manera más eficiente y con el mayor control posible, en un circuito en el que están implicados muchos agentes y a grandes distancias, ha sido necesario desarrollar un potente sistema de información que parte del cuaderno de campo en las explotaciones agrarias y la trazabilidad de los procesos. El posterior análisis masivo de datos y la inteligencia artificial están permitiendo que los sistemas sean cada vez más precisos, eficientes y sostenibles.

4.3. El comercio electrónico de alimentos

Si bien la compra electrónica a través de internet se ha venido generalizando a lo largo de los últimos años, y es algo habitual para muchos productos como la electrónica, los libros, la ropa, el calzado o los viajes, en el caso de la alimentación mostraba un cierto retraso hasta el inicio de la pandemia.

Según el Informe del consumo alimentario en España 2020, del MAPA, en el año 2019 el 1,6 % de las compras de alimentos en los hogares españoles se realizaron a través de internet, subiendo este porcentaje hasta el 2,3 % en 2020. Un crecimiento del 61,5 % en un solo año que vino motivado en gran parte por las restricciones de movimiento provocadas por la covid-19 pero que ha supuesto el inicio de un camino que tenderá a intensificarse en los próximos años. En línea con lo que ocurre en la mayor parte de los países más desarrollados.

Aunque sigue siendo un canal limitado en la compra de alimentos, el hecho más relevante que ha tenido lugar este año ha sido la ruptura de las barreras culturales hacia este tipo de compra. Para algunos productos ya empieza a ser una vía habitual, con unas posibilidades de selección de gama que no era posible disponer en el canal físico. Este ha sido el caso de la compra de vinos, probablemente el producto que está en la punta de lanza. Para otros productos, especialmente los más perecederos todavía exigen la puesta a punto de los sistemas logísticos para acortar los plazos de entrega y poder cubrir la última milla a un coste asumible.

En todo este proceso la velocidad de desarrollo de la tecnología, especialmente la inteligencia artificial, y el surgimiento de nuevos operadores especializados va a suponer una revolución en la cadena logística tradicional.

Uno de los efectos inmediatos que va a tener el desarrollo del comercio electrónico va a ser un aumento del número de operadores en el mercado. Los principales canales van a ser:

- Todas las grandes cadenas de distribución alimentaria han potenciado sus ventas *online* durante 2020 y, en muchos casos, empiezan a ser rentables para la enseña. Según las estimaciones de *Alimarket*, el grupo que lidera este canal en España es Carrefour con unas ventas que alcanzaron el año pasado los 290 millones de euros (M€), seguido por Mercadona (246 M€), El Corte Inglés (175 M€), Dia (121 M€) y Eroski (115 M€).
- Las principales empresas de comercio electrónico como son Amazon y Aliexpress llevan años poniendo a punto los sistemas de distribución de alimentos, incluidos los productos frescos, y cada vez su radio de actuación es más amplio. En este sentido se están estableciendo acuerdos tanto con los productores de alimentos, como distribuidores y con empresas de logística, para aumentar la oferta y para reducir los tiempos de entrega.
- Pero sin lugar a dudas, para quien puede suponer un cambio radical en la forma en la que se relacionan con el cliente final es para las industrias alimentarias. Este modelo les va a permitir la venta directa al consumidor, pero para ello será necesario que pongan a punto sistemas eficientes de gestión de la logística tanto en términos de coste como de agilidad.

5. Preparándose para el futuro: la comunicación directa con el consumidor

La digitalización de la sociedad está permitiendo que los flujos de información sean muchos más sencillos y rápidos y que la comunicación sea más frecuente y que fluya en todos los sentidos.

Se ha mencionado anteriormente la cada vez mayor distancia, espacial y cultural, que existe entre el lugar y la forma en la que se producen los alimentos y el sitio donde se consumen. Muchas veces la población que vive en las ciudades no es consciente del esfuerzo necesario para poder llevar a cabo todo el proceso que va desde la siembra, cultivo, recolección, transformación y hasta el traslado de los alimentos para que estén disponibles todos los días en el lineal de las tiendas de alimentación. Tampoco conocen el esfuerzo que se está realizando para que todos esos procesos se realicen de la manera más sostenible posible. Y no saben que muchas veces el precio que reciben los primeros eslabones de la cadena apenas si permite cubrir los costes de producción.

Al mismo tiempo, casos puntuales y anecdóticos e informaciones transmitidas con un cierto carácter sensacionalista están generando en la sociedad una imagen negativa de determinadas formas de producción agrícola y ganadera, asociándola a determinados problemas ambientales como son la contaminación de acuíferos o los efectos del cambio climático.

Para cambiar esta dinámica es necesario que el propio sector agroalimentario genere canales directos de comunicación con los consumidores, aprovechando las oportunidades que ofrecen las nuevas vías de información como son internet y las redes sociales. De esta forma se conseguiría eliminar la desconfianza y poner en valor todo el esfuerzo y una forma de vida que repercute directamente sobre la calidad de lo que comemos y sobre la salud de la que disfrutamos.

La agricultura y la ganadería emiten gastos de efecto invernadero en sus procesos productivos, pero la gran diferencia que presentan con respecto a todas las demás actividades económicas es que también tienen capacidad de fijar CO₂ de la atmósfera. Además, con la divulgación de nuevas prácticas culturales como son la agricultura de precisión, las cubiertas vegetales y la mejora de la biodiversidad, la lucha biológica contra plagas, la incorporación de los restos vegetales de la poda y los cultivos en el suelo, la aplicación eficiente de los purines y estiércoles, etc. Se mejora considerablemente el efecto mitigador del cambio climático gracias a la agricultura.

Todo este ejercicio de comunicación se puede realizar de manera organizada y en colaboración entre todos los agentes que conforman el sistema agroalimentario o de manera individual por los agricultores y las industrias con inquietudes por mostrar lo que hacen.

Estas campañas de información, realizadas con la solvencia científica adecuada, debería de incluirse en los sistemas educativos, como de hecho ya están haciendo algunos países europeos.

Pero la información no solo debe circular desde el campo hacia la ciudad. También es necesario conocer cuales son las inquietudes y los gustos y deseos de los consumidores. Las empresas deben aprovechar las oportunidades que ofrece la gran información que circula por las redes sociales

para diseñar sus nuevos productos, en función de las expectativas de la sociedad. Las formas de realizar los estudios de mercado y de consultar a los clientes sobre la opinión que tienen de nuestros productos ha cambiado. Ahora todo es más inmediato y un adecuado análisis permite anticiparse a los cambios que se van a producir.

Los algoritmos, la captura masiva de información y la aplicación de las nuevas técnicas de inteligencia artificial será quienes diseñen los alimentos del futuro.

Ciberseguridad y aspectos normativos de la digitalización

1. Introducción

La transformación digital de la actividad empresarial o personal implica el cambio a un medio diferente los procesos que tradicionalmente realizamos en formatos físicos, que son tangibles y que acumulan mucha experiencia. Este cambio implica que mucha de esa experiencia deja de tener validez porque el nuevo medio tiene otro lenguaje, otros actores y otras vías de comunicación.

Estamos familiarizados con el uso de la comunicación digital empresarial gracias a la implantación de internet y su uso masivo. La irrupción en el ámbito privado de las redes sociales hace que las personas utilicen los medios digitales de forma habitual: compras, difusión de aspectos de su vida personal, formación, información a través de aplicaciones móviles o plataformas web que hacen difusa la línea que separa el uso personal y el empresarial de los dispositivos.

Esta situación implica la necesidad de concienciar especialmente sobre los beneficios y riesgos de la transformación de los procesos empresariales al medio digital y aumentar la sensibilización sobre estos últimos.

Este aspecto queda recogido en el Plan de España Digital 2025 del Gobierno de España, que indica «El proceso de Transformación Digital abre enormes oportunidades al desarrollo socioeconómico, pero al mismo tiempo incorpora amenazas y riesgos relacionados con la seguridad digital [...]» (MINECO, 2020).

Básicamente, hay dos actuaciones a realizar para estar alerta y protegernos de los riesgos en el medio digital:

- Concienciación y formación.
- Medidas preventivas y defensivas.

Y no debemos olvidar que el nuevo medio también trae consigo la **legislación aplicable**, que debemos conocer para prepararnos con la mayor seguridad jurídica, además de la digital.

La importancia de la ciberseguridad en las empresas ha llevado al Gobierno de España a la creación del Instituto Nacional de Ciberseguridad (INCIBE) que en su Decálogo ciberseguridad empresas (INCIBE, 2017) hace referencia a los diez aspectos que debe abordar una pyme para una digitalización segura.

A continuación, exploramos la situación específica del sector agroalimentario y las recomendaciones y medidas para abordar una digitalización segura.

2. Riesgos

El nuevo medio trae muchas oportunidades para las empresas y su funcionamiento, ampliando el alcance y el mercado potencial, así como la comunicación directa con el cliente, aprovechando economías de escala, y ayuda a mejorar la eficiencia de los procesos permitiendo mejorar la toma de decisiones basadas en datos y la capacidad de ejecutar, gracias a una mayor optimización y monitorización de todos los aspectos fundamentales del proceso productivo.

Pero esto trae también una serie de riesgos inherentes al medio, ya que aparecen **nuevas vulnerabilidades** por el uso de herramientas *hardware* y *software* y su interconexión, que muchas veces no son conocidas hasta encontrar que ya estaban siendo explotadas por ciberdelincuentes.

El coste de una brecha de seguridad, según el informe global de IBM de 2021 (IBM Security, 2021) ha aumentado un 10 % de 2020 a 2021, suponiendo un coste medio global de 4,24 millones de dólares.

3. Situación en el sector Agroalimentario

Si bien desde diferentes instituciones y organismos públicos como INCIBE ya tienen como encomienda afianzar la confianza digital, elevar la ciberseguridad y la resiliencia y contribuir al mercado digital de manera que se impulse el uso seguro del ciberespacio en España, poniendo además especial foco en las empresas (autónomos y pymes principalmente) y ciudadanos, lo cierto es que la segmentación y sectorización que realizan en estos ámbitos no incluye al sector agro entre ellos.

Por otro lado, tampoco existen estudios sobre el estado de la ciberseguridad en el sector agro.

Es recomendable establecer un programa de acciones para conocer el estado actual en materia de ciberseguridad desde 2 perspectivas distintas:

El conocimiento de las empresas y autónomos sobre ciberseguridad y protección.

El nivel de protección de las empresas e impacto de los ciberincidentes, explotando la información en base a su grado de digitalización y/o tamaño (por ejemplo, autónomo, pyme, gran empresa).

Las técnicas propuestas deben conseguir una alta participación del colectivo/sector, y por ello, deberán combinarse encuestas clásicas como herramientas de autodiagnóstico *online* que proporcione información continua.

3.1. Concienciación y cultura de seguridad en el sector

Con independencia del nivel de madurez, experiencia y/o protección del sector que nos darán las acciones del primer apartado, el usuario final seguirá siempre siendo uno de los eslabones más débiles de la cadena y por ello, en paralelo se puede comenzar a incorporar diferentes píldoras formativas y de concienciación hacia ellos, pues les serán de enorme utilidad y aplicables tanto a nivel profesional (autónomos, pymes) como personal.

Existe ya una base importante de contenido promovida también por INCIBE, que ha creado la Oficina de Seguridad del Internauta (INCIBE, s.f.), y por ello, los esfuerzos deberían concentrarse en focalizar esta concienciación para adecuarse en primer lugar a las necesidades específicas de los servicios ofrecidos a través de Plataforma Tierra, y en segundo lugar al sector agro.

En base a estas premisas, los contenidos y recomendaciones iniciales deberían versar sobre los 4 ámbitos principales siguientes:



Protege tus dispositivos, donde se establezcan unas recomendaciones básicas y buenas prácticas para la protección de los *smartphones*, *tablets* y ordenadores: evitar el *malware* / uso de antivirus, parcheo/actualización de los equipos, instalación y configuración de SW/ *apps*, uso de wifis públicas, etc.



Cuida tu actividad online, donde se establezcan recomendaciones sobre el uso seguro de la navegación web, el correo-e, el uso de redes sociales, y cómo evitar los principales fraudes *online* como *phishing*, *smishing*, etc.



Empleo de contraseñas seguras, para establecer una base y buenas prácticas sobre la creación de contraseñas seguras, cambiarlas periódicamente, uso de doble factor de autenticación (si es posible), y cómo gestionarlas de forma sencilla.



Resguarda tu información y tu privacidad, donde además de proporcionar una formación básica sobre privacidad y protección de datos establezca una serie de consejos y recomendaciones sobre cómo clasificar la información y protegerla (por ejemplo, comunicaciones seguras, *backups*, uso de cifrado, uso de soportes externos/USB, uso de *cloud*, principio de mínima información a proporcionar en cualquier interacción, etc.).

4. La digitalización del sector agroalimentario y la gobernanza del dato

Con la digitalización del sector agroalimentario se consigue el acceso a una cantidad cada vez mayor de datos de cada una de las fases y operaciones involucradas en el proceso productivo. Estos datos recolectados, transferidos, procesados y analizados pueden enriquecer la cadena de valor con decisiones basadas en datos. En este esquema el productor (originador de los datos) es la pieza clave en la recopilación, el tratamiento y la gestión de los datos agrícolas.

El análisis de los datos es una cuestión que hay que realizar en estrecha colaboración con el productor para mejorar el conocimiento y generar beneficio dentro de la cadena de valor. La agricultura digital representa la ocasión para crear valor y oportunidades de negocio a través de las soluciones basadas en datos:

- Realizar un uso más eficiente de los recursos, incrementar la productividad, mejorar los procesos medioambientales, la salud y bienestar animal, proporcionar herramientas para mitigar la huella de carbono y cambio climático.
- Corregir los planes de negocio, adaptarse a los mercados dinámicos y a los gustos y tendencias de los consumidores.
- Reducir los costes administrativos y burocráticos y adopción de políticas basadas en los datos.
- Ofrecer, mejores y más prosperas condiciones de vida para las comunidades rurales.

La agricultura digital es generadora de datos, el intercambio de esos datos entre todas las partes interesadas debe realizarse con arreglo a normas justas y transparentes, para aprovechar todos los posibles beneficios que puedan reportar su uso.

El intercambio de datos no intencionados, poco claro y desinformados puede perjudicar a los productores de los datos y a la cadena de valor (por ejemplo, uso inapropiado de datos sensibles, prácticas comerciales desleales, violación del derecho legítimo a la propiedad intelectual). Esto hace que los productores puedan ser reacios a la digitalización o a compartir sus datos. Para evitar este escenario, es necesario que los sistemas de gobernanza de datos deben proporcionar a las partes implicadas los mecanismos para generar valor y al mismo tiempo confianza en las tecnologías digitales, para ello es necesario encontrar un equilibrio entre protección de la privacidad de los productores, la seguridad de los datos agrícolas y los intereses económicos de todas las partes interesadas.

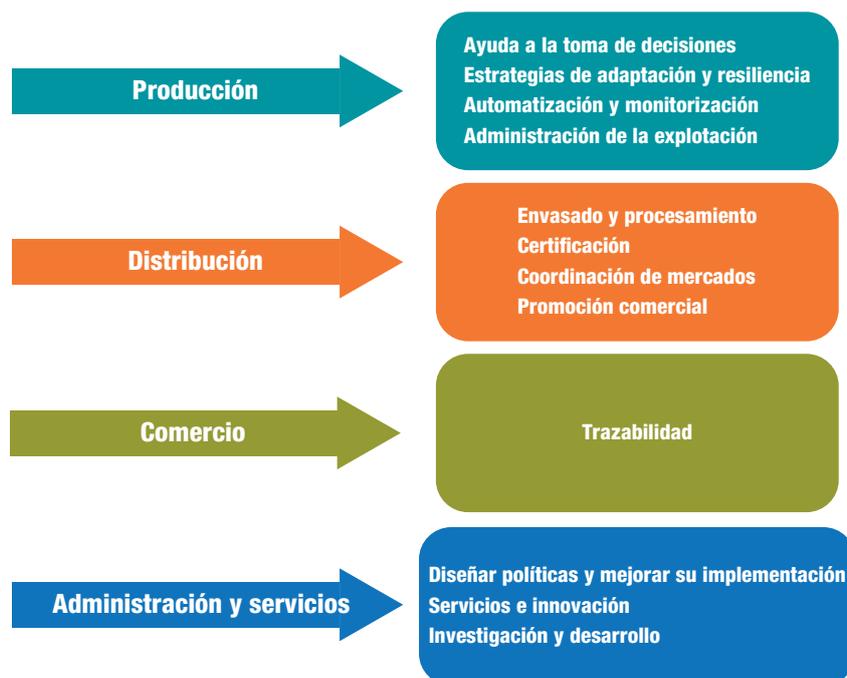
4.1. Valor del dato

Los datos agrícolas y su uso para la toma de decisiones y automatización de procesos son el núcleo de la transformación digital del sistema agroalimentario.

Los datos son específicos y muy diversos, incluyen información sobre animales, producciones, datos agronómicos y de tierras, datos climáticos, datos de la maquinaria, datos financieros y datos administrativos y de gestión. Algunos de estos datos estarían dentro de la categoría de datos personales, datos delicados o información confidencial desde el punto de vista de muchas agroindustrias que prestan servicios/equipos para actividades agrícolas. Por lo tanto, los datos agrarios revisten una importancia económica tanto para los productores como para toda la cadena de valor y es esencial que se incorporen las medidas de seguridad necesarias.

En la explotación agrícola (*capa de producción*) los datos pueden ser analizados para generar información y conocimientos que apoyen a los productores en su toma de decisiones y gestión de sus operaciones culturales (Figura 1). Esto incluye el uso de insumos agrícolas de manera más precisa. La capacidad de prever la aparición de plagas o fenómenos meteorológicos y adoptar las medidas adaptativas para minorar los riesgos, la automatización de tareas y una administración más eficiente.

Figura 1.
Valor de los datos agrícolas para el sector agroalimentario



En el ámbito de la *distribución* o cadenas de valor agroalimentarias nacionales e internacionales, la capacidad de acceder y compartir datos agrícolas puede respaldar transacciones más eficientes, facilitar el comercio, los procesos aduaneros y reducir las restricciones tradicionales al comercio, demostrar el cumplimiento de la normativa, así como los requisitos sanitarios y fitosanitarios, apoyar el intercambio rápido y eficaz de la documentación de aduanas. Facilitar la trazabilidad y transparencia del producto agrícola para diferenciar los productos y beneficiarse de mejores precios.

Los datos agrícolas también tienen importancia comercial y son un recurso valioso para proveedores de insumos y servicios agrícolas, para propósitos de investigación y desarrollo de nuevos servicios. El aumento de la disponibilidad de datos puede fomentar nuevos tipos de colaboración vertical (por ejemplo, entre fabricantes de maquinaria y desarrolladoras de *software*), proporcionar nuevos productos y servicios adaptados a las necesidades del productor.

Desde el punto de vista de la administración la capacidad de acceder y procesar los datos agrícolas puede mejorar el diseño, la implementación y seguimiento de las políticas agrícolas para el sector productor. Las administraciones también pueden aprovechar esa información para el desarrollo de políticas del lado de la demanda, estimulando sistemas alimentarios más saludables y medioambientalmente más sostenibles.

5. Marco regulatorio

En la actualidad está en trámite la Ley de Gobernanza de Datos que establecerá unos mecanismos sólidos que facilitarán la reutilización de determinadas categorías de datos protegidos del sector público, aumentará la confianza en los servicios de intermediación de datos y fomentará la cesión altruista de datos en toda la UE.

Es un componente importante de la Estrategia de Datos, que tiene por objeto reforzar la economía de los datos, aumentar la riqueza y el bienestar y otorgar a Europa una ventaja competitiva en beneficio de sus ciudadanos y empresas.

Una de las novedades de la nueva ley es un marco para el fomento de un nuevo modelo empresarial «los servicios de intermediación de datos» que ofrecerá un entorno seguro en el que las empresas y los particulares puedan compartir sus datos.

Hasta la llegada de la Ley de Gobernanza de Datos, las normas más importantes son las siguientes:

El 25 mayo de 2018 entró en vigor el Reglamento General de Protección de Datos (RGPD o GDPR) Reglamento (UE) 2019/679. El reglamento unifica y moderniza la normativa europea sobre protección de datos, permitiendo a los ciudadanos un mayor control de sus datos personales y a las empresas aprovechar al máximo las oportunidades de un mercado único digital, reduciendo la burocracia y beneficiándose de una mayor confianza de los consumidores.

Entre las medidas de reforma de la protección de datos adoptadas por la UE se incluye la Directiva (UE) 2016/680 sobre la protección de los datos personales tratados para fines policiales y judiciales en el ámbito penal.

El 7 de diciembre entró en vigor la Ley Orgánica 3/18 de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales, que deroga la Ley Orgánica 15/1999 de Protección de Datos de Carácter Personal y adapta el ordenamiento jurídico español al Reglamento (UE) 2019/679.

Los datos que no permiten identificar una persona se consideran no personales y en este caso la normativa aplicable es la del Reglamento (UE) 2018/1807 sobre la libre circulación de datos no personales en la Unión Europea.

Este reglamento regula la libre circulación de datos no personales en el ámbito comunitario, frente a la aplicación inmediata de nuevas tecnologías como la inteligencia artificial, el 5G o el internet de las cosas, con el objeto de conseguir un mercado único digital que contribuya al desarrollo del potencial de la «economía de los datos».

Entre las novedades que aporta este Reglamento figuran:

- *Prohibición de restricciones a la localización de datos:* el Reglamento establece medidas destinadas a eliminar obstáculos, tanto técnicos como jurídicos, a la libre circulación de datos no personales (como por ejemplo aquellos generados en el internet de la cosas o la inteligencia artificial) entre Estados miembros de la UE, y prohíbe estos establecer restricciones o requisitos de localización de datos en su normativa, salvo cuando así se justifique por razones de seguridad pública.
- *Disponibilidad de los datos para las autoridades competentes:* las autoridades competentes en los Estados miembros tendrán acceso a los datos, para fines de supervisión, incluso cuando estén ubicados en otro país.
- *Portabilidad de los datos:* el Reglamento persigue que los usuarios profesionales puedan cambiar fácilmente de proveedor de servicios en la nube o transferir los datos a sus propios sistemas de información. Para ello favorece la autorregulación en el ámbito de la portabilidad de datos, fomentando que proveedores y usuarios desarrollen conjuntamente códigos de conducta en la UE.

Dichos códigos de conducta deben definir un conjunto de buenas prácticas y la información detallada, clara y transparente que los proveedores deben proporcionar a sus usuarios antes de que se celebre un contrato.

5.1. Legislación aplicable

Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos y por el que se deroga la Directiva 95/46/CE (Reglamento general de protección de datos).

Directiva (UE) 2016/680 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016, relativa a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales por parte de las autoridades competentes para fines de prevención, investigación, detección o enjuiciamiento de infracciones penales o de ejecución de sanciones penales, y de la libre circulación de dichos datos y por la que se deroga la Decisión Marco 2008/977/JAI del Consejo.

Reglamento (UE) 2018/1807 del Parlamento Europeo y del Consejo de 14 de noviembre de 2018 relativo a un marco para libre circulación de datos no personales en la Unión Europea.

Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales.

Directiva (UE) 2019/1024 del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de junio de 2019 relativa a los datos abiertos y la reutilización de la información del sector público.

Reglamento (CE) 593/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de junio de 2008, sobre la ley aplicable a las obligaciones contractuales.

Directiva 96/9/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de marzo de 1996, sobre la protección jurídica de las bases de datos.

Directiva (UE) 2016/943 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de junio de 2016, relativa a la protección de los conocimientos técnicos y la información empresarial no divulgados (secretos comerciales) contra su obtención, utilización y revelación ilícitas.

Directiva 2004/48/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de abril de 2004, relativa al respecto de los derechos de propiedad intelectual.

Reglamento (CE) 2100/94 del Consejo de 27 de julio de 1994, relativo a la protección comunitaria de las obtenciones vegetales.

Reglamento (UE) 2016/1012 del Parlamento Europeo y del Consejo de 8 de junio de 2016, relativo a las condiciones zootécnicas y genealógicas para la cría, el comercio y la entrada en la Unión de animales reproductores de raza pura, porcinos reproductores híbridos y su material reproductivo, y por el que se modifican el Reglamento (UE) nº 652/2014 y las Directivas 89/608/CEE y 90/425/CEE del Consejo y se derogan determinados actos en el ámbito de la cría animal («Reglamento sobre cría animal»).

5.2. Tipos de datos

Según Reglamento (UE) 2016/679 define los *datos personales*, toda la información sobre una persona física identificada o identificable («el interesado»); se considerará persona física identificable toda persona cuya identidad pueda determinarse, directa o indirectamente, en particular mediante un identificador, como por ejemplo un nombre, un número de identificación, datos de localización, un identificador en línea o uno o varios elementos propios de la identidad física, fisiológica, genética, psíquica, económica, cultural o social de dicha persona.

Ejemplos de datos personales:

- Nombre y apellidos.

- Domicilio.
- Dirección de correo electrónico, del tipo nombre.apellido@empresa.com.
- Número de documento nacional de identidad.
- Datos de localización (como los datos de la función de localización de un teléfono móvil).
- Dirección de protocolo de internet (IP).
- Identificadores de cookies.
- Identificadores de publicidad para el móvil.
- Datos en poder de un hospital o médico, que podrían ser un símbolo que identificara de forma única a una persona.

Con la digitalización el volumen de datos a los que se tiene acceso se intercambia o se usan crece de un modo exponencial y no todos los datos son o pueden ser considerados como datos personales, tenemos como contrapartida a los mismos los *datos no personales*. Pero, ¿qué son los datos no personales? Según el Reglamento (UE) 2018/1807, son los datos electrónicos que no puede ser asociados a una persona física identificada o identificable.

En consecuencia, el internet de las cosas, la inteligencia artificial y el aprendizaje automático representan las principales fuentes de datos no personales.

Entre los ejemplos específicos de datos no personales se encuentran los conjuntos de datos agregados y anonimizados utilizados para análisis de datos a gran escala, los datos sobre agricultura de precisión que pueden ayudar a controlar y optimizar la utilización de plaguicidas y de agua, o los datos sobre las necesidades de mantenimiento de máquinas agrícolas o industriales.

Típicamente, estos enormes conjuntos de datos no personales se almacenan y procesan a través de proveedores de servicios de nube o *cloud*.

El Reglamento (UE) 2018/1807 no obliga a almacenar los datos personales separados de los no personales, en tales casos tenemos conjuntos de *datos mixtos*. En los conjuntos de datos mixtos, el Reglamento (UE) 2018/1807 se aplicará a los datos no personales y el RGPD a los personales. Cuando los datos de un conjunto estén inextricablemente ligados, se aplicará el Reglamento UE 2018/1807 sin perjuicio del el Reglamento (UE) 2016/679.

5.3. Códigos de conducta

Los códigos de conducta se recogen en el artículo 40 del Reglamento (UE) 2016/679. Los códigos de conducta voluntarios son una relación de normas escritas que describen cómo se aconseja que se

comporten las partes interesadas de un sector o empresa en particular. En el sector agrícola, estos códigos de conducta se han desarrollado en relación con el uso de datos agrícolas para establecer normas voluntarias y modelos de gobernanza más allá de la legislación oficial y fomentar las mejores prácticas en la gestión de datos agrícolas.

En Europa tenemos el *Código de conducta de la UE sobre el intercambio de datos agrarios por acuerdo contractual*, este código se centra en los datos no personales, es facultativo y busca proteger al usuario generador de los datos y racionalizar su uso optimizar la producción. Este código ha sido confeccionado por COPA-COGECA, CEMA (Asociación Europea de Fabricantes Maquinaria) y CEJA (Consejo Europeo de Jóvenes Agricultores) entre otros. Los principios que se desarrollan en este código de conducta son los siguientes:

- *Atribución de los derechos subyacentes para derivar datos* (también designado como propiedad de los datos). La persona o empresa que produce los datos es el dueño de ellos mismos y decide si se comparten o no y cómo.
- *Acceso a los datos, control y portabilidad*. La recolección, acceso, almacenamiento y el uso de los datos solo puede darse cuando el propietario u originador de los datos concede de un modo explícito su autorización a través de un acuerdo contractual.
- *Protección de datos transparencia*. Es necesario que se disponga de un protocolo de protección de datos, este deberá incluir que los datos aparezcan encriptados y bajo seudónimo, y accesibles solo para aquellos con autorización.
- *Privacidad y seguridad*. Al usuario propietario del dato se le debe asegurar que no serán utilizados de forma desleal o fraudulenta y se debe mantener el acceso a sus datos.
- *Responsabilidad y derechos de propiedad intelectual*. El usuario propietario de los datos se compromete a que la información que proporciona es completa y exacta dentro de su conocimiento.

Los códigos de conducta serán vinculantes para quienes se adhieran a los mismos. En dichos códigos podrán dotarse de mecanismos de resolución extrajudicial de conflictos.

Los códigos de conducta serán aprobados por la Agencia Española de Protección de Datos o, en su caso por la autoridad autonómica de protección de datos competente.

El objetivo último que persiguen los códigos de conducta es romper con el desequilibrio de información que existe entre el proveedor de servicios de tecnología agrícola y los productores o agricultores y ayudar a estos últimos a comprender el valor de sus datos y a que decidan libremente si comparten, cómo y cuándo.

5.4. Cooperativas de datos

Recientemente las cooperativas también han surgido para dar respuesta a las preocupaciones de los productores en el uso de las tecnologías digitales en la agricultura y fundamentalmente en la gestión de los datos. Las ventajas que ofrece una cooperativa de datos para los productores son:

- Un mayor control sobre los datos de los miembros de la cooperativa y una posición de poder en las relaciones contractuales con otras partes de la cadena de valor interesadas en los datos o en la negociación de contratos, acuerdos de intercambio de datos entre productores y proveedores tecnológicos de servicios de agricultura de digital.
- Las Cooperativas de datos pueden actuar como plataformas para facilitar servicios a los productores, análisis de datos avanzados, índices de referencia, compartir conocimientos o permitir que los miembros comparen datos.
- Distribuir el valor generado con el uso de los datos entre los miembros que apoyan el desarrollo de la plataforma con sus datos.
- Pueden facilitar el desarrollo de productos y servicios de creación de valor centrado en las características y necesidades de los productores.
- La gobernanza de los datos incluye las normas que rigen como se gestionan y comparten los datos de la cooperativa con terceros, ya sea a cambio de un pago u otros servicios.
- Pueden contribuir a educar a los miembros en la importancia de los datos y valor de los mismos.

Las cooperativas de datos también pueden ser un modelo interesante de desarrollo de bases de datos útil para la administración o la investigación.

El único aspecto crítico es el de la *confidencialidad de los datos* que puede desanimar a muchos productores de compartir datos de su explotación.

Posiblemente más que crear nuevas cooperativas, las cooperativas ya existentes inicien o potencien estos servicios como una parte estratégica de la misma con interesantes repercusiones a medio y corto plazo.

5.5. Datos abiertos

Las administraciones recopilan, seleccionan y mantienen cantidades importantes de datos agrícolas que son de interés para investigadores, el sector privado e incluso para productores. Por tanto, existe un interés creciente en aprovechar las tecnologías digitales para facilitar el acceso a estos datos a través de la figura «datos abiertos».

En Europa es la Directiva (UE) 2019/1024 relativa a los datos abiertos y la reutilización de la información del sector público. Parte del hecho de que la información del sector público es una fuente extraordinaria de datos que pueden contribuir a mejorar el mercado único y al desarrollo de nuevas aplicaciones para los consumidores y las personas jurídicas, pudiendo tener el empleo inteligente de los datos, incluido su tratamiento a través de aplicaciones de inteligencia artificial, un efecto transformador en todos los sectores de la economía.

Con el fin de fomentar el uso de datos abiertos y estimular la innovación de los productos y servicios, el texto incorpora un conjunto de normas mínimas que regulan la reutilización y los dispositivos prácticos destinados a facilitar la reutilización de:

- a. Los documentos existentes conservados por organismos del sector público de los Estados miembros.
- b. Los documentos conservados por empresas públicas Los datos de públicas que lleven su actividad en los ámbitos definidos en la Directiva 2014/25/UE, (agua, energía, transportes y servicios postales) o que actúen como operadores de servicio público con arreglo al artículo 2 del Reglamento (CE) nº 1370/2007; o como compañías aéreas que cumplen obligaciones de servicio público con arreglo al artículo 16 del Reglamento (CE) nº 1008/2008, o como armadores comunitarios que cumplen obligaciones de servicio público con arreglo al artículo 4 del Reglamento (CEE) nº 3577/92.
- c. Los datos de investigación financiados públicamente.

El acceso abierto a los datos facilita que cualquier entidad incluidos los productores, los investigadores, empresas de diferentes tamaños y otras partes interesadas de la cadena de valor agroalimentaria, tengan acceso a los datos en condiciones iguales y no discriminatorias facilitando el desarrollo de más y mejores servicios para los productores.

La Ley de Gobernanza de Datos en trámite, hará que resulte más fácil para los particulares y las empresas ceder datos voluntariamente por el bien común, como por ejemplo proyectos de investigación en medicina.

Las entidades que traten de recopilar datos con fines de interés general pueden solicitar su inscripción en un registro nacional de organizaciones reconocidas de gestión de datos con fines altruistas. Las organizaciones inscritas en el registro estarán reconocidas en toda la UE. De este modo se generará la confianza necesaria en la cesión altruista de datos, lo que animará tanto a los particulares como a las empresas a ceder sus datos a tales organizaciones de forma que puedan servir para el bien social general.

Si una organización desea ser reconocida como organización de gestión de datos con fines altruistas en el marco de la Ley de Gobernanza de Datos, tendrá que cumplir un código normativo específico.

Modelos de observatorios digitales

1. Modelos de observatorios digitales en diferentes sectores económicos

Como sucede en el sector agroalimentario, toda la industria está experimentando una rápida transformación digital. A continuación, se recogen diversos ejemplos de observatorios tecnológicos que participan en el proceso de transformación digital de otros sectores estratégicos (Tabla 1).

Tabla 1.
Observatorios tecnológicos identificados

	Nombre	Especialización
1	About DIVA - Project Diva	Digitalización en pymes
2	Accueil	Desarrollo rural
3	Atlas Tecnológico	Digitalización en empresas
4	Danish AgroTech	Digitalización de <i>startups</i>
5	Desira – Digitisation: Economic and Social Impacts on Rural Areas	Digitalización en el medio rural
6	Digital Innovation Observatories	General
7	GIP Digital Watch Observatory	Políticas y gobernanza de internet
8	Global Open Data for Agriculture and Nutrition (GODAN)	Gestión de datos
9	International Observatory on the Societal Impacts of and Digital Technology	Políticas públicas
10	ITC – Innovation Technology Cluster	Innovación y tecnología
11	Observatoire Numérique Nouvelle-Calédonie	General
12	Observatorio 4.0	Industria - Metal
13	Observatorio de la Industria 4.0	Industria - Energía
14	Observatorio Europeo de Medios Digitales (EDMO)	Medios digitales
15	Observatorio Europeo de Políticas y Sistemas de Salud	Salud pública
16	Observatorio Regional de Desarrollo Digital	TIC
17	Observatorio TIC - ITI	TIC
18	Observatorios Digitalización Financiera FUNCAS	Bancario
19	Observatorios Tecnológicos CTAEX	Agroalimentario
20	Observatory of Public Sector Innovation (OPSI)	Políticas públicas
21	Soil Observatory for Intelligent Use Management (SIEUOIL)	Suelo agrícola

About DIVA - Project Diva

	Especialización	Redes sociales
	Digitalización en pymes	Twitter: @EU_ProjectDIVA (536 Seguidores) LinkedIn: EU Project DIVA (457 seguidores)
Inicio y naturaleza	2018 - Pública	
Acceso a servicios	Acceso abierto	
Descripción	Tiene como objetivo brindar apoyo al surgimiento y desarrollo de nuevas cadenas de valor de digitalización industrial con aplicaciones en los sectores agroalimentario, forestal y medioambiental. La atención se centra en los mercados digitales, <i>big data</i> , nube, robótica e inteligencia artificial, sistemas ciberfísicos, internet de las cosas y componentes digitales / electrónicos / fotónicos	
Contenidos y actividades	<ul style="list-style-type: none"> Fomentar colaboraciones en torno a modelos comerciales conjuntos Mediación entre pymes y potenciales clientes Identificación de inversores de valor añadido para acelerar su crecimiento Apoya a las pymes en la oferta de servicios y productos a escala europea para reforzar su posición en el mercado de la UE Recopilan casos de éxito Lista y mapeo de pymes apoyadas 	
Miembros	El consorcio del proyecto DIVA está compuesto por 10 socios de 6 países (Francia, España, Portugal, Italia, Grecia, Irlanda).	
Recursos	Comisión Europea	

Accueil

	Especialización	Localización	Redes sociales
	Desarrollo rural	Francia	No tiene RRSS propias Emplea las RRSS de @INRAE_France (40,3 mil seguidores)
Inicio y naturaleza	2009 - Pública		
Acceso a servicios	Acceso restringido a los usuarios y socios		
Descripción	El Observatorio de Desarrollo Rural es un centro de recursos sobre políticas y sistemas agrícolas dirigido a quienes participan en el seguimiento y evaluación de políticas públicas (desarrollo rural) e investigación (agronomía, ciencias del desarrollo)		
Contenidos y actividades	<ul style="list-style-type: none"> El Observatorio da acceso a información e indicadores sobre la evolución de la agricultura (empleo, estructuras, prácticas y producción) y la economía del medio rural, políticas agrarias y rurales, agroambiente y señales de calidad Desarrolla y aplica enfoques de modelado econométrico espacial en el marco de programas de investigación nacionales e internacionales Elaboración de informes y mapas para facilitar la toma de decisión en campo 		
Comunidades creadas en torno al observatorio	Se basa en un sistema de información de múltiples socios, creado y administrado por la Unidad de Servicio ODR del INRAE		
Miembros	El US-ODR está adscrito al Departamento de EcoSocio del INRAE y está etiquetado como Infraestructura Científica Colectiva (ISC)		
Recursos	En 2015, se firmó un acuerdo único, que reúne a todos los socios de las redes que forman la ODR: ASP, Ministerio de Agricultura (DGPE y SG), INRAE, el Ministerio de Ecología (CGDD), la CCMSA para la Red de Empleo y el INAO para la Red de Calidad		
Otros temas de interés	También alberga un «Observatorio de Empleo Agrícola y Rural» gestionado en asociación con el Fondo Central de Mutualidad Agropecuaria Social (MSA) y un «Observatorio de productos bajo etiquetas de calidad», gestionado en asociación con el instituto nacional de etiquetas de calidad (INAO)		

Atlas Tecnológico

	Especialización	Localización	Redes sociales
	Digitalización en empresas	España	Twitter: @AtlasTec (896 seguidores) LinkedIn: Atlas Tecnológico (2.399 seguidores)
Inicio y naturaleza	2020 - Privada		
Acceso a servicios	El acceso es privado		
Descripción	Es una plataforma donde conectar con los agentes que generan innovación en los sectores de la industria 4.0		
Contenidos y actividades	<ul style="list-style-type: none"> Ofrece un mapa de capacidades tecnológicas e industriales de España (cuenta con más de 2.000 empresas registradas vinculadas al uso de tecnologías) y facilitan que las empresas contacten entre sí También ofrecen información sobre proyectos destacados o temas de actualidad. Las empresas socias pueden beneficiarse de: <ul style="list-style-type: none"> Acceso a documentación e informes elaborados por el equipo técnico de Atlas Tecnológico Acceso a formación específica y condiciones especiales para eventos organizados por el propio atlas 		
Comunidades creadas en torno al observatorio	Su objetivo es precisamente generar una red de empresas que generan sinergias entre sí para fomentar negocio vinculada a la digitalización		
Recursos	Privados		

Danish AgroTech

	Especialización	Redes sociales
	Digitalización de startups	LinkedIn: Digital Hub Denmark (6.935 seguidores)
Inicio y naturaleza	2018 - Pública y Privada	
Acceso a servicios	Acceso público, pero es obligatorio registrarse	
Descripción	Su misión es hacer de Dinamarca un socio digital elegible. Se centra en nuevas tecnologías digitales como la inteligencia artificial, internet de las cosas, <i>big data</i> y transferencia en temas de herramientas digitales. Han integrado en una página web toda la estructura de transformación digital de los diferentes sectores económicos	
Contenidos y actividades	<ul style="list-style-type: none"> Conecta startups con inversores, expertos o empresas con más experiencia Ofrece un blog con artículos de actualidad Organiza eventos, concursos y premios para empresas e inversores Tiene un programa de formación de startups seleccionadas 	
Comunidades creadas en torno al observatorio	Empresas privadas, investigadores, emprendedores tecnológicos y estudiantes en el desarrollo de nuevos productos, servicios y modelos de negocio	
Miembros	IBM Denmark, Finance Denmark, The Danish Chamber of Commerce, The Trade Council, etc.	
Recursos	Públicos	

Desira – Digitisation: Economic and Social Impacts on Rural Areas

	Especialización	Redes sociales
	Digitalización en el medio rural	Twitter: @DesiraH2020 (976 seguidores) LinkedIn: DESIRA H2020 (213 seguidores)
Inicio y naturaleza	2019 - Pública	
Acceso a servicios	Acceso abierto, previo registro	
Descripción	El objetivo es mejorar la capacidad de la sociedad y asesorar a los tomadores de decisión para responder a los desafíos que genera la digitalización en las zonas rurales, la agricultura y la silvicultura en los próximos diez años	
Contenidos y actividades	<ul style="list-style-type: none"> Fomentan un «Foro de Digitalización Rural» para discutir cómo las políticas podrían abordar las oportunidades y desafíos de la digitalización (por ahora recopilan los eventos y publicaciones de terceros en torno a la digitalización en la UE) Alimentar una biblioteca pública de artículos sobre digitalización (enfoque académico) Ofrecen un depósito (biblioteca digital en abierto) con informes y artículos de seguimiento y evaluación del impacto socioeconómico de la digitalización en las zonas rurales (también recopilan trabajos de terceros). Publican <i>newsletter</i> sobre sus avances Publicación de una guía de buenas prácticas sobre la digitalización donde recogen casos prácticos y un mapeo de iniciativas 	
Recursos	Comisión Europea	

Digital Innovation Observatories

	Especialización	Localización	Redes sociales
	General	Italia	Twitter: @Osserv_Digital (15,8 mil seguidores) LinkedIn: Osservatori Digital Innovation (46.022 seguidores)
Inicio y naturaleza	2014 - Pública		
Acceso a servicios	Servicio mixto. Combina el acceso gratuito, previo registro; y de pago		
Descripción	Promueven actividades en torno a la innovación digital con un enfoque holístico Tiene un apartado específico de agroalimentación inteligente y otro de la sostenibilidad en la producción de alimentos		
Contenidos y actividades	<ul style="list-style-type: none"> Elaboran <i>newsletter</i>, gráficos interactivos con tendencias e infografías sobre temas clave para la digitalización (para recibirla hay que registrarte) Recopilan casos de negocio Ofrecen programas de formación compuestos por <i>workshops</i>, <i>webinars</i> y servicio de consultoría Realizan eventos y convenciones 		
Comunidades creadas en torno al observatorio	Se apoyan sobre los profesores del Universidad Politécnica de Milán y trabaja en la creación de redes de crecimiento profesional enfocadas al alumnado		
Financiación	Universidad Politécnica de Milán		
Otros temas de interés	Trabajan mucho en la creación de comunidades y seguidores en RRSS		

GIP Digital Watch Observatory (Geneva Internet Platform)

	Especialización	Localización	Redes sociales
	Políticas y gobernanza de internet	Suiza	No tiene RRSS
Inicio y naturaleza	1998 - Pública		
Acceso a servicios	Acceso público		
Descripción	Es un barómetro de tendencias de digitalización y políticas asociadas. Aborda todos los ámbitos de la digitalización: tecnológicos, económicos y sociales		
Contenidos y actividades	<ul style="list-style-type: none"> • Elabora informes sobre políticas digitales, temas de interés general y los actores implicados • Formación • Organiza eventos propios • Publican newsletter con sus actividades • Ofrece recursos y noticias relacionados: convenciones y leyes, instrumentos de política, libros y publicaciones, papeles académicos, actas de congresos, estudios e informes; artículos, editoriales y entrevistas, multimedia, kits de herramientas, enlaces útiles 		
Recursos	Gobiernos de Suiza y Malta		

Global Open Data for Agriculture and Nutrition (GODAN)

	Especialización	Redes sociales
	Gestión de datos	Twitter: @godanSec (6.511 seguidores) LinkedIn: GODAN Secretariat (907 seguidores)
Inicio y naturaleza	2013 – Pública y Privada	
Acceso a servicios	Acceso abierto	
Descripción	Es una red de datos en abierto para favorecer el intercambio de información sobre agricultura y nutrición y para hacer frente al desafío urgente de garantizar la seguridad alimentaria mundial. La iniciativa nace como resultado de la conferencia internacional sobre datos abiertos para la agricultura del G8 en 2013	
Contenidos y actividades	<ul style="list-style-type: none"> • La iniciativa se centra en asesorar gobiernos (cargos de alto nivel), responsables de la formulación de políticas, las organizaciones internacionales y empresas • Manejan grandes volúmenes de datos generados por las nuevas tecnologías para resolver problemas, beneficiar a los agricultores y velar por la salud de los consumidores • Ofrecen guías para la elaboración de políticas y gestión de datos • Establecen protocolos para el almacenamiento de datos de libre acceso • Realizan webinars y cursos de formación (en varios idiomas) • Recopilan casos de éxito • Tienen publicaciones sobre la accesibilidad de los datos en cada país y región 	
Comunidades creadas en torno al observatorio	Actualmente, cuenta con más de 800 socios de gobiernos nacionales, organizaciones no gubernamentales, internacionales y del sector privado que se han comprometido a una declaración de propósito conjunta	
Miembros	Trabajan mucho la colaboración y el trabajo en red, funcionan por comisiones de trabajo por temáticas	
Recursos	Departamento de Agricultura del Gobierno de los Estados Unidos, Departamento de Desarrollo Internacional del Reino Unido (DfID), Gobierno de Países Bajos, Instituto de Datos Abiertos, ONU, FAO, CTA, CAB International, CGIAR y GFAR	

International Observatory on The Societal Impacts of and digital Technology

	Especialización	Localización	Redes sociales
	Políticas públicas	Canadá	Twitter: @ObservatoireIA (1.581 seguidores) LinkedIn: Observatoire international sur les impacts sociétaux de l'IA et du numérique (OBVIA) (1.510 seguidores)
Inicio y naturaleza	2019 - Pública		
Acceso a servicios	Abierto		
Descripción	Es una red de investigación abierta		
Contenidos y actividades	<ul style="list-style-type: none"> Aborda actividades vinculadas con la digitalización sobre todos los sectores económicos. Tiene la misión principal de sensibilizar sobre la importancia de la digitalización a la ciudadanía Realiza una evaluación de políticas públicas (apoyo científico y analítico a los tomadores de decisiones públicos) Investigación por convocatorias de proyectos innovadores (en particular a través de un programa de becas para apoyar a jóvenes) Vigilancia científica y estratégica sobre los datos trabajo disponibles dentro y fuera del Observatorio Proporciona apoyo para facilitar el debate público y las consultas a gran escala 		
Comunidades creadas en torno al observatorio	Por un lado, busca reunir talento investigador con experiencia y por otro lado tiene la estrategia de generar debate sobre la ciudadanía		
Miembros	Es una red de investigación que reúne la experiencia de 260 investigadores de 18 universidades e instituciones nacionales e internacionales.		
Recursos	Recibe fondos públicos (principalmente del Gobierno de Canadá)		
Otros temas de interés	Ofrecen un programa de becas para apoyar a cualquier persona que se destaque por la calidad de su trabajo, desde la universidad hasta el posdoctorado, a emprender o realizar actividades de investigación		

ITC – Innovation Technology Cluster

	Especialización	Redes sociales
	Gestión de datos	Twitter: @godanSec (6.511 seguidores) LinkedIn: GODAN Secretariat (907 seguidores)
Inicio y naturaleza	2013 - Pública y Privada	
Acceso a servicios	El mapa es de acceso público, pero para acceder al resto de servicios se necesita registro o asociarse	
Descripción	El clúster ofrece una ventana única que proporciona servicios de transformación digital a diversos agentes (agricultores, asociaciones de agricultores, productores de alimentos, actores de la cadena de suministro de alimentos, proveedores de soluciones)	
Contenidos y actividades	<ul style="list-style-type: none"> • Es un buscador de contactos en materia de digitalización por toda Europa • Mapa de contactos del Agrifood digital Innovation Hub. Este mapa interactivo reúne proyectos, redes, <i>living labs</i>, <i>startups</i>, DIHs, y organizaciones. La información que facilita es una breve descripción, el contacto, localización. Y una lista de servicios y productos (el mapa cuenta con la opción de autoregistrado) • GREEN POINT es una cadena corta de suministro de alimentos, que involucra a más de 100 agricultores locales, productores de alimentos y cooperativas, cubriendo el proceso de producción en invernaderos y campos al aire libre, con logística de propio centro de distribución • FARM MANAGER es una plataforma de planificación empresarial y agregación de datos para agricultores y productores de alimentos, basada en un servicio electrónico integral que permite a los productores desarrollar planes de producción agrícola y cría de animales (no parece tener contenido actualmente) 	
Comunidades creadas en torno al observatorio	Uno de los objetivos del clúster es servir como punto de encuentro de una comunidad de empresas agroalimentarias	

Observatoire Numérique Nouvelle-Calédonie

	Especialización	Localización	Redes sociales
	General	Nueva Caledonia	Twitter: @ObsNumNC (140 seguidores) LinkedIn: Observatoire Numérique Nouvelle-Calédonie (1.796 seguidores)
Inicio y naturaleza	2012 - Pública		
Acceso a servicios	Acceso abierto		
Descripción	Tiene la misión de apoyar a los actores locales en el análisis y el desarrollo de herramientas de apoyo en la toma de decisiones en campo para el desarrollo de TIC, particularmente vinculadas a internet, telefonía (fijo, móvil) y multimedia		
Contenidos y actividades	<ul style="list-style-type: none"> • Elabora informes de diagnóstico e investigación • Celebra talleres y conferencias • También promueve la sinergia de actores locales interesadas con miras a estructurar el sector y alianzas innovadoras • Ofrecen un servicio de seguimiento del avance de la digitalización en Nueva Caledonia 		
Comunidades creadas en torno al observatorio	Trabaja con un enfoque local para la comunidad de Nueva Caledonia		
Miembros	La asociación se rige por un gobierno organizado por 7 consejeros elegidos y la asamblea general formada por todos los miembros. Los miembros son: ANFR, Axians, OPT NC, Canal + Calédonie, Province des Îles, UNC y Gobierno de Nueva Caledonia (miembro fundador)		
Recursos	Lleva a cabo sus acciones y proyectos gracias a los aportes de sus socios institucionales, privados y representantes de la sociedad civil, pero principalmente se financia a través de la Administración Pública		

Observatorio 4.0

	Especialización	Localización	Redes sociales
	Industrial - Metal	España	No tiene RRSS
Inicio y naturaleza	2017 - Pública		
Acceso a servicios	Acceso abierto		
Descripción	Nace con el fin de detectar y comunicar los avances tecnológicos y sus posibilidades para: 1) mantener permanentemente actualizado el Vademécum I4.0 y 2) impulsar e integrar la innovación constante en las empresas		
Contenidos y actividades	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación, selección y recopilación de herramientas digitales • Ofrece un Vademécum de tecnologías industriales • Acceso e información sobre ayudas disponibles y convocatorias públicas abiertas 		
Comunidades creadas en torno al observatorio	No se registra actividad en torno a la creación de una comunidad, pero se dirigen al sector metalmeccánico en la Comunidad Valenciana		
Miembros	Es una iniciativa de FEMEVAL en colaboración con AIDIMME, ITE y VALMETAL		
Recursos	Cuenta con la subvención de la Generalitat Valenciana y el Instituto Tecnológico de la Energía (ITE)		
Otros temas de interés	Está dentro de la iniciativa Valencia Industria Conectada		

Observatorio de la Industria 4.0

	Especialización	Localización	Redes sociales
	Industrial - Energía	España	Twitter: @Observatorio40 (953 seguidores) LinkedIn: Observatorio Industria 4.0 (2.765 seguidores)
Inicio y naturaleza	2015 - Privada		
Acceso a servicios	Acceso público		
Descripción	El observatorio nace principalmente con el objetivo de ser foro de intercambio de ideas y experiencias. Está integrado por profesionales de varios sectores industriales		
Contenidos y actividades	<ul style="list-style-type: none"> • Publicación de boletines e informes con temas de actualidad • Celebración de seminarios temáticos con enfoque industrial • Premios: «Impulso de la industria conectada» (convocatoria anual) • Colección accesible de informes y artículos sobre digitalización industrial • Acceso a los webinars celebrados a través de su canal en YouTube: Observatorio Industria 4.0 - YouTube 		
Comunidades creadas en torno al observatorio	Grupo de empresas que colaboran de manera frecuente. No trabajan la creación de una comunidad en concreto		
Miembros	<ul style="list-style-type: none"> • Patronos: Fujitsu, SAP y Group IPS (además cuenta con comité de honor) • Colaboradores: Everis, Club Excelencia en Gestión, Advanced Factories, Centro Español de Logística 		

Observatorio Europeo de Medios Digitales (EDMO)

	Especialización	Localización	Redes sociales
	Medios digitales	Italia	Twitter: @EDMO_EUI (2.242 Seguidores)
Inicio y naturaleza	2019 - Pública		
Acceso a servicios	Acceso público		
Descripción	Tiene por objeto combatir la desinformación en los medios digitales. Para ello han buscado la creación de una comunidad con todos los que trabajan en estos temas y les dan servicios		
Contenidos y actividades	<ul style="list-style-type: none"> • Mapear las organizaciones europeas de verificación de datos para promover actividades con ellas • Mapear y coordinar las actividades de investigación sobre desinformación. Ha lanzado 8 <i>hubs</i> para desarrollar actividades de investigación en este tema • Apoyo a las autoridades en el seguimiento de las políticas implementadas por las plataformas <i>online</i> para limitar la propagación y el impacto de la desinformación • Eventos <i>online</i> para explicar su labor • Plataforma con herramientas que oferta servicios a los miembros de su comunidad 		
Comunidades creadas en torno al observatorio	Han creado una comunidad de especialistas en chequear la veracidad de los datos que se publican en los medios		
Recursos	Comisión Europea		
Otros temas de interés	Tienen que reportar a la UE por sus actividades		

Observatorio Europeo de Políticas y Sistemas de Salud

	Especialización	Redes sociales
	Salud pública	Twitter: @OBShealth (7.717 Seguidores)
Inicio y naturaleza	1998 - Pública	
Acceso a servicios	Acceso público	
Descripción	Asociación que genera información sobre los sistemas públicos de salud pública como apoyo a los tomadores de decisiones	
Contenidos y actividades	<ul style="list-style-type: none"> • Monitorizan los sistemas de salud de los países utilizando sistemas homogéneos • Analizan y comparan los sistemas de salud y sus resultados • Tienen una serie de publicaciones derivadas de cada una de sus actividades • Realizan eventos relacionados con sus actividades: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Webinar</i> • Congresos • Informan a los países que lo solicitan sobre sus actividades 	
Comunidades creadas en torno al observatorio	No han creado comunidad, más allá de los suscritos a su newsletter	
Recursos	Financiación de la OMS y UE	

Observatorio Regional de Desarrollo Digital

	Especialización	Redes sociales
	TIC Salud pública	No tiene RRSS Se apoya en las RRSS de @cepal_onu (468,9 mil Seguidores)
Inicio y naturaleza	2021 - Pública	
Acceso a servicios	Acceso abierto	
Descripción	El objetivo principal de este proyecto es desarrollar métricas para comprender la dinámica de la digitalización en América Latina y el Caribe, y brindar pautas para su uso en la formulación de políticas para cerrar las brechas estructurales de productividad y de inclusión social, mediante el desarrollo digital	
Contenidos y actividades	<ul style="list-style-type: none"> • Eventos, publicaciones y productos analíticos • Ofrecen un servicio de newsletter vinculado al CEPAL • Ofertan cursos <i>online</i> para promover la digitalización en empresas 	
Comunidades creadas en torno al observatorio	No crean comunidades	
Recursos	Han desarrollado varias actividades financiadas por la Cooperación alemana (BMZ)	

Observatorio TIC - ITI

	Especialización	Localización	Redes sociales
	TIC	España	No tiene RRSS propias Se apoya en las RRSS de @ITI_TIC (2.673 Seguidores)
Inicio y naturaleza	1994 - Privado		
Acceso a servicios	Acceso restringido a socios o clientes. Sin embargo, existe una versión reducida de acceso libre		
Descripción	Es un observatorio tecnológico creado por un centro tecnológico privado para hacer vigilancia tecnológica y vender servicios de información, investigación e innovación al sector privado y participar en proyectos públicos de investigación		
Contenidos y actividades	<ul style="list-style-type: none"> • Solo para asociados <ul style="list-style-type: none"> • Boletín TIC y de oportunidades de negocio • Tienen una alerta de ayudas y subvenciones • Elaboran informes especializados • Publican informes, noticias y legislación relacionada con TIC. Son de instituciones internacionales • Ponen a disposición de los clientes y asociados la posibilidad de dar a conocer lanzamientos y tecnologías, para incluirlos en su boletín TIC • Ayudan a buscar información especializada en el ámbito TIC • Montan servicios de vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva 		
Recursos	<ul style="list-style-type: none"> • Son propios del ITI 		

Observatorio Digitalización Financiera de FUNCAS

	Especialización	Localización	Redes sociales
	Bancario	España	LinkedIn: Observatorio de la Digitalización Financiera (ODFFuncas) (639 seguidores)
Inicio y naturaleza	2013 - Privado		
Acceso a servicios	Acceso público		
Descripción	Es un punto de encuentro para compartir información sobre la evolución de la digitalización en el negocio bancario		
Contenidos y actividades	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboran informes al año propios sobre temas específicos y newsletters • Publican un barómetro de la digitalización, basado en una encuesta, con la opinión de la oferta (204 ejecutivos) y la demanda (2000 clientes) • Celebran eventos propios • Difusión de publicaciones externas 		
Recursos	Financiación por Funcas		
Otros temas de interés	Es una actividad dentro del área de Investigación financiera y de digitalización de FUNCAS		

Observatorios Tecnológicos CTAEX

	Especialización	Localización	Redes sociales
	Agroalimentario	España	No tiene RRSS propias Emplea las RRSS de @CTAEX_CIT (2.701 Seguidores)
Inicio y naturaleza	2018 - Público		
Acceso a servicios	Acceso público		
Descripción	Tienen un observatorio tecnológico para cada sector agroalimentario: digitalización, cooperativismo, producción ecológica, etc.		
Contenidos y actividades	<ul style="list-style-type: none"> • No tienen eventos propios. Recogen eventos organizados por terceros • Informan sobre actividades y publicaciones de terceros • Publican patentes relacionadas con digitalización, legislación, ayudas, normativa (normas ISO e IFS), ofertas de negocio y propuestas empresariales 		
Comunidades creadas en torno al observatorio	No crean comunidades		
Recursos	Junta de Extremadura		
Otros temas de interés	Es una actividad que se recoge bajo marco de acción del Centro Tecnológico Nacional Agroalimentario en Extremadura		

Observatory of Public Sector Innovation (OPSI)

	Especialización	Localización	Redes sociales
	Políticas públicas	Francia	Twitter: @OPSIgov (7.556 Seguidores)
Inicio y naturaleza	2013 - Público		
Acceso a servicios	Acceso público, aunque hay zonas de acceso limitado		
Descripción	Desarrolla proyectos y describe casos de innovación en las políticas públicas, como ejemplos para los países de la OCDE y terceros		
Contenidos y actividades	<ul style="list-style-type: none"> Han creado una base de datos de casos de estudio, de políticas públicas innovadoras, que se proponen y describen por miembros de la comunidad. Lanzan proyectos entre los miembros de su comunidad para intercambiar, testar ideas y desarrollar políticas innovadoras en diferentes campos. Las ideas nacen de su comunidad Publican informes relacionados con las tendencias en políticas innovadoras, herramientas y casos de estudio Elabora una <i>newsletter</i> Tienen una plataforma en la que se pueden subir herramientas de innovación: piden la URL para que la plataforma la incluya en su base de datos 		
Comunidades creadas en torno al observatorio	Han creado una comunidad de Puntos Nacionales de Contacto, que son los que supervisan lo que se hace en los países e informan de lo que ocurre allí Han creado una comunidad de gestores, líderes e interesados en las políticas públicas. Hay derecho de admisión, los interesados deben explicar su CV		
Recursos	Comisión Europea		
Otros temas de interés	Versiones Web en diferentes idiomas		

Soil Observatory for Intelligent Use Management (SIEUOIL)

	Especialización	Localización	Redes sociales
	Suelo agrícola	Grecia	Twitter: @sieuosoil (403 Seguidores) Grupo en LinkedIn: SIEUOIL (186 miembros)
Inicio y naturaleza	2019 - Público		
Acceso a servicios	Acceso público, aunque hay una Intranet de acceso limitado a un DropBox		
Descripción	Plataforma de investigación relacionada con un proyecto de investigación EU-China		
Contenidos y actividades	<ul style="list-style-type: none"> Publican noticias, <i>newsletter</i> y documentos de interés, Comunican <i>links</i> a recursos de interés en materia de suelos: bases de datos, aplicaciones, mapas, documentos, artículos científicos, otros proyectos de investigación, vídeos, etc. 		
Recursos	Comisión Europea		
Otros temas de interés	Accesible en griego, castellano e inglés		

Referencias bibliográficas

ABELLÁN-GÓMEZ, J. (2005): «Desarrollo de Internet y progresos en materias de e-contenidos»; *Vida Rural* 212; pp. 23-27.

ABELLÁN-PÉREZ, J. (2004): «Agricultura, mundo rural y sociedad de la información»; *Vida Rural* 192; pp. 21-23.

ACUITEC (2022): «Alimentador péndulo»; en: <https://www.acuitec.es/es/acuicultura/producto/59-alimentador-pendolo> (acceso en febrero de 2022).

AGFUNDER (2022): «Agrifoodtech investment Report»; en: <https://agfunder.com/research/2021-AgFunder-agrifoodtech-investment-report/> (acceso en marzo de 2022).

AGTECH INSIGHT (2021): «AgTech Insight»; en: <https://www.agtechinsight.com/> (acceso en noviembre 2021).

AHDB AND CATAPULT SATELLITE APPLICATION (2022): «Satellite for agriculture»; en: <https://ahdb.org.uk/knowledge-library/satellites-for-agriculture> (acceso en abril 2022).

AICHNER, T.; GRÜNFELDER, M.; MAURER, O. y JEGENI, D. (2020): «Twenty-Five Years of Social Media: A Review of Social Media Applications and Definitions from 1994 to 2019»; *Cyberpsychology, Behavior and Social Networking* 24(4); pp. 215-222.

ANDREU, A.; CARPINTERO, E. y GONZÁLEZ-DUGO, M. P. (2021): «Teledetección para la agricultura»; en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjUucjogdf3AhX0hv0HHQEQBloQFnoECBUQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.juntadeandalucia.es%2Fagriculturaypesca%2Fifapa%2Fservifapa%2Fregistro-servifapa%2Fbdac6055-21a9-4dd7-8cba-06a3e9d67873%2Fdownload&usg=A0vVaw1A1LyfGZuFtjYjy-C9UkyJ2> (acceso en abril de 2022).

ANSELIN, L.; BONGIOVANNI, R. y LOWENBERG-DEBOER, J. (2004): «A spatial econometric approach to the economics of site-specific nitrogen management in corn production»; *American Journal of Agricultural Economics* 86(3); pp. 675-687.

ARNÓ-SATORRA, J. y MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A. (2017): «¿Qué nos dicen los sensores sobre los cultivos?»; *New Ag International*; pp. 16-20.

ASAJA (2019): *Estudio sobre las necesidades de digitalización del sector agrario. Transformación Digital*.

ASUNCIÓN-SAURA, M. (1994): «Antes de comprar su ordenador, busque y compare»; *Vida Rural* 7; pp. 35.

AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL360 (2022): «Historia de la automatización industrial»; en: <https://automatizacionindustrial360.com/historia/> (acceso en febrero de 2022).

AYDIN, A. (2021): «Novel Technologies and Automation Systems In Livestock Farms»; *Archives of Animal Husbandry & Dairy Science* 2; pp. 1-6.

BACCO, M.; BARSOCCI, P.; BRUNERI, G. y DEBRUINE, L. (2020): «Synthesis report on the taxonomy and inventory of digital game changers»; en EU Project DESIRA: *assesing Socio-economic impacts of digitization of agriculture and rural áreas*; en: www.desira2020.eu (acceso en noviembre de 2021).

BADIA, N.; ARNÓ, J. y MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A. (2017): «Using Sentinel-2 images to implement Precision Agriculture techniques in large arable fields: First results of a case study»; *Advances in Animal Biosciences* 8(2); pp. 377-382.

BANCO MUNDIAL (2021): «Promedio detallado de precipitaciones (mm anuales)»; en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/AG.LND.PRPC.MM> (acceso en noviembre de 2021).

BANSOD, B.; SINGH, R.; THAKUR, R. y SINGHAL, G. (2017): «A comparison between satellite based and drone based remote sensing technology to achieve sustainable development: a review»; *Journal of Agriculture and Environment for International Development (JAEID)* 111(2); pp. 383-407.

BATANERO, F. (1994): «La maquinaria agrícola en España»; *Vida Rural* 6; pp. 40.

BECERRA, E. I. (2017): *La web 2.0 en las empresas agroalimentarias. Un modelo explicativo de sus antecedentes y consecuencias*.

BEN, R. y HANANA, M. (2021): «Artificial Intelligence to Improve the Food and Agriculture Sector»; *Journal of Food Quality* 5584754; pp. 1-7.

BENJAMIN, M. y YIK, S. (2019): «Precision Livestock Farming in Swine Welfare: A Review for Swine Practitioners»; *Animals* 31; pp. 133.

BERCKMANS, D. y NORTON, T. (2016): «Ganadería de precisión: ejemplos para aves»; *Selecciones avícolas*; pp. 6-11.

BERNAT, C. (1999): «Agricultura de precisión: aplicar las últimas tecnologías al campo»; *Vida Rural* 89; pp. 27-29.

BERNAT-JUANÓS, C. (2000): «La agricultura de precisión: de la teoría a la aplicación real»; *Vida Rural* 109; pp. 27-29.

BIG DUTCHMAN (2022): «La startup avícola Faromatics, especializada en la fabricación de robots para granjas de pollos, adquirida por la multinacional AGCO»; en: <https://avicultura.com/la-startup-avicola-faromatics-especializada-en-la-fabricacion-de-robots-para-granjas-de-pollos-adquirida-por-la-multinacional-agco/> (acceso en febrero de 2022).

BIG DUTCHMAN (2022): «Sistemas de recolección de huevos»; en: <https://www.bigdutchman.es/es/manejo-de-gallinas-ponedoras/productos/detail/sistemas-de-recoleccion-de-huevos/> (acceso en febrero de 2022).

BLASCO, R.; BARRERA-FRANCÉS, J.; LARRINZAR-GALDÁMEZ, J. L.; CASAS, R. y ZARAZAGA-SORIA, F. J. (2018): «Seguimiento y control de la cabaña extensiva mediante el uso de sensores no intrusivos para maximizar la rentabilidad de las explotaciones ganaderas»; en: <https://www.esmartcity.es/comunicaciones/comunicacion-seguimiento-control-cabana-extensiva-mediante-uso-sensores-no-intrusivos-para-maximizar-rentabilidad-explotaciones-ganaderas> (acceso en febrero de 2022).

BOTTANI, E., y VIGNALI, G. (2019): «Augmented reality technology in the manufacturing industry: A review of the last decade»; *Iise Transactions* 51(3); pp. 284-310.

BOVITIME (2022): «BOViFLAG»; en: <http://bovitime.com/es/productos/boviflag/> (acceso en febrero de 2022).

BOYER, C. N.; BRORSEN, B.W. y SOLIE, J. B. (2011): «Profitability of variable rate nitrogen application in wheat production»; *Precision Agriculture* 12; pp. 473-487.

CABRERO-SOPENA, R. (2011): «Agricultura de precisión: ¿verdad o humo?»; *Agricultura* 940; pp. 350-354.

CASTAÑO, A. (2022): «Crece la robótica industrial en España: el 40 % la usa»; en: <https://www.extrasoft.es/robotica-industrial-en-espana/> (acceso en febrero de 2022).

CELADA, J. M. (1997): «Agricultura de precisión y precisión en la agricultura»; *Vida Rural* 51; pp. 28-31.

CEMA (2021): «Código de Conducta de la UE sobre el intercambio de datos agrarios por acuerdo contractual»; en: https://www.cema-agri.org/images/publications/brochures/EU_Code_of_conduct_2019_Spanish_version.PDF (acceso en noviembre de 2021).

CHEN, L.; ZHU, H. y HORTS, L. (2021): «Management of Pest Insects and Plant Diseases in Fruit and Nursery Production with Laser-guided Variable-rate Sprayers»; *HortScience* 56; pp. 94-100.

CHI, M.; PLAZA, A. y BENEDIKTSSON, J. A. (2016): «Big Data for Remote Sensing: Challenges and Opportunities»; *Proceedings of the IEEE* 104(11); pp. 2207-2219.

CHU, H.; YANG, H. y SUN, L. (2020): «4D Printing: A Review on Recent Progresses»; *Micromachines* 11(796); pp. 1-30.

CHUI, M.; MANYIKA, J. Y.; MIREMADI, N.; HENKE, N.; CHUNG, R.; Nel, P. y MAHOTRA, S. (2018): *Notes from the AI Frontier Insights from hundreds of cases.*

COMISIÓN EUROPEA (2017): *Bright Farm by Precision Livestock Farming.*

COMISIÓN EUROPEA (2018): «Un Pacto Verde Europeo»; en: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_es (acceso en marzo de 2022).

COMISIÓN EUROPEA (2019): «Una Europa Adaptada a la Era Digital»; en: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age_es (acceso en marzo de 2022).

COMISIÓN EUROPEA (2020): «Estrategia «de la Granja a la Mesa» para un sistema alimentario justo, saludable y respetuoso con el medio ambiente»; en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:4494870> (acceso en noviembre de 2021).

COMISIÓN EUROPEA (2020): «Una Estrategia Europea de Datos»; en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:52020DC0066> (acceso en marzo de 2022).

COMISIÓN EUROPEA (2020): «White Paper on Artificial Intelligence: a European approach to excellence and trust»; en: https://ec.europa.eu/info/publications/white-paper-artificial-intelligence-european-approach-excellence-and-trust_en (acceso en marzo de 2022).

COMISIÓN EUROPEA (2020): *European enterprise survey on the use of technologies based on artificial intelligence.*

COMISIÓN EUROPEA (2021): «The Digital Europe Programme»; en: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/activities/digital-programme> (acceso en marzo de 2022).

COMISIÓN EUROPEA (2021): «Un sistema de vigilancia en establos para ayudar a los ganaderos»; en: <https://cordis.europa.eu/article/id/169524-spy-in-the-cow-shed-aids-farmers/es> (acceso en febrero de 2022).

COMISIÓN EUROPEA (2021); «Configurar el futuro digital de Europa»; en: [https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM\(2020\)67&lang=es](https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM(2020)67&lang=es) (acceso en marzo de 2022).

COMISIÓN EUROPEA (2022): «Índice de la Economía y la Sociedad Digitales (DESI) 2021»; en: https://administracionelectronica.gob.es/pae_Home/pae_OBSAE/Posicionamiento-Internacional/Comision_Europea_OBSAE/Indice-de-Economia-y-Sociedad-Digital-DESI-.html (acceso en marzo de 2022).

COMPUTER (2020): «Octopus, el robot autónomo que limpia las granjas de pollos»; en: <https://computerhoy.com/noticias/tecnologia/octopus-robot-autonomo-limpia-granjas-pollos-719547> (acceso en febrero de 2020).

CONSEJO EUROPEO (2021): «Promover el intercambio de datos: La Presidencia llega a un acuerdo con el Parlamento sobre la Ley de Gobernanza de Datos»; en: <https://www.consilium.europa.eu/es/press/press-releases/2021/11/30/promoting-data-sharing-presidency-reaches-deal-with-parliament-on-data-governance-act/> (acceso en noviembre de 2021).

CONSEJO EUROPEO (2021): «Protección de datos en la UE»; <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/data-protection-reform/> (acceso en noviembre de 2021).

CONTEXTOGANADERO (2021): «El INTA desarrolla una «balanza inteligente» para conocer estado de las vacas»; en: <https://www.contextoganadero.com/internacional/el-inta-desarrolla-una-balanza-inteligente-para-conocer-estado-de-las-vacas> (acceso en febrero de 2022).

COOPERATIVAS AGROALIMENTARIAS DE ESPAÑA (2019): «El cooperativismo agroalimentario Macromagnitudes del Cooperativismo Agroalimentario Español»; en: https://www.google.com/l?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj2zr mJypD3AhVniPOHHVMjB6gQFnoECAwQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.agro-alimentarias.coop%2Fficheros%2Fdoc%2F05375.pdf&usq=A0vVaw2-__70Zo8Plw8p3J3cWK9i (acceso en noviembre de 2021).

COPERNICUS (2022): «Copernicus»; en: <https://copernicusservicing.com/> (acceso en abril 2022).

CORNEJO-VELÁZQUEZ, E.; ROMERO-TREJO, H. y CLAVEL-MAQUEDA, M. (2020): «Use of unmanned aerial vehicles (UAV) as an innovation in agricultura»; *African Journal of Agricultural Research* 16(12); pp. 1665-1673.

CROFTON, E.C.; BOTINESTEAN, C.; FENELON, M. y GALLAGHER, E. (2019): «Potential applications for virtual and augmented reality technologies in sensory science»; *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 56; pp. 102178.

DAOBILIGE, S.; YONGLIANG, Q.; KONG, H. y SUKKARIEH, S. (2021): «Real time detection of inter-row ryegrass in wheat farms using deep learning»; *Biosystems Engineering* 204; pp. 198-211.

DATA COMEX (2021): «Estadísticas de comercio exterior de bienes de España y la UE»; en: <https://datacomex.comercio.es/> (acceso en noviembre de 2021).

DATOS.GOB.ES (2021): «Edge computing y su importancia en la gestión de datos en tiempo real»; en: <https://datos.gob.es/es/blog/edge-computing-y-su-importancia-en-la-gestion-de-datos-en-tiempo-real> (acceso en noviembre de 2021).

DELGADO, M. (2000): «El MIMAM ofrece información meteorológica gratuita vía Internet»; *Vida Rural* 107; pp. 26-27.

DELOITTE (2020): «Logística de Última Milla. Retos y soluciones en España»; en: <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/operations/articles/logistica-de-ultima-milla.html> (acceso en abril de 2022).

DESIRA (2021): «Evaluación del impacto socioeconómico de la digitalización en las zonas rurales»; en: www.desira2020.eu (acceso en noviembre de 2021).

DÍAZ, R. (2019): «Drones y robots para el control de plagas y la predicción de las cosechas»; en: www.aenverde.es (acceso en noviembre de 2021).

DOMÍNGUEZ, A. (2004): «Nuevas tecnologías: la revolución en el medio agrario y rural»; *Vida Rural* 200; pp. 160-167.

DOMÍNGUEZ-VIVANCOS, A. (1994): «La mejora de la gestión agraria»; *Vida Rural* 7; pp. 42-44.

DOMÍNGUEZ-VIVANCOS, A. (2004): «Visión global de la gestión de la explotación agraria y rural»; *Vida Rural* 192; pp. 24-28.

DOT.LA (2022): «Will Apple-Picking Robots Save Agriculture-Or Ruin Farm Workers?»; en: <https://dot.la/wavemaker-labs-abundant-robots-2656637976.html> (acceso en febrero de 2022).

DOUGHTY, A. (2020): *Final Report. Supply chain for the 21st Century in Australia*.

DUIN, S.V. y BAKHSHI, N. (2017): «Part 1: Artificial Intelligence Defined»; en: <https://www2.deloitte.com/se/sv/pages/technology/articles/part1-artificial-intelligence-defined.html> (acceso en noviembre de 2021).

DUONG, L.N.K.; AL-FADHLI, M. y JAGTAP, S. (2020): «A review of robotics and autonomous systems in the food industry: From the supply chains perspective»; *Trends in Food Science and Technology* 106; pp. 355-364.

EASTWOOD, C.R.; EDWARDS, J.P. y TURNER, J.A. (2021): «Anticipating alternative trajectories for responsible Agriculture 4.0 innovation in livestock systems»; *Animal* 15; pp. 1-11.

EIT-FOOD (2020): «Agro Robots. Which Robots Actually Work On Farms?»; en: <https://www.foodunfolded.com/article/agro-robots-which-robots-actually-work-on-farms> (acceso en febrero de 2022).

EOS (2021): «Teledetección Satelital: Tipos, Usos y Aplicaciones»; en: <https://eos.com/es/blog/teledeteccion/> (acceso en abril 2022).

ETXEHOTZ (2021): «Sistema de limpieza: catálogo de arrobaderas»; en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiD_KT4vtX3AhUP11UKHRowBJwQFnoECAoQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.etxeholz.net%2Fwp-content%2Fuploads%2F2018%2F09%2FETxeHolz-Catalogo-Arrobaderas-2018_Baja.pdf&usq=A0vVaw0GskBysxQSV4MB5DxcW5mn (acceso en febrero de 2022).

EUROPEAN PARLIAMENT (2015): «Industry 4.0 Digitalisation for productivity and growth» en: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI\(2015\)568337_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI(2015)568337_EN.pdf) (acceso en noviembre de 2021).

EUROPEAN PARLIAMENT (2016): «Precision agriculture and the future of farming in Europe» en: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/581892/EPRS_STU\(2016\)581892_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/581892/EPRS_STU(2016)581892_EN.pdf) (acceso en noviembre de 2021).

EUROSTAT (2016): «Oficina Europea de estadística de la Comisión Europea»; en: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/agriculture/data/database> (acceso en noviembre de 2021).

FAO (2019): *E-agriculture in Action: Big Data for Agriculture*.

FAO (2020): *Digital technology and agricultural markets-Background paper for The State of Agricultural Commodity Markets (SOCO) 2020*.

FERNÁNDEZ, E. F. (2002): «Programas informáticos al servicio de la gestión agraria»; *Vida Rural* 156; pp. 36-37.

FERNÁNDEZ, M. (2019): «El Internet de las Granjas»; *Vaca pinta* 8; pp. 154-161.

FERNÁNDEZ-QUINTANILLAS, C. (2003): «Factores influyentes en la aplicación de la AP en España»; *Vida Rural* 172; pp. 26-28.

FLORES, F.; SCHEIFLER, M. A. y ZABALO, F. (1986): «La política industrial en España»; *Ekonomiaz* 3; pp. 135-155.

FORTUNA, F. y RISSO, M. (2019): «Blockchain Technology in the Food Industry»; *Symphonya Emerging Issues in Management* 2; pp. 151-158.

FOURNEL, S.; ROUSSEAU, A. N. y LABERGE, B. (2017): «Rethinking environment control strategy of confined animal housing systems through precision livestock farming»; *Biosystems engineering* 155; pp. 96-123.

FOUTAS, S.; MYLONAS, N. y MALOUNAS, I. (2020): «Agricultural Robotics for Field Operations»; *Sensors* 20, pp. 2672.

GALLARDO-COBOS, R. y ZAMORA, P. S. (2022): «Retos y oportunidades de la digitalización en el medio rural»; en: *La España rural: retos y oportunidades de futuro*.

GARCERÁ, C.; FONTE, A. y CARRILLO, I. (2021): «¿Cómo afecta la expresión de dosis de los fitosanitarios a la distribución de la pulverización y la copa de los cítricos y a las pérdidas producidas durante la aplicación?»; *Levante Agrícola* 456; pp. 111-121.

GEBBERS, R. y ADAMCHUK, V.I. (2010): «Precision Agriculture and Food Security»; *Science* 327 (5967); pp. 828-831.

GIL SIERRA, J. (1994): «Informática y mecanización agraria»; *Vida Rural* 7; pp. 46-48.

Gil, E. (1998): «Agricultura de precisión, del futuro al presente. Tecnologías para intervenir correctamente, en el momento y lugar preciso»; *Vida Rural* 77; pp. 54-58.

GODAN (2021): «Plataforma Datos de libre acceso mundial para la Agricultura y la Nutrición»; en: <https://www.godan.info/> (acceso en noviembre de 2021).

GÓMEZ TORÁN, P. (1986): «Informática y toma de decisiones en la agricultura»; *Revista de Estudios Agro-Sociales* 137; pp. 147-154.

GÓMEZ, J. (1994): «La información y los servicios informáticos»; *Vida Rural* 7; pp. 40.

GORRIZ, J. T. (1995): «Agricultura e informática. Datos sobre costes, producción y rentabilidad»; *Vida Rural* 19; pp. 50-51.

GRIFFIN, T.; LAMBERT, D. y LOWENBERG-DEBOER, J. (2005): «Economics of Lightbar and Auto-Guidance GPS Navigation Technologies, in Precision Agriculture»; en: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.585.86&rep=rep1&type=pdf> (acceso en noviembre de 2021).

HAMADANI, H. y ALAM, A. (2015): «Automation in livestock farming - A technological revolution»; *International Journal of Advanced Research* 3; pp. 1335-1344.

HAREL, D.; MARRÓNY, A. y SIFAKIS J. (2020): «Autonomics: In search of a foundation for next-generation autonomous systems»; *PNAS* 117(30); pp. 17491- 7498.

IBM SECURITY (2021): «Cost of a Data Breach Report»; en: <https://www.ibm.com/security/data-breach> (acceso en noviembre de 2021):

IFAD (2019): «Exploring the advantages of blockchain technology for smallholder farming»; en: <https://www.ifad.org/en/web/knowledge/-/publication/exploring-the-advantages-of-blockchain-technology-for-smallholder-farming> (acceso en noviembre de 2021).

IIC (2021): «Big Data»; en: <https://www.iic.uam.es/big-data/> (acceso en noviembre 2021).

INCIBE (2017): «Decálogo ciberseguridad empresas»; en: https://www.incibe.es/sites/default/files/contenidos/guias/doc/guia_decálogo_ciberseguridad_metad.pdf (acceso en noviembre de 2021).

INE (2022): «Encuesta sobre el uso de TIC y comercio electrónico en las empresas. Últimos datos»; en: https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=estadistica_C&cid=1254736176743&menu=ultiDatos&idp=1254735576799 (acceso en marzo de 2022).

INNOVAQUA (2019): «Alimentadores»; en: http://www.innovaqua.com/productos/productos_alimentacion.html (acceso en febrero de 2022).

IQBAL, J.; KHAN, Z.H. y KHALID, A. (2017): «Prospects of robotics in Food industries»; *Food Science and Technology* 37(2); pp. 159-165.

ISLAM, N.; RASHID, M. M. y PASANDIDEH, F. (2021): «A Review of Applications and Communication Technologies for Internet of Things (IoT) and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Based Sustainable Smart Farming (UAV)»; *Sustainability* 13(4); pp. 1821.

ITU (2019): «Big Data»; en: <https://www.itu.int/en/ITU-T/techwatch/Pages/big-data-standards.aspx> (acceso en noviembre de 2021).

JAGTAP, S.; BADER, F. y GARCÍA-GARCÍA, G. (2021): «Food Logistics 4.0: Opportunities and Challenges»; *Logistics* 5 (2); pp. 1-19.

JAGTAP, S.; SAXENA, P. y SALONITIS, K. (2021): «Food 4.0: Implementation of the Augmented Reality Systems in the Food Industry»; *ScienceDirect* 104; pp. 1137-1142.

JOUANJEAN, M. A.; CASALINI, F. y WISEMAN, L. (2020): «Issues around data governance in the digital transformation of agricultura»; *OECD Publishing* 146; pp. 1-39.

JUANÓS, C. B. (1999): «Agricultura de precisión: aplicar las últimas tecnologías al campo»; *Vida Rural* 89; pp. 27-29.

JUANÓS, C. B. (2000): «La agricultura de precisión: de la teoría a la aplicación real»; *Vida Rural* 109; pp. 27-29.

KAMILARIS, A.; KARTOUKULLIS, A. y PRENAFETA, F. X. (2017): «A review on the practice of big data analysis in agricultura»; *Computers and Electronics in Agriculture* 143; pp. 23-37.

KRAMER, M. P.; BITSCH, L. y HANF, J. (2021): «Blockchain and Its Impacts on Agri-Food Supply Chain Network Management»; *Sustainability* 13; pp. 2168.

LÉXICO (2020): «Robotizar»; en: <https://www.lexico.com/es/definicion/robotizar> (acceso en febrero de 2022).

LEZOCHÉ, M.; HERNANDEZ, J. y ALEMANY, M.M. (2020): «Agri-food 4.0: A survey of the supply chains and technologies for the future agriculture, Computers in Industry»; *ScienceDirect* 117; pp. 103187.

LI, N.; REN, Z. y ZENG, L. (2020): «Review: Automated techniques for monitoring the behaviour and welfare of broilers and laying hens: towards the goal of precision livestock farming»; *Animal* 14; pp. 617-625.

LISA INSTITUTE (2019): «Digitalización masiva: riesgos, oportunidades y nuevas salidas profesionales»; en: <https://www.lisainstitute.com/blogs/blog/digitalizacion-masiva-riesgos-oportunidades> (acceso en noviembre de 2021).

LIU, X.; YUK, H. y LIN, S. (2018): «3D Printing of Living Responsive Materials and Devices»; *Advanced Materials* 25; pp. 1704821.

LIU, Y.; SWINTON, S. M. y MILLER, N. R. (2006): «Is site-specific yield response consistent over time? Does it pay?»; *American Journal of Agricultural Economics* 88; pp 471-483.

LÓPEZ-BECERRA, E. I. (2017): *La web 2.0 en las empresas agroalimentarias. Un modelo explicativo de sus antecedentes y consecuencias*.

LYTRIDIS, C.; KABURLASOS, V.G. y PACHIDIS, T. (2021): «An Overview of Cooperative Robotics in Agriculture»; *Agronomy* 11; pp. 1818.

MAPA (1981-2020): «Anuario Estadística»; en: <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/> (acceso en noviembre de 2021).

MAPA (2021): «Informe anual de la industria alimentaria española periodo 2020-2021»; en: <https://www.mapa.gob.es/es/sistema/incluye/errores/404.aspx> (acceso en noviembre de 2021).

MAPA (2022): «Equipos para la limpieza mecanizada de establos»; en: <https://www.mapa.gob.es/en/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/maquinaria-agricola/equip-limpieza.aspx> (acceso en febrero de 2022).

MAPA (2020): «Luis Planas muestra el compromiso de España con los objetivos de la Estrategia comunitaria De la granja a la mesa»; en: <https://www.mapa.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/luis-planas-muestra-el-compromiso-de-espa%C3%B1a-con-los-objetivos-de-la-estrategia-comunitaria-de-la-granja-a-la-mesa/tcm:30-544210> (acceso en marzo de 2022).

MAQUA-GONZÁLEZ, J. I. y CAMPILLO-TORRES, C. (2017): «Tomate de industria». En *Cultivos hortícolas al aire libre*.

MÁRQUEZ, L. (2009): «La mecanización en el Olivar»; *Agrotécnia*; pp. 4-27.

MARTÍN, A.; ANQUELA, A. B. e IBÁÑEZ, S. (2021): «Python software to transform GPS SNR wave phases to volumetric water content»; *Springer* 26; pp. 1-5.

MARTÍN, E. (2002): «El acceso a Internet, un servicio obligatorio en todo el medio rural»; *Vida Rural* 156; pp. 44.

MARTÍNEZ-CASANOVAS, J. M. y ESCOLÀ, A. (2017): «Monitoreo por sensores en la Agricultura de Precisión: Lo que los sensores nos dicen sobre las condiciones ambientales de los cultivos»; en: https://newaginternational.r.worldssl.net/images/flipbooks/PrecisionAg_October2017_Spa.pdf (acceso en noviembre de 2021).

MASTERS, D. G. (2021): «Lost in translation - the use of remote and on-animal sensing for extensive livestock systems»; *Animal Frontiers*. 11 (5); pp. 59-62.

MAUDOS J. y SALAMANCA J. (2021): *Observatorio sobre el sector agroalimentario español en el contexto europeo. Informe 2020*.

MCBEATH, B. (2018): «Blockchain's Role in the Produce Supply Chain: Part Three Specific Capabilities»; en: <http://www.clresearch.com/research/detail.cfm?guid=A0E9C92C-3048-78A9-2F79-28A96A136BCB> (acceso en noviembre de 2021).

MESA-CELADA, J. (1997): «Agricultura de precisión y precisión en la agricultura»; *Vida Rural* 51; pp. 28-31.

MINECO (2020): «Plan para la conectividad y las infraestructuras digitales de la sociedad, la economía y los territorios»; en: https://www.google.com/url?sa=t&rc=t=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj8-arlqJ33AhXnyIUKHd8ACEYQFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Fportal.mineco.gob.es%2FRecursosArticulo%2Fmineco%2Fministerio%2Fficheros%2F201202_Plan_para_la_Conectividad.pdf&usg=AOvVaw2HY39WJ50PpnC-3x-z9bzT (acceso en abril 2022).

MINECO (2021): «España Digital 2025»; en: https://portal.mineco.gob.es/es-es/ministerio/estrategias/Paginas/00_Espana_Digital_2025.aspx (acceso en noviembre de 2021).

MINECO (2021): «Libre circulación de datos no personales en la Unión Europea»; en: <https://avancedigital.mineco.gob.es/es-es/Servicios/Paginas/libre-circulacion-datos.aspx> (acceso en noviembre de 2021).

MINECO (2021): «Preguntas frecuentes Reglamento (UE) 2018/1807»; en: <https://avancedigital.mineco.gob.es/es-es/Servicios/Documents/faq-reglamento-FFoD.pdf> (acceso en noviembre de 2021).

MINECO (2022): «Copernicus»; en: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/agencia-europea-medio-ambiente-informacion-ambiental/copernicus/default.aspx> (acceso en abril 2022).

MINECO. (2021): «Plan de Digitalización de pymes 2021-2025»; en: https://portal.mineco.gob.es/RecursosArticulo/mineco/ministerio/ficheros/210127_plan_digitalizacion_pymes.pdf (acceso en abril de 2022).

MONLLOR, J. (2012): «Etapas de la revolución industrial en España»; en: <https://sites.google.com/site/geografia2bat/geografia/8-industria-en-espana/contenidos-la-industria-en-espana/4-etapas-de-la-revolucion-industrial-en-espana> (acceso en marzo de 2022).

MORDOR INTELLIGENCE (2022): «Autonomous Tractors Market - Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2022 - 2027)»; en: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-autonomous-tractors-market> (acceso en febrero de 2022).

MOROTA, G., VENTURA, R. y SILVA, F. (2018): «Big Data analytics and precision animal agriculture symposium: Machine learning and data mining advance predictive big data analysis in precision animal agriculture»; *Journal of Animal Science* 96(4); pp. 1540-1550.

MOSHOU, D. (2017): «A special issue of Sensors (ISSN 1424-8220)»; en: https://www.mdpi.com/journal/sensors/special_issues/agriculture (acceso en noviembre de 2021).

MÜLLER, M.; MÜLLER, T. y TALKHESTANI, B.A. (2021): «Industrial autonomous systems: a survey on definitions, characteristics and abilities»; *De gruyter oldenbourg*. 69(1); pp. 3-13.

NOWATZKI, J.; ANDRES, R. y KYLLO, K. (2017): «Agricultural remote sensing basics»; en: <https://www.ag.ndsu.edu/publications/crops/agricultural-remote-sensing-basics> (acceso en abril de 2022).

ORTEGA ÁLVAREZ, P.C.B. (2001): «Las nuevas tecnologías aplicadas al control automático del riego»; *Vida Rural* 122; pp. 54-58.

OSI (2021): <https://www.osi.es/es> (acceso en noviembre de 2021).

PANNELL, D. J. (2006): «Flat earth economics: The far-reaching consequences of flat payoff functions in economic decision making»; *Review of Agricultural Economics* 28; pp. 553-566.

PATHAK, S. V.; MOHOD, A. G. y SAWAT, A. A. (2020): «Review on effective role of UAV in precision farming»; *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 9(4); pp. 463-467.

PÉREZ DE LOS COBOS MARÍN, P. (2005): «El sistema de información agroclimática para el regadío ya se puede consultar en Internet»; *Vida Rural* 212; pp. 28-31.

PÉREZ, M. (2020): «La gobernanza del dato: Repensando el mañana desde un uso sostenible de nuestros datos»; en: <https://telos.fundaciontelefonica.com/wp-content/uploads/2021/01/telos-115-cuaderno-un-mundo-en-construccion-miguel-perez-subias.pdf> (acceso en noviembre de 2021).

PIYUSH, R. y KUMAR, R. (2020): «3D printing of food materials: A state of art review and future applications»; *Proceedings* 33(3); pp. 1463-1467.

Prasad, S. (2017): «Application of robotics in dary and food industries: a review»; *International Journal of Science, Environment and Technology* 6(3); pp. 1856-1864.

RAE (2021): «Digitalizar»; en: <https://dle.rae.es/digitalizar> (acceso en noviembre de 2021).

RAE (2022): «Automatizar»; en: <https://dle.rae.es/automatizar> (acceso en febrero de 2022).

RAO-MOGILI, U. M. y DEEPAK, B. (2018): «Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture»; *Procedia Computer Science* 133; pp. 502–509.

RED.ES. (2005): «Red.es incorpora el mundo rural a la Sociedad de la Información»; *Vida Rural* 21; pp. 36-37.

RODRÍGUEZ, P. C.; MATAMOROS, A.; CARVAJAL, J.; BLANCO, J. y SÁNCHEZ, J. M. (2008): «Aplicación de la termografía en el estudio de la ubre de los grandes rumiantes y en sus posibles complicaciones patológicas»; *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias* 2; pp. 66-72.

ROLANDI, S.; BRUNORI, G. y BACCO, M. (2021): «The Digitalization of Agriculture and Rural Areas: Towards a Taxonomy of the Impacts»; *Sustainability* 13; pp. 5172.

SABOIA, I.; PERNENCAR, C. y VARINHOS, M. (2018): «Augmented Reality and nutrition field: A literature review study»; *Computer Science* 138; pp. 105-112.

SAURA, M. A. (1994): «La informática se abre camino en el sector agropecuario»; *Vida Rural* 7; pp. 33-34.

SAURA, M. A. (1994): «Soluciones y programas informáticos para el campo»; *Vida Rural* 7; pp. 36-38.

SCHRIBER, S. (2021): «Smart Agriculture Sensors: Helping Small Farmers and Positively Impacting Global Issues, Too»; en: <https://www.mouser.co.uk/applications/smart-agriculture-sensors> (acceso en noviembre de 2021).

SHANMUGAPRIYA, P.; RATHIKA, S.; RAMESH, T. y JANAKI, P. (2019): «Applications of remote sensing in agriculture-A Review»; *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 8(1); pp. 2270-2283.

SIERRA, J. G. (1994): «Informática y mecanización agraria»; *Vida Rural* 7; pp. 46-48.

SOLA-GUIRADO, R.R.; CASTRO-GARCIA, S.; BLANCO-ROLDÁN, G.L.; GIL-RIBES, J.A. y GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, E.J. (2020): «Performance evaluation of lateral canopy shakers with catch frame for continuous harvesting of oranges for juice industry»; *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 13(3); pp. 88-93.

STAUBLI (2021): «New ways of processing meat»; en: <https://www.staubli.com/es/en/corp.html> (acceso en noviembre de 2021).

STEEN, J. R. (2020): «Key Technologies in the Digital Transformation: Towards a Social Science Taxonomy of Digital Technology. Fafo Institute for Labour and Social Research»; en: <https://sorsafoundation.fi/wp-content/uploads/2020/05/key-technologies-in-the-digital-transformation.pdf> (acceso en noviembre de 2021).

STUBBS, M. (2016): «Big data in US Agriculture»; en: <https://sgp.fas.org/crs/misc/R44331.pdf> (acceso en noviembre de 2021).

SUN, J.; PENG, Z. y ZHOU, W. (2015): «A review on 3D printing for customized food fabrication»; *Procedia Manufacturing* 1; pp. 308-319.

SYLVESTER (2019): «Data driven agriculture: the big data phenomenon. E-agriculture in Action: Big Data for Agriculture. Bangkok»; en: <https://www.fao.org/3/ca5427en/ca5427en.pdf> (acceso en noviembre de 2021).

TENG, X.; ZHANG, M. y MUJUMDAR, A. (2021): «4D printing: Recent advances and proposals in the food sector»; *Trends in Food Science & Technology* 110; pp. 349-363.

THE BETTERFOODVENTURES (2020): «Farmtech Landscape 2020»; en: <https://betterfoodventures.com/agtech-landscapes/farm-tech-landscape-2020> (acceso en noviembre de 2021).

TIC PORTAL (2021): «Cloud Computing»; en: <https://www.ticportal.es/> (acceso en noviembre de 2021).

TORÁN, P. G. (1986): «Informática y toma de decisiones en la agricultura»; *Revista de Estudios Agro-Sociales* 137; pp. 147-154.

TORMOS-GORRIZ, J. (1995): «Agricultura e informática. Datos sobre costes, producción y rentabilidad»; *Vida Rural* 19; pp. 50-51.

TORRES-BALBÁS, L. (1940): «Las norias fluviales en España»; en *Crónica arqueológica de la España musulmana*.

TSOLAKIS, N.; EIRINI, A. y JAGJIT, S. S. (2019): «Sensor Applications in Agrifood Systems: Current Trends and Opportunities for Water Stewardship»; *Climate* 7; pp. 44.

TSOUROS, D. C.; BIBI, S. y SARIGIANNIDIS, P. G. (2019): «A Review on UAV-Based Applications for Precision Agriculture»; *Information* 10, pp. 349.

UBIERNA, C. V. (2001): «Agricultura de precisión: conceptos y situación actual»; *Vida Rural* 136; pp. 58-62.

UDL (2021): «Publicaciones divulgativas»; en: <http://www.grap.udl.cat/es/publicaciones/divulgativas.html> (acceso en noviembre 2021).

VALERA, D. L. (2003): «Controles electrónicos en los invernaderos»; *Vida Rural* 167; pp. 50-53.

VALERO, C. (2001): «Agricultura de precisión: conceptos y situación actual»; *Vida Rural* 136, pp. 58-62.

VALERO, C. (2002): «Agricultura de precisión en EEUU y Argentina: dos ejemplos a seguir»; *Vida Rural* 151; pp. 54-56.

VALERO, C. (2002): «Un agricultor de nuestros días: la última tecnología aplicada al campo»; *Vida Rural* 156; pp. 29-32.

VALERO, C. (2004): «Situación actual de la agricultura de precisión en España»; *Vida Rural* 192; pp. 17-20.

VAN DUIN, S. y BAKSHI, N. (2017): «Part 1: Artificial Intelligence Defined»; en: <https://www2.deloitte.com/se/sv/pages/technology/articles/part1-artificial-intelligence-defined.html> (acceso en noviembre de 2021).

VAN ES, H. y WOODARD, J. (2017): «Innovation in agriculture and food systems in the digital age»; en *The global innovation index*.

VENCOMATIC (2019): «Soluciones completas para aves ponedoras»; en: <https://docplayer.es/138200101-Soluciones-completas-para-aves-ponedoras.html> (acceso en febrero de 2022).

VERA, J. A. (2001): «Agricultura de precisión: nuevas herramientas para el campo»; *Vida Rural* 131; pp. 58-61.

VILLA, C. E. (2000): «Agricultura de precisión y teledetección: aparición en España»; *Vida Rural* 109; pp. 28-29.

VIVANCOS, A. D. (1994): «La mejora de la gestión agraria»; *Vida Rural* 7; pp. 42-44.

VOUGIOUKAS, S. (2019): «Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems»; *Agricultural Robotics* 2; pp. 365-392.

VROCHIDOU, E.; OUSTADAKI D.; KEFALAS A. y PAPAKOSTAS, B. (2022): «Computer Vision in Self-Steering Tractors»; *Machines* 10, pp. 129.

WALKER, G. (2018): «Cloud computing fundamentals»; en: <https://developer.ibm.com/articles/cloudintro/> (acceso en noviembre 2021).



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU



Plan de Recuperación,
Transformación
y Resiliencia

