



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICADE

Innovar para Cosechar: Rentabilidad y Desafíos de la Agricultura Digital.

Autor: Suzanne Derville

Directora: Ana Zapatero González

Universidad Pontificas Comillas ICADE

Grado en Administración y Dirección de Empresas mención Internacional

MADRID, marzo 2025

Índice:

Resumen ejecutivo	4
I. Introducción.....	5
1. Definición de la agricultura inteligente.....	5
2. El sector agrícola en el contexto actual: impacto, desafíos y soluciones.....	6
3. Objetivos de la tesis.....	8
4. Metodología.....	8
II. Innovaciones en Agricultura Inteligente.....	9
1. Tecnologías emergentes.....	9
1. <i>Drones e imágenes por satélite.....</i>	<i>9</i>
2. <i>Sensores IoT (Internet de las cosas)</i>	<i>10</i>
3. <i>Robótica y automatización.....</i>	<i>11</i>
4. <i>Agronomía de precisión.....</i>	<i>11</i>
5. <i>Aplicaciones móviles y plataformas digitales.....</i>	<i>12</i>
2. Costes de las innovaciones	13
1. <i>Análisis de precios de las tecnologías</i>	<i>13</i>
2. <i>Estrategias para optimizar la inversión en innovaciones</i>	<i>14</i>
3. Caso práctico	14
1. <i>Aplicación de sistemas de teledetección y soluciones digitales en la agricultura de precisión – Caso práctico.....</i>	<i>14</i>
2. <i>Impacto de la agricultura de precisión sobre la rentabilidad de las explotaciones agrícolas – Caso práctico</i>	<i>16</i>

III.	Rentabilidad para los agricultores.....	17
	1. Evaluación de costes iniciales y ahorros realizados.....	17
	2. Innovaciones digitales y eficiencia en el uso de recursos.....	18
IV.	Políticas de digitalización en la Unión Europea.....	19
	1. Estrategias y directrices de la UE para la digitalización agrícola	19
	1. <i>Implementación en Francia</i>	22
	2. <i>Implementación en España</i>	24
	2. Comparación Francia – España.....	26
V.	Perspectivas de futuro.....	27
	1. Tendencias y evoluciones del sector.....	27
	1. <i>Innovaciones por venir</i>	28
	2. <i>Hacia una modernización diferenciada de los sistemas agrícolas en Francia y España</i>	29
	2. Desafíos por superar.....	30
VI.	Conclusiones.....	31
VII.	Recomendaciones.....	32
VIII.	Bibliografía.....	34
IX.	Anexos.....	39
X.	Declaración de Uso de Herramientas de Inteligencia Artificial	51

Resumen

El presente estudio analiza el impacto de la digitalización en el sector agrícola en Francia y en España. Mediante un enfoque comparativo, se examinan las principales tecnologías aplicadas en el ámbito agrario, entre ellas los sensores IoT, los sistemas de teledetección, los drones, la robótica y las plataformas digitales. Estas soluciones tecnológicas contribuyen a optimizar la eficiencia productiva, mejorar la sostenibilidad medioambiental y aumentar la rentabilidad de las explotaciones.

Las políticas públicas y las estrategias implementadas a nivel europeo y nacional desempeñan un papel clave en el impulso de la adopción tecnológica, facilitando así la respuesta a los retos económicos estructurales que enfrentan los agricultores.

A pesar de compartir objetivos comunes en términos de modernización agrícola, Francia y España presentan divergencias en sus enfoques debido a las particularidades de sus estructuras agrarias. Este trabajo pone de relieve la necesidad de promover una digitalización adaptada, escalable y accesible, como condición indispensable para una transición agrícola equitativa, eficiente y resiliente.

Palabras clave: agricultura inteligente, digitalización, innovación tecnológica, sostenibilidad, políticas agrícolas, Francia, España.

I. Introducción.....

1. Definición de la agricultura inteligente.....

Según la FAO (2021), la agricultura inteligente es un enfoque estratégico que combina la tecnología avanzada y las prácticas agrícolas para optimizar el uso de recursos naturales, adaptarse al cambio climático y mejorar la productividad. Este concepto integra herramientas digitales como los drones, sensores IoT, sistemas de automatización y análisis de datos facilitando la toma de decisiones basada en información precisa.

Su objetivo principal es reducir el desperdicio de insumos, minimizar el impacto ambiental y fortalecer la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a condiciones climáticas cambiantes. Por ejemplo, tecnologías como los sensores IoT permiten medir en tiempo real la cantidad exacta de agua o fertilizantes que necesita una parcela, garantizando una gestión eficiente y sostenible. También pueden optimizar el almacenamiento del carbono y reducir emisiones de gases vía prácticas como la agroforestería.

Además, fomenta prácticas sostenibles como el secuestro de carbono, que permite capturar y almacenar CO₂ en los suelos agrícolas y la biomasa, contribuyendo a mitigar el cambio climático y mejorar la salud del suelo.

En este contexto, la Cámara de Representantes de los Estados Unidos presentó una de las primeras definiciones de la agricultura de precisión (AP) en 1997, definiéndola como *“un sistema agrícola integrado basado en la información que busca aumentar la eficiencia, la productividad y la rentabilidad a largo plazo, mientras minimiza los impactos no intencionados sobre el medio ambiente”*.

En resumen, la agricultura inteligente se basa en la integración de tecnologías innovadoras para optimizar la gestión agrícola, adaptarse a los cambios climáticos, garantizar la seguridad alimentaria y promover la sostenibilidad ambiental mediante la reducción de gases de efecto invernadero.

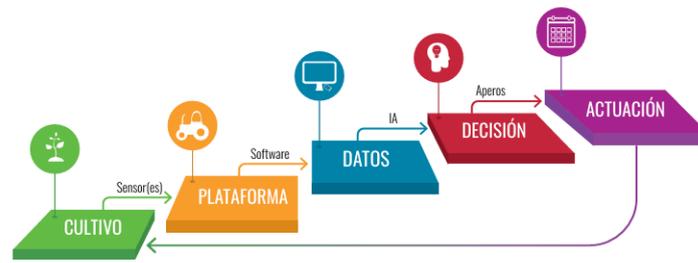


Figura 3. Ciclo de gestión basado en la información para la agricultura avanzada
Fuente: Sáiz-Rubio y Rovira-Más (2020).

Esta figura de Sáiz-Rubio y Rovira-Más (2020), ilustra las etapas clave del ciclo de gestión de la agricultura avanzada, desde la recolección de datos hasta la toma de decisiones informadas. Este ciclo destaca como la agricultura inteligente integra la tecnología para maximizar la eficiencia en cada paso del proceso agrícola.

2. El sector agrícola en el contexto actual: impacto, desafíos y soluciones.....

El sector de la agricultura es un pilar fundamental en el desarrollo de la economía mundial, con un aporte del 5,5% del PIB mundial en 2020. No obstante, también genera un impacto ambiental significativo siendo responsable de aproximadamente el 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y del uso de cerca del 70% de agua dulce disponible en el planeta (Carrillo Riofrio & Minga León, 2021). Estas cifras continúan aumentando con la intensificación de las prácticas agrícolas.

Entre los principales desafíos actuales se encuentra la falta de información sobre el desempeño real de los sistemas agrícolas innovadores. La ausencia de datos fiables sobre su rentabilidad lleva a muchos agricultores a tomar decisiones basadas en percepciones subjetivas (Roussy, Ridier & Chaib, 2015), lo cual frena el proceso de adopción tecnológica.

El cambio climático representa otro desafío estructural. El sector agrícola no solo se ve gravemente afectado por sus consecuencias, sino que también contribuye a su agravamiento. Las prácticas intensivas como la labranza liberan grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂), mientras que el uso de fertilizantes genera emisiones de óxido nitroso (N₂O), un gas con un potencial de calentamiento global hasta 300 veces mayor que el CO₂ (IPCC, 2014).

La conversión de bosques en tierras cultivables y el uso excesivo de agua dulce por ejemplo en zonas secas, también aceleran la degradación ambiental.

El cambio climático ha intensificado fenómenos extremos, desplazamientos de poblaciones y la aparición de plagas y devastadores que afectan la producción agrícola (Carrillo Riofrio & Minga León, 2021). A la vez, se estima que la producción alimentaria deberá aumentar en un 60 % para satisfacer la demanda mundial, mientras que el número de personas que sufren inseguridad alimentaria también aumentará (FAO, 2018). Este desafío podría aliviarse en parte reduciendo el desperdicio alimentario, que actualmente equivale a un tercio de la producción mundial. Por ejemplo, los países industrializados desperdician 220 millones de toneladas de alimentos anualmente, una cantidad equivalente a toda la producción de África subsahariana (FAO, 2018).

Entendemos así que, en este contexto actual, surge la necesidad de encontrar e implementar soluciones que promuevan un equilibrio entre la sostenibilidad ambiental, la viabilidad económica para los agricultores y la equidad social.

El secuestro de carbono (CS) se plantea como una solución prometedora, ya que permite mitigar las emisiones agrícolas y, al mismo tiempo, mejorar la salud del suelo. Según Robert, M. (2001), prácticas como la agroforestería, los sistemas silvopastorales (sistemas en los que árboles, animales y cultivos conviven en una misma parcela), la gestión sostenible de cultivos y el manejo adecuado del estiércol pueden reducir significativamente las emisiones agrícolas y favorecer una economía circular.

Asimismo, la adopción de nuevas tecnologías como sensores IoT, drones, automatización y agricultura de precisión se posiciona como un pilar fundamental para optimizar el uso de recursos, incrementar la productividad y garantizar la sostenibilidad del sector. Estas herramientas no solo aumentan la eficiencia, sino que también permiten a los agricultores adaptarse a las limitaciones de las tierras cultivables y al descenso progresivo del número de trabajadores agrícolas al nivel global.

Cabe destacar que, si bien factores como el clima, el estado del suelo o la disponibilidad de agua no pueden controlarse completamente, hoy en día es posible y necesario aplicar estrategias que permitan optimizar el uso de los recursos, mejorando simultáneamente la productividad y la rentabilidad agrícola.

3. Objetivos de la tesis.....

El objetivo principal de esta tesis es analizar el impacto de la digitalización en el sector agrícola y rural, con especial atención a la implementación de tecnologías de agricultura de precisión y su contribución a una agricultura más eficiente, rentable y sostenible. A través de este estudio, se pretende evaluar como las innovaciones tecnológicas (los sensores, los drones, los sistemas de guiado GPS, la robótica y las plataformas digitales) transforman los modelos de producción agrícola y contribuyen a la lucha contra el cambio climático y la mejora de la seguridad alimentaria.

Asimismo, la tesis busca comparar el grado de desarrollo y las estrategias de digitalización en Francia y España, identificando similitudes, diferencias y factores estructurales, culturales y económicos que influyen en la adopción de estas tecnologías.

En definitiva, la tesis pretende ofrecer una visión integral sobre los desafíos y oportunidades que ofrece la agricultura digital, así como aportar propuestas que contribuyan a una transición tecnológica más equitativa y eficiente en el sector agrícola europeo.

4. Metodología.....

A través de este análisis, mi objetivo principal es responder a la siguiente pregunta de investigación: **¿Cómo influyen las innovaciones tecnológicas en la rentabilidad y sostenibilidad de las explotaciones agrícolas en Francia y España? ¿qué desafíos enfrentan los agricultores en la adopción de estas tecnologías?** Para abordar esta cuestión, se empleará una metodología mixta que combina métodos cualitativos y cuantitativos. En primer lugar, realizaré una revisión bibliográfica de artículos académicos, informes gubernamentales y estudios de caso sobre la agricultura inteligente y las tecnologías emergentes. Esto incluirá la recopilación de datos sobre innovaciones tecnológicas, costes de implementación y políticas públicas en Francia y España.

Además, realizaré entrevistas con agricultores en ambos países para comprender sus experiencias y percepciones sobre el uso de tecnologías agrícolas. Los resultados de estas entrevistas se utilizarán para contrastar la información obtenida en la revisión bibliográfica.

En paralelo, se recopilarán datos cuantitativos, como estadísticas sobre la adopción de tecnologías y los costes de las innovaciones, para respaldar los argumentos con cifras concretas. Finalmente, se analizarán las políticas de digitalización implementadas en ambos países, con el fin de evaluar sus impactos en la adopción de nuevas tecnologías en el sector agrícola.

Este enfoque permitirá una visión integral sobre el impacto de la digitalización en la agricultura en Francia y España.

II. Innovaciones en Agricultura Inteligente.....

1. Tecnologías emergentes.....

Como se ha señalado en la introducción, la digitalización del sector agrícola se ha convertido en una necesidad estratégica para responder a los desafíos contemporáneos: el cambio climático, la escasez de recursos y la presión sobre los sistemas de producción. En este contexto, la agricultura inteligente se apoya en un conjunto de tecnologías emergentes que permiten optimizar la producción, reducir los impactos ambientales y aumentar la rentabilidad de las explotaciones (Sundmaeker., 2020).

Estas innovaciones posibilitan el monitoreo en tiempo real de las condiciones de los cultivos, la predicción de sus necesidades hídricas y nutricionales, así como la automatización de numerosas tareas agrícolas. De este modo, los agricultores pueden mejorar la gestión de sus explotaciones, incrementar su productividad y fomentar prácticas más sostenibles.

1. Drones e imágenes por satélite.....

Los drones son dispositivos aéreos que pueden ser programados con trayectorias predeterminadas o pilotados manualmente. Permiten una vigilancia precisa del estado de los cultivos y aportan informaciones clave para la toma de decisiones. Sus principales aplicaciones incluyen el análisis de suelos y cultivos que permite optimizar el riego, detectar carencias en las plantas, identificar plagas y predecir el rendimiento. Asimismo, la proyección de cápsulas facilita la liberación dirigida de nutrientes y la pulverización precisa de agua o pesticidas según los datos ambientales. Por último, la cartografía y el análisis del terreno

proporcionan información clave para la gestión agrícola. Estas funciones aportan numerosos beneficios: mejoran la calidad de los cultivos, aumentan la producción, reducen las pérdidas optimizando el uso de insumos y permiten ahorrar tiempo (Ahirwar, 2019).

La tecnología de los drones ofrece una gran flexibilidad para la adquisición de datos agrícolas, con la posibilidad de configurar los vuelos (altura, superposición de imágenes, inclinación de la cámara). En el estudio de Aftopo (2019), se utilizaron drones para estimar la producción de frutas en árboles. Los datos recolectados fueron procesados a través de un algoritmo de segmentación basado en colores para extraer los puntos correspondientes a los frutos. Luego, se creó un modelo 3D ajustando los puntos extraídos a una esfera que representa cada fruto, determinando el centro y el radio de cada esfera mediante un ajuste de mínimos cuadrados. Este modelo permitió estimar la producción por árbol vinculando el peso de los frutos con su diámetro, gracias a un modelo de regresión lineal con un coeficiente de determinación del 97%. Este estudio permite anticipar los rendimientos de producción frutícola de forma precisa y automatizada, facilitando así la planificación agrícola, la optimización de los recursos y la toma de decisiones dentro de una lógica de agricultura de precisión.

2. *Sensores IoT (Internet de las cosas)*

El Internet de las Cosas (IoT) conecta elementos físicos y virtuales a través de Internet, permitiendo una gestión agrícola basada en datos. En este ámbito, los sensores recogen información ambiental, agronómica y del estado de las plantas, generando datos accesibles al agricultor, por ejemplo, a través de aplicaciones móviles (Xu, Gu, & Tian, 2022).

Los sensores agrícolas tienen funciones cada vez más diversificadas, como sensores de suelo, meteorológicos, de agua y de plantas. Permiten monitorear parámetros con la humedad, las temperaturas y las necesidades hídricas y prever condiciones climáticas adversas (lluvias, vientos fuertes). Según Dhanaraju, Chenniappan, Ramalingam, Pazhanivelan y Kaliaperumal (2022) el IoT no solo incrementa la producción, sino que también reduce el esfuerzo físico del agricultor, mejora la gestión de recursos y facilita decisiones más precisas.

Un agricultor francés, entrevistado sobre este tema, confirmó y destacó tres beneficios clave de estos sensores: mayor comodidad en el trabajo, mejor toma de decisiones y optimización

del tiempo. De este modo, el IoT se consolida como una herramienta esencial para modernizar la agricultura y mejorar su eficiencia.

3. Robótica y automatización.....

La robótica agrícola permite automatizar tareas físicamente exigentes, especialmente en un contexto de escasez de mano de obra. Los robots, supervisados por el agricultor, pero con autonomía operativa, se emplean en diversas tareas: preparación del suelo, trasplante, cosecha, control de malezas y gestión de plagas.

Un ejemplo destacado es el uso de tractores modernos con sistemas GPS de alta precisión, que permiten sembrar, aplicar insumos o cosechar con una exactitud al centímetro. Esta precisión reduce el desperdicio de insumos y mejora significativamente la eficiencia. Por ejemplo, si el tractor ya ha pasado por una zona, el sistema desactiva automáticamente los pulverizadores evitando duplicaciones.

Además de reducir el consumo de combustible, y el tiempo de trabajo, los tractores con GPS mejoran la rentabilidad. Según entrevistas realizadas a agricultores franceses y españoles (Eva y Baptiste), estos equipos se amortizan en aproximadamente 3 años, con una vida útil total de unos 15 años.

Asimismo, los tractores pueden incorporar tecnologías que ajustan automáticamente la presión de los neumáticos según el terreno, lo que protege el suelo agrícola y refuerza la sostenibilidad. Aunque el agricultor debe seguir supervisando, este sistema le permite optimizar su tiempo y dedicarlo a otras tareas, como realizar llamadas o gestiones administrativas.

4. Agronomía de precisión.....

Según Santos Valle y Kienzle (2021), la agronomía de precisión se basa en la observación, medición y respuesta a la variabilidad de los cultivos. Tiene como objetivo optimizar el uso de insumos y conservar los recursos naturales, facilitando la toma de decisiones con base en datos.

Esta disciplina integra todas las tecnologías anteriormente descritas (drones, sensores, tractores etc.) para aumentar la eficiencia agrícola y reducir el impacto ambiental.

Un ejemplo innovador es el uso de impresoras 3D, empleadas para fabricar piezas de repuesto para maquinas agrícolas. Aunque no inciden directamente en la gestión del cultivo, estas herramientas permiten una gestión más autónoma y eficiente del mantenimiento, lo cual también repercute en una mejora de la productividad.

5. Aplicaciones móviles y plataformas digitales.....

Las aplicaciones y plataformas digitales reúnen herramientas tecnológicas que facilitan la gestión agrícola, la planificación de cultivos, el seguimiento climático y el análisis de datos, incluyendo inteligencia artificial (Comisión Europea, 2023).

Una de las funcionalidades clave es el uso de índices de vegetación, como el NDVI (Índice de Vegetación por Diferencia Normalizada), para evaluar la salud y vigor de los cultivos, o el NDWI (Índice Diferencial de Agua Normalizado) para monitorear la humedad y optimizar el riego (Cultivdron, 2025). La recopilación de los datos se realiza mediante tecnologías de teledetección (drones, satélites, sensores IoT) que capturan información sobre el entorno y los cultivos, a menudo en tiempo real, y estos datos se analizan posteriormente para una gestión más precisa de las tierras agrícolas. Proporcionan datos en tiempo real para adaptar las practicas agrícolas.

En Francia, estas tecnologías se adoptan sobre todo en cultivos vitícolas y cereales, mientras que, en España, su aplicación se concentra en olivares, cítricos y arrozales. Programas europeos como Horizon 2020 o la Política Agrícola Común (PAC) impulsan su implementación, apoyando la transición hacia una agricultura más sostenible.

Destaca también el caso del Agri-Bot en Francia, el primer asistente virtual para agricultores que combina inteligencia artificial, robótica y análisis de datos para recomendar practicas agronómicas personalizadas (Farmr, 2024). Este tipo de innovación contribuye tanto a mejorar los rendimientos como a reducir el impacto ambiental.

El uso masivo de estas tecnologías genera grandes volúmenes de datos sobre cultivos, clima, suelos y maquinaria. La gestión y protección de estos datos es esencial para garantizar un uso

responsable, ya que la seguridad y la transparencia en el manejo de la información son factores clave para generar confianza entre los agricultores y fomentar la adopción de estas herramientas digitales.

2. Costes de las innovaciones.....

1. Análisis de precios de las tecnologías

La adopción de innovaciones como los drones, los robots agrícolas y los sensores IoT ha crecido considerablemente, impulsada por su capacidad para mejorar la eficiencia operativa y reducir los costes laborales. Sin embargo, estas tecnologías implican inversiones iniciales significativas. Mientras que las grandes explotaciones agrícolas disponen de más recursos para incorporar estas tecnologías, en el caso de las pequeñas explotaciones, estas inversiones suelen ser menos viables.

El mercado de los drones y robots agrícolas ha experimentado un crecimiento notable, con un valor estimado de 48 mil millones de dólares en 2023 y una proyección de 172 mil millones en 2032, con una tasa compuesta anual del 14% (Market Research Future, 2023).

El coste de los sensores IoT ha disminuido en la última década, facilitando su adopción. Actualmente, su precio oscila entre 600 y 2.000 euros, con una rentabilidad estimada en menos de dos años (Le Roy, 2023).

Sin embargo, el alto coste de adquisición sigue siendo un freno para muchos agricultores, especialmente en un contexto de fluctuación de los precios agrícolas y aumento de costes de insumos. Por ejemplo, un tractor nuevo de gama media cuesta alrededor de 100.000 € sin impuestos (Nicol, 2024).

La capacidad de inversión de un agricultor depende en gran medida de su nivel de rentabilidad más que de su facturación. En algunos casos, los costes de producción pueden absorber gran parte de los ingresos, dificultando la adopción de tecnologías innovadoras. Además, el alto nivel de endeudamiento en el sector agrícola aumenta la reticencia a invertir en soluciones que no generen un retorno inmediato.

2. Estrategias para optimizar la inversión en innovaciones.....

Dado que los costes iniciales de las nuevas tecnologías pueden ser elevados, los agricultores han desarrollado diferentes estrategias para optimizar su inversión y minimizar los riesgos financieros. Una de ellas es la compra de maquinaria de segunda mano, lo que permite reducir significativamente la inversión inicial sin comprometer la calidad del equipo. Sin embargo, esta opción requiere una evaluación cuidadosa del estado y del historial del material para evitar problemas técnicos futuros.

Otra alternativa es el alquiler o la compartición de maquinaria entre agricultores o cooperativas, lo que permite reducir los costes fijos mediante un uso compartido. Esta estrategia es particularmente útil para equipos de alto coste que no necesitan utilizarse de manera constante en una explotación individual.

Además, la optimización del uso y el mantenimiento preventivo de los equipos juega un papel clave en la gestión de costes. Realizar un mantenimiento adecuado y programado ayuda a prolongar la vida útil de la maquinaria, reduciendo así la necesidad de reparaciones costosas y asegurando un mejor retorno de la inversión.

Por último, la digitalización de la gestión agrícola se ha convertido en una herramienta esencial para optimizar los costes. Gracias a las plataformas digitales y al uso de sensores inteligentes, los agricultores pueden monitorear en tiempo real sus costes de producción, identificar áreas donde es posible reducir gastos y mejorar la rentabilidad general de su explotación. La implementación de estas soluciones tecnológicas les permite tomar decisiones más informadas y estratégicas en la gestión de sus recursos (Roussy, Ridier & Chaib, 2015).

3. Caso práctico

1. Aplicación de sistemas de teledetección y soluciones digitales en la agricultura de precisión – Caso práctico.....

Según un análisis de Sishoda, Ray & Singh (2020), la agricultura de precisión ha evolucionado radicalmente gracias a la integración de nuevas tecnologías como los drones, los sensores IoT, los satélites y otras. Esta digitalización permite una gestión más precisa y

sostenible de los cultivos. Por ejemplo, se menciona que la gestión de malezas mediante herbicidas es poco efectiva debido a la contaminación ambiental y a la pérdida considerable de eficacia por la falta de precisión en su aplicación. En este contexto, los drones y satélites han demostrado un potencial significativo para la cartografía de áreas infestadas por maleza. Las imágenes obtenidas permiten diferenciar las malas hierbas de los cultivos, proporcionando un análisis mucho más específico. Estas imágenes pueden alcanzar tasas de precisión superiores al 90% en algunos casos.

Ilustrando esto, el proyecto TOAS se centra en el uso de tecnologías digitales avanzadas, como la detección automática de malas hierbas mediante sensores y algoritmos, como lo podemos ver en la foto del Anexo 1 (TOAS Project, 2025).

De hecho, la herramienta digital más utilizada en este campo es la observación por satélite, que proporciona datos espaciales y temporales, lo que permite una gestión optimizada de los cultivos y los recursos naturales. Según Sishoda, Ray & Singh (2020), la evolución de los satélites, en particular los de última generación como Sentinel-1 y Sentinel-2 (Anexo 2), ha mejorado considerablemente la capacidad de vigilancia y gestión en agricultura de precisión. Los satélites más antiguos, como Landsat y AVHRR, presentaban resoluciones espaciales más bajas y ciclos de observación más largos. Si bien estos satélites fueron fundamentales en el seguimiento del crecimiento de los cultivos y la biomasa, su ciclo de revisión de 16 a 18 días limitaba la eficacia en el monitoreo dinámico de los cultivos. Por el contrario, los satélites más recientes ofrecen soluciones mucho más avanzadas, permitiendo una vigilancia más frecuente y detallada. Por ejemplo, Sentinel-2, con una resolución que varía entre 10 y 60 metros, puede ofrecer imágenes con una frecuencia de entre 2 y 5 días, lo que permite una vigilancia de gran precisión. Otros satélites como TripleSat o KOMPSAT-3A ofrecen resoluciones aún más altas, de entre 3 y 5 metros. Estas tecnologías son particularmente útiles para aplicaciones específicas, como la detección de enfermedades. Los satélites con alta resolución espacial (<30m) y temporal son más adecuados para la agricultura de precisión. Otros satélites como SMAP proporcionan datos clave para la gestión del agua, complementando así la información obtenida por satélites ópticos y radar. De hecho, cada explotación y cada cultivo tienen necesidades diferentes, por lo que es esencial que las tecnologías empleadas estén adaptadas a esas particularidades para garantizar una gestión eficiente y precisa de los recursos.

La evolución de la digitalización de la teledetección, con una oferta de satélites cada vez más sofisticados, ha permitido avances significativos en la gestión agrícola. Estos progresos facilitan una gestión más precisa de los cultivos y recursos, mientras que promueven una agricultura más sostenible, como lo subraya Sishodia (2020) en el marco de la agricultura de precisión y la gestión dinámica de tierras agrícolas.

2. Impacto de la agricultura de precisión sobre la rentabilidad de las explotaciones agrícolas – Caso práctico.....

La adopción de tecnologías de agricultura de precisión, como el mapeo de rendimientos y los sistemas de guiado GPS, tiene un impacto notable en la rentabilidad de las explotaciones agrícolas. El mapeo de rendimientos se basa principalmente en sensores embarcados que miden el flujo de grano, la humedad y la posición GPS para generar mapas de productividad. Los drones y la teledetección por satélite complementan estas herramientas ofreciendo una visión de la variabilidad intra-cultivo y permitiendo prever ciertos estreses o deficiencias en los cultivos.

Según Schimmelpfennig (2016), la adopción de la agricultura de precisión aumenta a medida que avanza la digitalización de los cultivos, especialmente en los cultivos extensivos de cereales, que son los principales impulsores de la difusión de las tecnologías agrícolas avanzadas. Aunque los costes de inversión iniciales son elevados, varios factores han facilitado la adopción de estas tecnologías, como la disminución de los precios de los GPS, la mejora en la formación de los agricultores y una mayor accesibilidad a herramientas digitales.

Un análisis de los costes muestra que, aunque los gastos de la mano de obra aumentan con la adopción de estas tecnologías, este incremento ayuda a reducir el trabajo no remunerado y mejora la eficiencia de la producción. Como confirma el Anexo 3, el aumento en los costes de mano de obra es significativo, particularmente para los sistemas de guiado. El coste promedio de la mano de obra salarial por acre (= 0,4047 hectáreas) es superior en un 93% para el mapeo GPS (3,69 \$ frente a 1,91 \$) y un 73% para el sistema de guiado (3,50 \$ frente a 2,03 \$). Este aumento se debe a la mayor necesidad de mano de obra especializada, especialmente en los sistemas de guiado, donde el coste de mano de obra de producción es un 154% más alto.

Paralelamente, las economías logradas en los insumos agrícolas (fertilizantes, plaguicidas, semillas, combustible) gracias a la agricultura de precisión son significativas. El coste del trabajo no remunerado (coste de oportunidad) disminuye de manera sustancial para los adoptantes: -35% con el GPS (21,98 \$/acre frente a 33,88 \$) y -38% con el sistema de guiado. La automatización permite a los agricultores dedicar menos tiempo personal, reduciendo así el coste del trabajo no remunerado. Por ejemplo, el uso del GPS permite reducir el tiempo de trabajo por tonelada en un 35% (0,08 h/t frente a 0,12 h/t).

Finalmente, los costes de producción por unidad también disminuyen con estas tecnologías. Por ejemplo, con el GPS, el coste por tonelada disminuye en un 4%, mientras que, para otras tecnologías, las economías no son aún tan marcadas. No obstante, el mapeo de rendimientos mediante GPS parece ser la solución más rentable a largo plazo, ya que reduce los costes por unidad de producción.

Está claro que la inversión inicial en equipos es elevada, lo que constituye un obstáculo importante para algunos agricultores, especialmente aquellos con explotaciones pequeñas. Sin embargo, el mapeo de rendimientos permite ahorrar significativamente, con ganancias de 22 \$/0,44 h por hectárea. Aunque los ahorros en los insumos son importantes, no son suficientes por sí solos para justificar la rentabilidad de las explotaciones. Pero la rentabilidad en este campo no pasa necesariamente solo por el dinero, sino también por el beneficio de confort y por el ahorro de tiempo que es esencial para los agricultores.

III. Rentabilidad para los agricultores.....

1. Evaluación de costes iniciales y ahorros realizados.....

En cuanto a los ahorros realizados, un ejemplo concreto es el caso de un agricultor francés que adquirió un tractor hace tres años y planea venderlo después de cinco años de uso por 300.000 euros, sin estar sujeto al impuesto sobre plusvalías. Este modelo de negocio se basa en la amortización de los equipos, lo que permite que la inversión inicial se recupere mediante la reventa a un precio cercano al de adquisición. Así, el agricultor maximiza la vida útil del tractor y optimiza su inversión a largo plazo, un enfoque común en el sector agrícola, donde reducir los costes es esencial para la sostenibilidad financiera.

El Internet de las Cosas IoT ha mostrado su eficiencia para mejorar la producción agrícola, especialmente en entornos urbanos. Al reducir la necesidad de grandes extensiones de tierra y disminuir la distancia entre los cultivos y los consumidores, esta tecnología contribuye a la sostenibilidad y reduce la huella del transporte agrícola (Ubidots, 2024).

2. Innovaciones digitales y eficiencia en el uso de recursos.....

Una de las mayores ventajas del IoT es la optimización de los recursos clave como el agua, los fertilizantes y la mano de obra. Los sensores avanzados permiten detectar plagas a tiempo y actuar preventivamente, evitando daños mayores (Ubidots, 2024). También ajustan el riego según las condiciones climáticas y del suelo, contribuyendo a la eficiencia.

La rentabilidad de estas tecnologías es evidente. Los agricultores que implementan soluciones digitales aumentan su competitividad al adaptarse a las dinámicas del mercado y mejoran su productividad. Además, los sensores ayudan a monitorear el desgaste de las máquinas, lo que permite un mantenimiento preventivo que reduce costes operativos y evita interrupciones en la producción (Ubidots, 2024).

El cambio climático y el aumento de la población han impulsado innovaciones como las granjas verticales, que permiten generar múltiples cosechas al año sin depender de los ciclos estacionales. El 11 de febrero de 2025, la Federación Nacional de las Comunidades de Regantes (FENACORE) resaltó el potencial de la inteligencia artificial (IA) en la gestión eficiente del agua en la agricultura. Según un grupo de trabajo de FENACORE, la aplicación de la IA podría permitir ahorros de agua de hasta un 10 % en el riego sin afectar la producción. La IA hace que la gestión hídrica sea más precisa y eficiente, mejorando la productividad de los agricultores. Además, herramientas como ChatGPT y Copilot han demostrado ser útiles en la gestión administrativa de las comunidades de regantes, permitiendo a los agricultores enfocarse en la optimización del riego. Iniciativas europeas, como el proyecto Life Triplet, usan Big Data y sensores avanzados permitiendo una aplicación inteligente del agua y los nutrientes (Plataforma Tierra, 2025).

IV. Políticas de digitalización en la Unión Europea.....

1. Estrategias y directrices de la UE para la digitalización agrícola

La Unión Europea ha impulsado diversas iniciativas para fomentar la digitalización del sector agrícola. Entre ellas destaca la Iniciativa para un Mercado Único Digital, lanzada en 2015, cuyo objetivo es de construir una economía digital europea que permita al sector aprovechar el potencial de las nuevas tecnológicas. Varios informes del Parlamento Europeo, como la Declaración de Cork 2.0 (2016) subrayan la importancia del Big Data, del internet de las Cosas (IoT) y de la digitalización para mejorar la competitividad y la sostenibilidad del sector.

La comunicación de la Comisión Europea sobre el futuro de la alimentación y la agricultura (2017) sitúa la innovación y la digitalización en el centro de la modernización de la Política Agrícola Común (PAC). En el marco del periodo 2021-2027, se ha establecido un objetivo transversal de modernización del sector, centrado en el intercambio de conocimientos, la colaboración entre investigadores y agricultores, y la integración de tecnologías digitales para mejorar la rentabilidad y eficiencia de las explotaciones (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2021).

La PAC representa el principal instrumento de apoyo financiero al sector agrícola europeo. Sus objetivos incluyen:

- Reforzar la competitividad del sector agrícola mediante la innovación y la digitalización.
- Aumentar la resiliencia de las explotaciones par garantizar la seguridad alimentaria.
- Fomentar una agricultura sostenible, apoyando la gestión de los recursos naturales y contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

Así la PAC acompaña a los agricultores en la modernización de sus practicas y en la adopción de soluciones digitales adaptadas.

Iniciativas y proyectos de la Unión Europea:

En este contexto, la UE apoya numerosas iniciativas que buscan integrar nuevas tecnologías en la agricultura, promoviendo el uso de sensores inteligentes, sistemas automatizados, plataformas digitales y soluciones basadas en inteligencia artificial.

A través del programa Horizonte 2020 (Programa de financiación de la investigación y la innovación de la UE), la Comisión Europea (2024), ha invertido más de 200 millones de euros en investigación e innovación para acelerar la transformación digital del sector agrícola. Estos fondos han permitido desarrollar tecnologías que promueven la agricultura de precisión, la sostenibilidad y la optimización de la producción agroalimentaria. Los ámbitos más beneficiados han sido la robótica y las plataformas digitales/IoT para el despliegue de sensores inteligentes en el campo.

Uno de los proyectos más destacados es ATLAS, cuyo objetivo es mejorar la interoperabilidad de los datos agrícolas (Consortium ATLAS, 2020). Esta plataforma abierta facilita el intercambio de datos entre sensores, maquinaria agrícola y software de análisis, favoreciendo decisiones más precisas y sostenibles. En 13 países europeos se han realizado estudios piloto sobre la gestión automatizada de cultivos y la optimización del riego con sensores de humedad y sistemas de inteligencia artificial. Así, ATLAS permite a los agricultores mejorar su productividad, rentabilidad e impacto ambiental, al mismo tiempo que impulsa la innovación.

Por otro lado, el proyecto NIVA también facilita la integración de tecnologías digitales en la agricultura y desempeña un papel clave en la aceleración de la transición digital del sector. Su objetivo es utilizar tecnologías avanzadas para simplificar la gobernanza de la PAC y reducir la carga administrativa tanto para los agricultores como para las autoridades. Por ejemplo, gracias a la teledetección y las imágenes satelitales, se pueden automatizar y digitalizar los trámites administrativos: los agricultores pueden detectar automáticamente los cultivos y verificar el cumplimiento de las normas de la PAC, en lugar de declarar manualmente sus superficies y tipos de cultivo (NIVA, 2025).

Estas innovaciones buscan mejorar la productividad, reducir costes y optimizar la gestión de los recursos naturales, al tiempo que se enfrentan a los retos del cambio climático. Es un apoyo tecnológico especialmente relevante en países como Francia y España, donde la

adopción de prácticas agrícolas sostenibles representa un gran desafío para muchos agricultores.

Según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2021), la Estrategia Europa 2020, que, apuesta por un desarrollo inteligente y sostenible, también ha impulsado la innovación agrícola mediante iniciativas como la Unión por la Innovación, que apoya la investigación y la transformación de ideas en productos. En este marco, se creó la AEI-Agri (Asociación Europea para la Innovación en Agricultura) con el fin de fomentar la transferencia de conocimientos y mejorar la competitividad del sector agroalimentario.

El concepto de “Smart Villages” (pueblos inteligentes) subraya el papel de las zonas rurales como motores de soluciones locales, aprovechando las tecnologías digitales para afrontar retos específicos y aprovechar nuevas oportunidades. La Comisión Europea respalda también iniciativas como “Startup Villages”, que promueven el emprendimiento digital en entornos rurales, contribuyendo así a la modernización del sector agrícola y a su adaptación a los desafíos contemporáneos.

La creación de empleos de calidad en los sectores agroalimentario, forestal y rural, así como el desarrollo de nuevos modelos económicos mediante herramientas digitales, resultan fundamentales para hacer estos territorios más atractivos. Estos esfuerzos son cruciales para afrontar retos actuales como el cambio climático, los problemas medioambientales, la globalización de los mercados y la necesidad de garantizar una alimentación segura y de calidad, al tiempo que se impulsa la bioeconomía y la economía circular.

La estrategia adoptada se enmarca en un enfoque integrado con otras políticas públicas europeas y nacionales relacionadas con la digitalización, alineándose con el objetivo de modernización de la PAC post-2020. Esta política busca garantizar ingresos estables y resilientes para los agricultores, al tiempo que asegura la seguridad alimentaria. Fomenta la competitividad del sector a través de la innovación, la investigación y la digitalización, y refuerza el papel de los agricultores dentro de la cadena de valor. La lucha contra el cambio climático y la adaptación a sus efectos son también prioridades clave, junto con la gestión sostenible de los recursos naturales. La PAC pone especial énfasis en la protección de la biodiversidad y los ecosistemas, apoya la incorporación de jóvenes agricultores y promueve el desarrollo empresarial en las zonas rurales. Además, busca dinamizar el empleo, fomentar la inclusión social y fortalecer la bioeconomía, al tiempo que responde a las demandas sociales

en cuanto a alimentación sostenible, bienestar animal y reducción del desperdicio alimentario. En todo ello, la tecnología y la digitalización son palancas esenciales para lograr una agricultura moderna y eficiente.

Para avanzar en esta transición, es clave establecer un marco para el intercambio de datos. En este sentido, la Unión Europea ha adoptado un reglamento, que entrará en vigor en 2025, creando el Espacio Común Europeo de Datos Agrícolas (CEADS) para facilitar el intercambio fiable de datos entre agricultores, empresas y autoridades públicas (Comisión Europea, 2023).

El proyecto AgriDataSpace, que recientemente finalizó sus actividades, ha formulado recomendaciones para el despliegue del CEADS. Su objetivo principal es garantizar un entorno seguro y transparente para el intercambio, procesamiento y análisis de datos agrícolas, mejorando así el rendimiento del sector e impulsando la innovación tanto en el ámbito público como privado. Enmarcado en la Estrategia Europea de Datos, el CEADS constituye una herramienta clave para la doble transición digital y ecológica del sector agrícola, al tiempo que reduce las cargas administrativas e integra herramientas de inteligencia artificial.

Se ha publicado un documento de orientación que describe la gobernanza, los modelos de negocio y la arquitectura técnica necesarios para el funcionamiento del espacio de datos, destacando el papel de los distintos actores involucrados, como los responsables políticos, las organizaciones sectoriales, la industria y los innovadores. El proyecto contó con un presupuesto de 2 millones de euros y la participación de quince socios de diez países, entre ellos institutos de investigación, intermediarios de datos agrícolas y asociaciones industriales.

1. Implementación en Francia

A la escala de la Unión Europea, Francia representa el 4% de los 9 millones de explotaciones agrícolas, ocupando el sexto lugar detrás de Rumania, Polonia, Italia, España y Grecia. Según el INSEE (2020), el país contaba con aproximadamente 390 000 explotaciones agrícolas, lo que representa una disminución de 100 000 en diez años (Anexo 4). Esta reducción se explica por el fenómeno de concentración y ampliación de las estructuras agrícolas: aunque la superficie agrícola total ha disminuido, la superficie media por explotación ha aumentado, lo que compensa en parte el descenso del número total de explotaciones.

Actualmente, Francia se encuentra en un punto de inflexión en su sector agrícola, y la digitalización se considera un pilar esencial en la transición hacia una agricultura más sostenible y resiliente. El 28 de febrero de 2022, con motivo del Salón Internacional de la Agricultura, el gobierno presentó una hoja de ruta estructurada en siete ejes para desplegar la innovación y el uso del digital en este sector (Ministerio de Agricultura y Soberanía Alimentaria, 2022). Estos ejes buscan dar respuesta a desafíos clave como la resiliencia económica de los agricultores frente a las fluctuaciones del mercado, la adaptación al cambio climático, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la prevención de epidemias.

Sin embargo, esta transición digital también conlleva ciertos riesgos, especialmente en términos de ciberseguridad y dependencia de herramientas tecnológicas. Por ello, la hoja de ruta prevé el refuerzo de la formación digital en la enseñanza agrícola, con el fin de preparar a los futuros agricultores para afrontar estos retos. Asimismo, contempla el impulso a la investigación y el desarrollo para integrar nuevas tecnologías, como la recogida y análisis de datos.

Entre las herramientas desarrolladas en este contexto, destaca la plataforma “MesParcelles”, líder del mercado francés de software de gestión parcelaria, desarrollada por las Cámaras de Agricultura. Estas cámaras son organismos públicos que representan los intereses del sector y apoyan a los agricultores en sus trámites, además de fomentar el desarrollo agrícola. La aplicación permite gestionar la trazabilidad de los cultivos, controlar las certificaciones, facilitar las gestiones reglamentarias y mejorar el rendimiento de la explotación. Su valor añadido radica en la centralización simplificada de los datos procedentes de herramientas asociadas. Al igual que el proyecto europeo NIVA, esta plataforma contribuye a simplificar los procedimientos administrativos y aumentar la eficiencia agrícola. Está disponible también en versión móvil y permite un acompañamiento personalizado gracias a 800 asesores de las Cámaras de Agricultura. En 2023, contaba con 40 640 clientes (MesParcelles, 2025).

En esta misma línea, otra iniciativa destacada es France Num, un programa gubernamental dedicado a la transformación digital de las pequeñas y medianas empresas, incluidas las explotaciones agrícolas. Dirigido por la Dirección General de Empresas, France Num moviliza a más de 3500 expertos en transformación digital (Cekome Academy, 2025). Su objetivo es fomentar el uso de herramientas digitales por parte de los directivos de 1,7

millones de pequeñas empresas. El programa ofrece diagnósticos digitales, formaciones gratuitas e información sobre ayudas financieras, contribuyendo a demostrar los beneficios de la digitalización para el sector agrícola y la economía nacional (France Num, 2022).

En esta misma línea, el programa French Tech Agri20 selecciona startups que proponen innovaciones disruptivas con alto potencial de despliegue a gran escala. Estas deben responder a los desafíos definidos en el marco del plan “France 2030”, como la alimentación sostenible, los sistemas agrícolas respetuosos con el medioambiente o los equipos para la transición ecológica. El programa es abierto a diversos modelos económicos (digitales, industriales o basados en lo biológico) y proporciona acompañamiento especializado a las startups, en colaboración con el Ministerio de Agricultura y la Misión French Tech.

Conjuntamente, todas estas iniciativas, proyectos y herramientas reflejan el compromiso del estado francés con la transición digital. Al integrar soluciones innovadoras y tecnologías avanzadas, el proceso de digitalización aspira a mejorar tanto el rendimiento económico como la sostenibilidad ambiental del sector. En definitiva, el uso de herramientas tecnológicas se concibe como una palanca fundamental para que la agricultura francesa pueda hacer frente a los desafíos actuales y futuros (Ministerio de Agricultura y Soberanía Alimentaria, 2022).

2. Implementación en España.....

El sector agroalimentario español cuenta con aproximadamente 900 000 explotaciones agrícolas y más de 31 000 empresas, de las cuales el 95 % son pymes. Según la Comisión Europea (2023), la digitalización favorece el surgimiento de pymes y startups innovadoras que aportan nuevas soluciones a los desafíos del sector agroalimentario. El 80 % de estas empresas tiene menos de 10 empleados. Este sector representa una industria estratégica para España debido a su fuerte presencia internacional, su potencial exportador (50.000 millones de euros), su contribución a la riqueza nacional (107.700 millones de euros en valor añadido bruto, lo que equivale al 9,6 % del PIB) y su capacidad para generar empleo (2,6 millones de puestos de trabajo). Además, contribuye a mantener el dinamismo de las zonas rurales.

De hecho, el medio rural abarca el 84 % del territorio nacional, pero solo alberga al 16 % de la población. Estas zonas se encuentran en una situación delicada, amenazadas por la despoblación, el envejecimiento de la población y una creciente masculinización.

El Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) ha creado un grupo focal compuesto por 43 expertos sobre digitalización y big data en los sectores agroalimentario, forestal y rural. El objetivo es identificar soluciones innovadoras frente a los retos digitales en dichos sectores. Estos expertos han definido varios desafíos prioritarios: lucha contra la despoblación rural, sostenibilidad y productividad, detección de enfermedades agrícolas, gestión forestal e incendios, equidad en la cadena de valor, competitividad global, demandas de los consumidores y gestión de la PAC (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2021).

Sus trabajos han contribuido a fortalecer la estrategia nacional de digitalización, integrando iniciativas europeas como la red SmartAgriHubs, que agrupa más de 400 centros de innovación digital. En España se contabilizan 26, con el objetivo de apoyar la transición digital del sector.

Además de estas iniciativas estructurales, se han implementado mecanismos de apoyo económicos para facilitar la adopción de tecnologías digitales por parte de las empresas.

El Kit Digital es un programa del Gobierno de España destinado a subvencionar la adopción de soluciones digitales por parte de las empresas. Lanzado en 2021 por el presidente Pedro Sánchez, permitió la entrega de los primeros bonos digitales a más de 2.000 empresas en abril de 2022. Este programa está dirigido a todos los sectores de actividad, incluidos los agricultores, ganaderos autónomos, pequeñas empresas y microempresas con menos de 50 empleados. Ofrece ayudas económicas en forma de “bono digital” para apoyar la digitalización de las explotaciones agrícolas. Según el sitio de ASAJA (2024), el Kit Digital está especialmente orientado a empresas con menos de 50 trabajadores. Cuenta con un presupuesto de 3.067 millones de euros, financiado por la Unión Europea en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia. Las ayudas varían según el tamaño de la empresa, oscilando entre los 2.000 y los 12.000 euros, y pueden invertirse en una o varias soluciones digitales (Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital, 2024).

2. Comparación Francia – España

El digital juega ahora un papel central en la gestión de las explotaciones agrícolas, integrándose en casi todas las facetas de las actividades de los agricultores. La agricultura digital abarca tecnologías como los sensores, que permiten seguir en tiempo real las condiciones de los cultivos, así como la robótica o el uso de los datos para optimizar las prácticas agrícolas. Además de estas innovaciones técnicas, los agricultores comparten necesidades similares a las de otros sectores, como la gestión de compras, la comercialización de sus productos o la protección contra ciberataques. Según France Num (2023), las herramientas digitales facilitan la gestión de la producción, la supervisión de las explotaciones, la venta de productos, el abastecimiento de recursos y el intercambio de conocimientos.

En Francia, la agricultura inteligente es percibida como una palanca esencial para modernizar el sector, con un fuerte impulso gubernamental para integrar tecnologías digitales que mejoren la resiliencia y la sostenibilidad. Iniciativas como "MesParcelles" y "FranceNum" ilustran el compromiso del país para reforzar las capacidades digitales de las explotaciones agrícolas, especialmente en las pequeñas y medianas empresas. Estos programas se traducen en esfuerzos para integrar datos y herramientas de gestión de parcelas, haciendo el proceso agrícola más eficiente y menos dependiente de las prácticas tradicionales.

Por su parte, España también apoya la transición digital con iniciativas como el Kit Digital, que ofrece subvenciones para ayudar a las pequeñas empresas agrícolas a adoptar soluciones digitales. Este programa es crucial para superar los desafíos específicos del país, como la gestión de las zonas rurales despobladas y el envejecimiento demográfico. Permite asegurar la viabilidad económica de las explotaciones agrícolas mientras se refuerza la competitividad mundial del sector.

Así, aunque Francia y España comparten una voluntad común de modernizar su sector agrícola a través de la digitalización, sus enfoques varían según las estructuras agrícolas respectivas: Francia prioriza la optimización de las grandes explotaciones mediante herramientas centralizadas, mientras que España se centra en la inclusión digital de las pequeñas explotaciones para superar los desafíos económicos y demográficos.

V. Perspectivas de futuro.....

El auge de las tecnologías digitales está transformando progresivamente el sector agrícola, abriendo el camino a prácticas más eficientes, sostenibles y conectadas. A medida que la innovación avanza, se perfilan varios objetivos clave para abordar los desafíos económicos, ambientales y sociales de los agricultores y actores de la cadena agroalimentaria.

Un reto fundamental de la digitalización agrícola es mejorar los rendimientos mientras se preserva la calidad de los suelos y la biodiversidad. Las tecnologías de precisión, como los sensores IoT, los drones y la inteligencia artificial, permiten optimizar el uso de insumos (fertilizantes, agua, pesticidas) con una precisión sin precedentes. El objetivo es maximizar la productividad mientras se reduce el impacto ambiental y se asegura la fertilidad de los suelos a largo plazo.

1. Tendencias y evoluciones del sector.....

La digitalización de la agricultura en Francia y España está experimentando una evolución rápida, impulsada por la automatización y la integración creciente de soluciones basadas en IA y big data. Las tendencias futuras incluyen el uso intensificado de datos en tiempo real para optimizar la gestión de los recursos agrícolas y la toma de decisiones; la generalización del IoT, los drones y las plataformas digitales que facilitan la gestión de las explotaciones desde la siembra hasta la comercialización; y el auge de soluciones innovadoras.

Por eso, la Política Agrícola Común (PAC) 2023-2027 tiene como objetivo modernizar la agricultura y las áreas rurales, fortaleciendo la difusión del conocimiento, la innovación y la transformación digital. Por primera vez, los estados miembros han integrado estrategias de digitalización en sus planes estratégicos nacionales, adaptadas a sus contextos específicos. Al mismo tiempo, los estados buscan crear sinergias con otras iniciativas estratégicas para optimizar el impacto de las inversiones digitales. El énfasis está puesto en el desarrollo de infraestructuras, la formación, la adquisición de habilidades y la integración de tecnologías avanzadas como la agricultura de precisión.

La agricultura del mañana se basa en la recolección y el análisis masivo de datos provenientes de las parcelas, los equipos y las condiciones meteorológicas. Esta explotación inteligente de la información fomenta el desarrollo de sistemas predictivos eficientes, capaces de optimizar las prácticas agrícolas en tiempo real. Además, el mundo digital ofrece soluciones innovadoras para reforzar la confianza entre productores y compradores. Gracias a la recolección de datos a lo largo de la cadena de suministro, ahora es posible garantizar una total transparencia sobre el origen, los métodos de producción y la huella ecológica de los alimentos (Digital Wallonia, 2025).

Finalmente, el auge del mundo digital no se limita a la optimización de las prácticas agrícolas: también abre nuevas perspectivas económicas para los agricultores. Al aprovechar su experiencia y apoyarse en las herramientas digitales, los agricultores pueden diversificar sus fuentes de ingresos y desarrollar actividades complementarias.

Estas diversas perspectivas destacan el papel central de las tecnologías digitales en el futuro del sector agrícola. Sin embargo, su implementación a gran escala requerirá inversiones estratégicas, una adaptación de las políticas públicas y un acompañamiento reforzado de los agricultores. La creación de infraestructuras eficientes, la formación en herramientas digitales y el desarrollo de marcos regulatorios adaptados serán factores clave para garantizar una transición digital exitosa y sostenible.

1. Innovaciones por venir.....

Las innovaciones futuras en el sector agrícola podrían incluir tecnologías como los sensores avanzados para la agronomía de precisión, que permitirían gestionar de manera más eficiente el uso de los recursos (agua, fertilizantes, etc.) en tiempo real. Los robots agrícolas, los sistemas de riego inteligentes y las plataformas basadas en blockchain para asegurar la trazabilidad de los productos desde la explotación hasta la comercialización también deberían ganar popularidad. La inteligencia artificial podría desempeñar un papel clave ayudando a predecir las condiciones climáticas y a analizar los datos para optimizar los rendimientos.

El AKIS (Sistemas de Conocimiento e Innovación Agrícola) es una red de actores que incluye investigadores, asesores, agricultores, responsables políticos y empresas, todos trabajando juntos para fomentar la innovación y la difusión de nuevas tecnologías en el sector agrícola. (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación). Es una herramienta clave para superar los desafíos de la digitalización en Francia y España.

La digitalización facilita el diálogo directo entre agricultores y consumidores a través de plataformas de venta en circuito corto o aplicaciones de comunicación interactivas.

2. Hacia una modernización diferenciada de los sistemas agrícolas en Francia y España.....

En España, los datos económicos recientes muestran una evolución positiva de la rentabilidad de las explotaciones vegetales, con un aumento notable de la producción bruta total (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2020), especialmente en los sectores de los cereales (+11,9 %), frutas (+9,5 %) y oleaginosas (+5,2 %) (Anexo 5). Esta dinámica podría estar reforzada por la incorporación creciente de tecnologías agrícolas de precisión (sensores, riego inteligente, herramientas de gestión de insumos), aunque la ligera disminución del capital fijo invita a cuestionar el ritmo real de modernización material.

Asimismo, el aumento de las subvenciones destinadas al desarrollo rural (+12,1 %) (Anexo 6) y a la agricultura ecológica refleja un marco político favorable para la adopción de innovaciones digitales sostenibles, alineadas con las prioridades medioambientales de la PAC.

En Francia, en cambio, el contexto se caracteriza según el Ministerio de Agricultura y Alimentación (2023), por una fuerte presión económica derivada del aumento de los precios de los insumos desde 2021 (fertilizantes, energía, insumos agrícolas), como podemos verlo en el anexo 7. Esta situación pone de relieve la vulnerabilidad económica de las explotaciones vegetales, pero también refuerza la pertinencia de las tecnologías inteligentes: sensores IoT, modelización agronómica, herramientas de ayuda a la decisión o sistemas de riego de precisión se convierten en palancas esenciales para preservar la rentabilidad a largo plazo. Algunos sectores, como la viticultura o los cultivos extensivos, ya presentan un EBE más elevado, lo que les ofrece mayor capacidad de inversión en estas tecnologías.

En conclusión, estas dinámicas diferenciadas requieren estrategias de inversión tecnológica adaptadas. En España, parece clave impulsar la modernización con drones, sensores y automatización para acompañar la transición ecológica ya apoyada por las ayudas públicas. En Francia, el reto es reducir la dependencia de insumos y reforzar la resiliencia económica, mediante una adopción más generalizada de herramientas tecnológicas de optimización.

En ambos casos, las tecnologías agrícolas de precisión no solo actúan como catalizadores del rendimiento, sino que se perfilan como condiciones indispensables para garantizar la viabilidad económica de las explotaciones vegetales frente a los desafíos climáticos y estructurales del sector.

2. Desafíos para superar.....

A pesar de los avances en la digitalización, France Num (2023) destaca un «atraso general en la digitalización del sector agrícola». Aunque hoy existen numerosas herramientas, la falta de conocimiento puede hacer que esta digitalización sea más compleja, cuando el objetivo principal es simplificar las tareas de los usuarios. Cada explotación tiene necesidades específicas que requieren adaptaciones según el terreno, el tipo de cultivo y las limitaciones de las innovaciones digitales, que a veces son demasiado “estándar”.

Según la OCDE (2025), otro desafío importante es la brecha digital entre las pequeñas y grandes explotaciones agrícolas. Tanto en Francia como en España, las grandes explotaciones tienen una mayor capacidad de inversión en tecnologías avanzadas, lo que les permite aprovechar las ventajas de la digitalización. En cambio, las pequeñas explotaciones, a menudo enfrentadas a limitaciones financieras y a una carga administrativa elevada, tienen dificultades para justificar las inversiones necesarias para adoptar estas soluciones digitales. El financiamiento de la agricultura de precisión sigue siendo insuficiente a pesar de las ayudas europeas. Esta brecha se agrava por la falta de formación específica para los agricultores, lo que sigue siendo un obstáculo para la adopción generalizada de las tecnologías. Además, la cuestión de la ciberseguridad representa un riesgo importante para ambos países, ya que la integración de tecnologías digitales expone a las explotaciones agrícolas a posibles ataques, cuyas consecuencias pueden ser especialmente graves en un sector tan estratégico como la agricultura (Anexo 8).

VI. Conclusiones.....

La digitalización representa un pilar estratégico clave para la modernización del sector agrícola en Europa. Gracias al uso de nuevas tecnologías, como los sensores IoT, los drones, la robótica y las plataformas digitales, los agricultores tienen la posibilidad de optimizar la gestión de sus explotaciones, mejorar su productividad y su competitividad en el mercado, al mismo tiempo que reducen su impacto sobre el medio ambiente. Este trabajo permite evidenciar que tanto Francia como España están comprometidas con la transición hacia una agricultura inteligente, cada una con enfoques adaptados a sus respectivas estructuras productivas y características económicas.

Aunque ambos países comparten objetivos comunes en términos de sostenibilidad, eficiencia y seguridad alimentaria, sus estrategias difieren en la integración de estas nuevas tecnologías debido a factores como la diversidad de sus explotaciones y los distintos niveles de digitalización en sus sectores agrícolas.

Para que esta transición sea inclusiva, eficaz y sostenible, es fundamental seguir promoviendo políticas públicas que fomenten la inversión en infraestructuras tecnológicas y en la formación de los agricultores. Las políticas nacionales y europeas deben velar por que estas tecnologías sean accesibles para todo tipo de explotaciones, independientemente de su tamaño o ubicación geográfica. La digitalización debe considerarse no solo como una herramienta de eficiencia y rentabilidad, sino también como un elemento clave en la lucha contra el cambio climático.

En conclusión, la agricultura inteligente no solo ofrece soluciones innovadoras para enfrentar los desafíos actuales, sino que también permitirá garantizar la sostenibilidad a largo plazo de la seguridad alimentaria frente a las incertidumbres del futuro. La digitalización del ámbito agrícola tiene el potencial de transformar el sector en un modelo más resiliente, inclusivo y adaptado a los desafíos globales que se avecinan.

VII. Recomendaciones.....

A partir de los hallazgos de este estudio, se identifican varias líneas de acción para fortalecer la digitalización de la agricultura en Francia y España, asegurando su accesibilidad y sostenibilidad a largo plazo.

En primer lugar, es crucial reforzar la formación y el acompañamiento técnico de los agricultores, especialmente en las pequeñas y medianas explotaciones, que suelen enfrentarse a mayores dificultades en la adopción de tecnologías digitales. La creación de programas de capacitación adaptados a las necesidades del sector, combinando formación presencial y herramientas digitales interactivas, facilitaría la integración efectiva de innovaciones como los sensores IoT, la automatización o el análisis de datos en la toma de decisiones agrícolas.

Además, el acceso a la financiación sigue siendo un obstáculo clave, especialmente en un contexto de inversión inicial elevada. Para mitigar esta barrera, sería recomendable la implementación de incentivos financieros más específicos, como subsidios orientados a la adquisición de tecnologías digitales o modelos de financiación flexible que permitan a los agricultores amortizar gradualmente sus inversiones. Asimismo, fomentar la cooperación entre empresas tecnológicas, cooperativas agrícolas y entidades gubernamentales podría facilitar el desarrollo de soluciones asequibles y a adaptadas a distintas escalas de producción.

Otro aspecto fundamental es la mejora de la conectividad en las zonas rurales, ya que la falta de infraestructuras digitales limita el acceso a muchas de estas innovaciones. La expansión de redes de telecomunicaciones y el desarrollo de plataformas digitales accesibles contribuirían significativamente a cerrar la brecha digital entre regiones.

Por último, considerando los desafíos globales como el cambio climático y la seguridad alimentaria, es necesario reforzar la colaboración entre Francia y España en materia de innovación agrícola. El intercambio de buenas prácticas y la creación de redes transfronterizas de conocimiento permitirían acelerar la adopción de tecnologías eficientes y sostenibles en ambos países.

En futuras investigaciones, sería pertinente analizar el impacto a largo plazo de la digitalización en la rentabilidad de las explotaciones, así como estudiar casos concretos de adopción tecnológica en diferentes tipos de cultivos y regiones. Además, explorar como las

políticas agrícolas europeas pueden evolucionar para fomentar una digitalización equitativa y adaptada a las necesidades de los agricultores contribuiría a la consolidación de este modelo de producción más eficiente y sostenible.

VIII. Bibliografía.....

Aftopo. (2019). L'exactitude des résultats de l'analyse des nuages de points pour la modélisation 3D des fruits en vergers d'agrumes.

<https://www.aftopo.org/download.php?type=pdf&matricule=aHR0cHM6Ly93d3cuYWZ0b3BvLm9yZy93cC1jb250ZW50L3VwbG9hZHMvYXJ0aWNsZXMvcGRmL2FydGljbGU0MTYyMDkucGRm#:~:text=L'exactitude%20des%20résultats%20de%20l'analyse%20des%20nuages%20de%20points%20pour%20la%20modélisation%203D%20des%20fruits%20en%20vergers%20d'agrumes>

Ahirwar, S., Swarnkar, R., Bhukya, S., & Namwade, G. (2019). Application of drone in agriculture. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 8(01), 2500-2505. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.801.264>

Asaja. (n.d.). Kit Digital. <https://asajakitdigital.es/>

ATLAS Consortium. (2020). Objectives. <https://www.atlas-h2020.eu/objectives/>

Business Research Insights. (2023). Agriculture drones and robots market. Business Research Insights. <https://www.businessresearchinsights.com/fr/market-reports/agriculture-drones-and-robots-market-111557>

Carrillo Riofrio, F. M., & Minga León, F. E. Sustainable agriculture and climate change Agricultura sostenible y cambio climático.

<https://portal.amelica.org/ameli/journal/646/6463152004/6463152004.pdf>

Cekome Academy. (2025). Qu'est-ce que France Num ? <https://www.cekome-academy.com/actualites/quest-ce-que-france-num/>

Chambres d'agriculture. (2022, mai 24). Le digital à la conquête de nos vignobles. Chambres d'agriculture. <https://chambres-agriculture.fr/actualites/actualite/le-digital-a-la-conquete-de-nos-vignobles>

Commission européenne. (2023, 14 septembre). Policy brief: Rolling out the common European agricultural data space. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/fr/news/policy-brief-rolling-out-common-european-agricultural-data-space>

Commission européenne. (2023). La numérisation de l'agriculture. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/fr/policies/digitalisation-agriculture#:~:text=Les%20technologies%20num%C3%A9riques%20dans%20l,sur%20la%20base%20de%20l%27>

Commission européenne. (2024). The Digitalisation of the European Agricultural Sector. Shaping Europe's Digital Future. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/digitalisation-agriculture>

Cultivdron. (2025). Agricultura de precisión. <https://cultivdron.com/agricultura-de-precision/>

Dhanaraju, M., Chenniappan, P., Ramalingam, K., Pazhanivelan, S., & Kaliaperumal, R. (2022). Smart farming: Internet of Things (IoT)-based sustainable agriculture. *Agriculture*, 12(10), 1745. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101745>

Digital Wallonia. (2025). Agriculture du Futur. <https://www.digitalwallonia.be/agriculture/#objectifs>

Estopace, E. (2019, 14 juin). IoT for agriculture to reduce water consumption in smart farms by 30%. <https://futureiot.tech/iot-for-agriculture-to-reduce-water-consumption-in-smart-farms-by-30/>

Estopace, E. (2019, November 20). IoT for agriculture to reduce water consumption in smart farms by 30%. FutureIoT. <https://futureiot.tech/iot-for-agriculture-to-reduce-water-consumption-in-smart-farms-by-30/>

European Commission. (2023). Digitalisation of the European agricultural sector: Activities in Horizon 2020. Shaping Europe's digital future. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/digitalisation-agriculture-horizon-2020>

Farmr. (2024). Agri-Bot. <https://farmr.co/agribot/>

France Num. (2022). À propos de France Num. <https://www.francenum.gouv.fr/a-propos-de-france-num>

France Num. (2023). Comment mettre le numérique au service de l'agriculture pour mieux gérer son exploitation, de la production à la commercialisation ? France Num.

<https://www.francenum.gouv.fr/guides-et-conseils/strategie-numerique/comprendre-le-numerique/comment-mettre-le-numerique-au>

Fusco, G., Melgiovanni, M., Porrini, D., & Ricciardo, T. M. (2020). How to improve the diffusion of climate-smart agriculture: What the literature tells us. *Sustainability*, 12(12), 5168.

<https://www.mdpi.com/2071-1050/12/12/5168>

Insee. (2023). Nombre d'exploitations – Transformations de l'agriculture et des consommations alimentaires.

<https://www.insee.fr/fr/statistiques/7728861>

Le Roy, J. (2024, janvier 12). AgTech : le prix a baissé. La Ferme Digitale – Hello Future Orange.

https://hellofuture.orange.com/fr/j-le-roy-le-cout-daces-a-la-technologie-pour-les-agriculteurs-a-baisse/?utm_source=chatgpt.com

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). (2020). Estrategia de digitalización del sector agroalimentario, forestal y del medio rural.

https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/estrategia-digitalizacion-sector-agroalimentario/estrategia_digitalizacion_sector_agroalimentario_forestal_medio_rural_ve_tc_m30-509645.pdf

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (España). (2020). Revisión de la campaña agrícola 2019/2020 y previsión para 2020/2021.

https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/reca_n_2020_vs_2019_vers_maquetacion_def_30sept2020_tcm30-623322.pdf

Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (MAPA). (n.d.). Agricultural Knowledge and Innovation Systems (AKIS). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

<https://www.mapa.gob.es/gl/desarrollo-rural/temas/innovacion-medio-rural/akis/default.aspx>

MesParcelles. (2025). Catalogue des solutions numériques. Chambres d'agriculture.

https://mesparcelles.fr/fileadmin/user_upload/National/Medias_Externes/Catalogue_Solutions_Numeriques.pdf

MesParcelles. (2025). MesParcelles - Gestion parcellaire agricole. Chambres d'agriculture.

<https://mesparcelles.fr/>

Nicol, C. (2024, 11 janvier). Charges de mécanisation des exploitations agricoles : comment les optimiser ? Isagri.

https://www.isagri.fr/ressources/articles/charges-mecanisation-exploitations-agricoles?utm_source=chatgpt.com

NIVA. (2025). New IACS Vision in Action (NIVA).

<https://www.niva4cap.eu/project/>

NIVA4CAP. Retrieved February 15, 2025.

<https://www.niva4cap.eu/>

Rejeb, A., Abdollahi, A., Rejeb, K., & Treiblmaier, H. (2022). Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis. *Computers and electronics in agriculture*, 198, 107017.

<https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107002>

Robert, M. (2001). La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres. FAO ;

<https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/b1001f>

Roussy, C., Ridier, A., & Chaib, K. (2015). Adoption d'innovations par les agriculteurs: rôle des perceptions et des préférences.

<https://ageconsearch.umn.edu/record/206036/?v=pdf>

Sáiz-Rubio, V., & Rovira-Más, F. (2020). From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management. *Agronomy*, 10(2), 207.

<https://doi.org/10.3390/agronomy10020207>

Schimmelpfennig, D. (2016). Farm profits and adoption of precision agriculture.

<https://ageconsearch.umn.edu/record/249773/?v=pdf>

Sishodia, R. P., Ray, R. L., & Singh, S. K. (2020). Applications of remote sensing in precision agriculture: A review. *Remote Sensing*, 12(19), 3136.

<https://www.mdpi.com/2072-4292/12/19/3136>

Sundmaecker, H., Verdouw, C., Wolfert, S., & Pérez Freire, L. (2020). "Digital Transformation in Agriculture: From Precision Agriculture to Smart Farming.

<https://www.mdpi.com/2071-1050/12/11/4572>

TOAS Project. (n.d.). TOAS Project. Retrieved March 19, 2025.

<https://toasproject.wordpress.com/>

Ubidots. (2024). Transformando la agricultura con el Internet de las cosas.

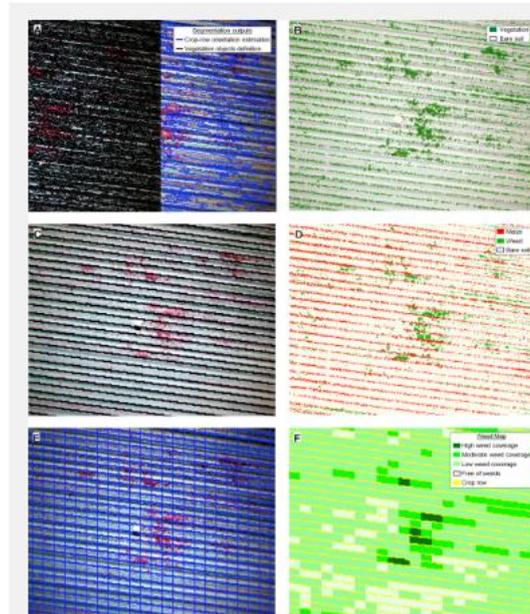
<https://es.ubidots.com/blog/agriculture-smart-farming/>

Xu, J., Gu, B., & Tian, G. (2022). Review of agricultural IoT technology. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 6, 10-22.

<https://doi.org/10.1016/j.aiia.2022.01.001>

IX. Anexos.....

Anexo 1: imágenes de detección de mala hierbas mediante sensores IoT.



Fuente: [TOAS Project | New remote sensing technologies for optimizing herbicide applications in weed-crop systems](#)

Anexo 2: resoluciones espaciotemporales de los sensores satelitales utilizados en aplicaciones de agricultura de precisión.

Table 1. Spatiotemporal resolutions of the satellite sensors used for precision agricultural (PA) applications. Satellites that provide high spatial (<30 m) and temporal resolutions (e.g., daily) are more suitable for PA.

Satellite (Years Active)	Sensor (Spatial Resolution)	Temporal Resolution	Application in Precision Agriculture
Landsat 1 (1972–1978)	MS (80 m)	18 days	Crop growth [76]
AVHRR (1979-present)	MS (1.1 km)	1 day	Nutrient management [77]
Landsat 5 TM (1984–2013) Landsat 7 (1999-present) Landsat 8 (2013-present)	MS and Thermal (60 m–Landsat 7, 100 m–Landsat 8, 120 m–Landsat 5)	16 days	Biomass [78]; crop yield [79]; crop growth [80]
SPOT 1 (1986–1990) SPOT-2 (1990–2009)	MS (20 m)	2–6 days	Water management [81]
IRS 1A (1988–1996)	MS (72 m)	22 days	Water management, nutrient management [82]
LIDAR (1995)	VIS (10 cm)	N/A	Topography, nutrient management [83]
RadarSAT (1995–2013)	C-band SAR (30 m)	1–6 days	Crop growth [84]
IKONOS (1999–2015)	MS (3.2 m)	3 days	Crop yield [85]; soil properties [86]; nutrient management [77]; ET estimation [87]
EO-1 Hyperion (2000–2017)	HS (30 m)	16 days	Disease [88,89]
Terra/Aqua MODIS (Terra-1999-present, Aqua-2002-present)	MS (SpectroRadiometer; 250–1000 m)	1–2 days	Crop yield [90]; crop growth [91]
Terra-ASTER (2000-present)	MS and Thermal (15 m–V, NIR, 30 m–SWIR, 90 m–TIR)	16 days	Water management [92]
Radarsat-2	C-band SAR (1–100 m)	3 days	LAI and biomass [98]
RapidEye (2008-present)	MS (6.5 m)	1–5.5 days	Water management [99]; crop yield [100]; crop growth and chlorophyll [101]
GeoEye-1 (2008-present)	MS (1.65 m)	2.1–8.3 days	Nutrient management [102]
WorldView-2 (2009-present)	MS (1.4 m)	1.1 days	Crop growth [103]
Pleiades-1A (2011-present) Pleiades-1B (2012-present)	MS (2 m)	1 day	Crop growth [104,105]
VIIRS Suomi-NPP (2011-present) VIIRS-JPSS-1 (2017-present)	MS (IR Radiometer, 375 m and 750 m)	16 day (repeat)	Crop management (NDVI [106])
KOMPSAT-3 (2012-present)	MS (2.8 m)	1.4 days	Crop growth [107]
Spot-6 (2012-present), Spot-7 (2014-present)	MS (6 m)	1-day	Disease [108]
SkySat-1 (2013-present) SkySat-2 (2014-present)	MS (1 m)	sub-daily	Crop growth [109]
Worldview-3 (2014-present)	SS (1.24 m)	<1 day	Crop growth [110]; weed management [102]
Sentinel-1 (2014-present)	C-band SAR (5–40 m)	1–3 days	Crop growth
Sentinel-2 (2015-present)	MS (10 m–V and NIR, 20 m–Red edge and SWIR, 60 m–2 NIR)	2–5 days	Yield [111]; N management [112]
KOMPSAT-3A (2015-present)	MS (V NIR–2.2 m, SWIR–5.5 m)	1.4 days	Disease [113]
SMAP (2015-present)	L-band SAR (1–3 km) and radiometer (40 km)	2–3 days	Crop yield [114]; water management [115]
TripleSat (2015-present)	MS (3.2 m)	1 day	Crop growth [116]
ECOSTRESS-PHYTIR (2018-present)	Thermal (38 × 69 m)	1–5 days	ET [117]

Fuente : [Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review](#)

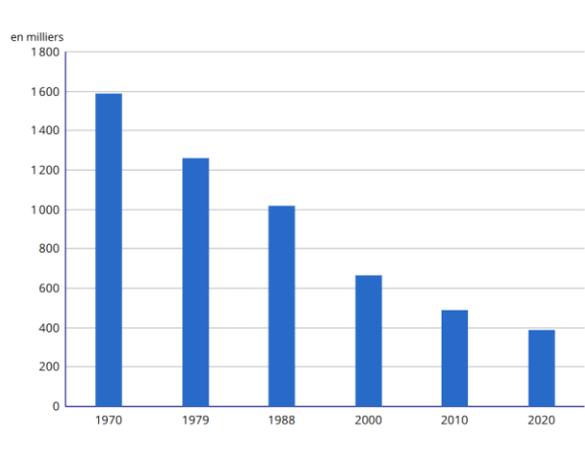
Anexo 3 : comparación de los costes indirectos según las practicas de agricultura de precisión
(maíz)

Table 2
Overhead costs by precision ag practice (2010 corn)

	GPS soil/yield mapping	Guidance system	VRT	Total
	<i>Corn farm spending by technology</i>			<i>(Average all corn farms)</i>
Hired labor (\$/acre)				
Adopter	\$3.69	\$3.50	\$2.82	\$2.45/acre
Non-adopter	\$1.91	\$2.03	\$2.37	
Percent difference	93%**	73%**	19%*	
Hired labor, yield effect (cents/bu)				18 cents/bu
Adopter	21 cents	31 cents	18 cents	
Non-adopter	16 cents	12 cents	17 cents	
Percent difference	31%**	154%**	5%	
Unpaid labor, opportunity cost (\$/acre)				\$30.29/acre
Adopter	\$21.98	\$21.19	\$24.37	
Non-adopter	\$33.88	\$33.96	\$31.65	
Percent difference	-35%**	-38%**	-23%**	
Unpaid labor, yield effect (\$/bu)				\$2.00/bu
Adopter	\$1.41	\$1.71	\$1.55	
Non-adopter	\$2.27	\$2.12	\$2.11	
Percent difference	-38%**	-19%*	-27%**	
Total labor, yield effect (hours/bu)				.10 hours/bu
Adopter	.08	.10	.08	
Non-adopter	.12	.11	.11	
Percent difference	-35%**	-9%	-28%**	
Machinery & equipment capital recovery costs (M&E)				\$4,335.72
Adopter	\$6,404.36	\$7,336.84	\$5,409.45	
Non-adopter	\$3,440.54	\$3,122.06	\$4,088.45	
Percent difference	86%**	135%**	32%**	
M&E (\$/acre)				\$79.97/acre
Adopter	\$84.70	\$85.42	\$80.39	
Non-adopter	\$77.92	\$77.76	\$79.87	
Percent difference	9%**	10%**	1%	
M&E, yield effect (\$/bu)				\$6.17/bu
Adopter	\$5.99	\$7.53	\$6.04	
Non-adopter	\$6.25	\$5.60	\$6.20	
Percent difference	-4%	34%**	-3%	

Fuente : [Farm Profits and Adoption of Precision Agriculture](#)

Anexo 4: número de explotaciones agrícolas de 1970 a 2020.



Fuente : [Nombre d'exploitations – Transformations de l'agriculture et des consommations alimentaires | Insee](#)

Anexo 5: distribución de la producción bruta vegetal

Distribución de la PB Vegetal por Grupos de Cultivos (Euros / Explotación):

Comunes
>=8.000 Tc Comunes>=8000 (Todas)

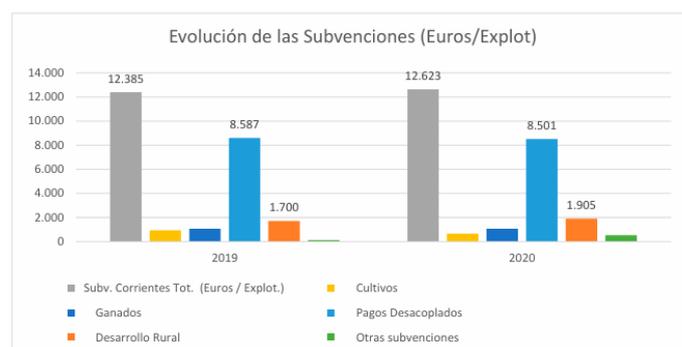
PB*PMC Var_Aux	Agrup_PBVegetal	Euros /Explot.			COMENTARIOS
		2019	2020	Var %	
SE140	Cereales	9.724	10.876	11,9%	Cebada (17,0%); Trigo blando (28,4%); Maiz grano (3,2%)
SE145	Proteaginosas	554	767	38,4%	Lentejas, garbanzos y vezas (77,2%); Guisantes, habas y altramuces (-4,6%)
SE150	Patatas	1.478	1.369	-7,4%	
SE155	Remolacha Azuc.	526	537	2,0%	
SE160	Oleaginosas	1.117	1.175	5,2%	Girasol (-2,5%); Colza (26,4%)
SE165	Industriales	657	500	-23,9%	Algodón (-34,5%); Tabaco (-0,9%)
SE170	Hortalizas y Flores	12.952	13.040	0,7%	Hortalizas en Inv. (2,5%) y en cult hortícola (-0,2%)
SE175	Frutales (Excl. Citricos)	8.627	9.449	9,5%	De Hueso y Pepita (1,5%); Frutales de cáscara (15,1%); De Zonas Subtropicales(11,6%).
SE180	Citricos	4.357	4.738	8,7%	
SE185	Uvas y Vino	5.210	4.999	-4,0%	Uvas de vinificación Vinos de Calidad (DOP) (-5,8%); Uvas de vinificación para Otros Vinos (0,9%)
SE190	Aceitunas y Aceite	7.494	7.413	-1,1%	Aceitunas de almazara (-10,3%)
SE195	Cult. Forrajeros (Incl. Prados y Pastos)	2.168	2.089	-3,6%	Leguminosas (29,8%); maiz verde (8,8%)
SE200	Otros Productos Vegetales	1.081	1.036	-4,1%	Viveros (0,3%)
Total general		55.944	57.989	3,7%	

Fuente: [recan_2020_vs_2019_vers_maquetacion_def_30sept2020_tcm30-623322.pdf](#)

Anexo 6: evolución de las subvenciones

3. EVOLUCIÓN DE LAS SUBVENCIONES

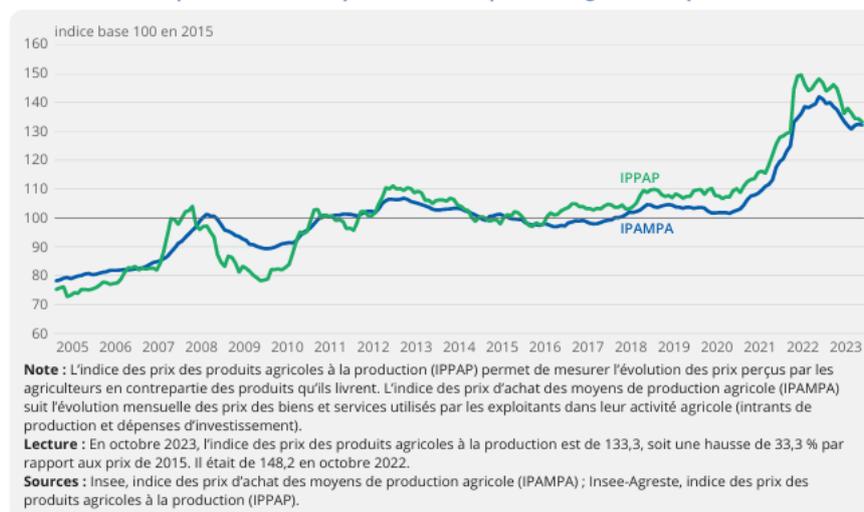
SUBVENCIONES		2019	2020	Var %
Subv. Corrientes Tot. (Euros / Explot.)		12.385	12.623	1,9%
Cultivos		925	660	-28,7%
Ganados		1.053	1.050	-0,3%
Pagos Desacoplados		8.587	8.501	-1,0%
Desarrollo Rural		1.700	1.905	12,1%
Otras subvenciones		120	507	323,0%



Fuente: [recan_2020_vs_2019_vers_maquetacion_def_30sept2020_tcm30-623322.pdf](#)

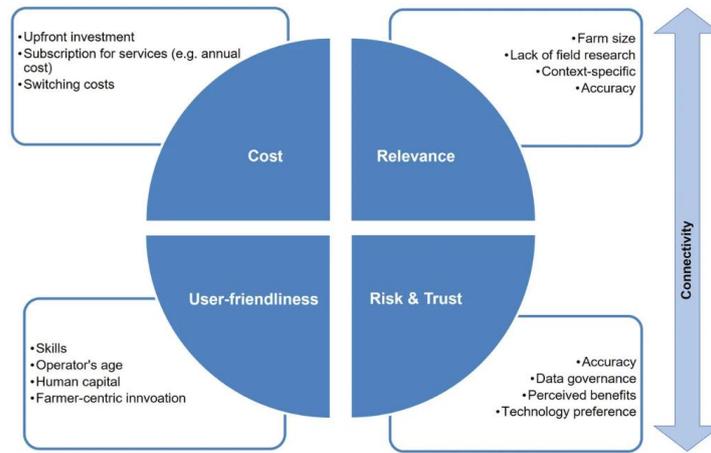
Anexo 7: evolución de los precios mensuales de la producción de los productos agrícolas desde 2005

3. Évolution du prix mensuel à la production des produits agricoles depuis 2005



Fuente: [Iref-Vue-ensemble-Panorama-Agriculture.pdf](#)

Anexo 8: restricciones identificadas para la adopción digital en el ámbito agrícola.



Fuente : Innovation et numérique dans l'agriculture

- Entrevistas realizadas:

Baptise, franceses, Consultor en desarrollo de proyectos de energías renovables/agricultura y gerente de una explotación cerca de Paris.

(traducido en español)

- ¿Desde hace cuánto tiempo practica la agricultura y cuáles son sus principales cultivos?

Tengo una organización específica que no es la más común. Estudié en ISA Lille y comencé a gestionar la granja contratando a un empleado para trabajar en los campos, mientras yo me encargaba de la administración, las compras y la comercialización. También trabajo con técnicos.

En 2016, tuvimos malas cosechas. Hay que saber que la agricultura en Francia es muy intensiva en capital.

- ¿Ha diversificado su explotación?

Sí, cofundé una empresa de consultoría, Artem Conseil, para desarrollar proyectos de metanización junto con un socio agricultor. La metanización es un medio de diversificación: utilizamos residuos vegetales para producir biogás. Una vez extraído el gas, queda un residuo llamado "digestato", que reemplaza los fertilizantes químicos, lo que nos permite ganar autonomía en los suministros, generalmente importados en Francia.

Tenemos un contrato regulado con Engie, que nos compra nuestra producción a un precio fijo, lo que asegura una buena estabilidad económica.

- ¿Cuál es el tamaño de su explotación y qué cultivos produce?

Cultivo trigo, maíz, colza y remolacha en 340 hectáreas. Mi socio posee 500 hectáreas, sumando un total de 850 hectáreas. Hemos mutualizado nuestro equipo para reducir los costes de producción y permitirnos invertir en equipos más eficientes.

- ¿Cuáles son, según usted, los principales desafíos a los que se enfrenta la agricultura?

Los principales desafíos son el cambio climático, la seguridad alimentaria y la rentabilidad económica frente al aumento de los costes de los insumos y las regulaciones.

- ¿Utiliza tecnologías modernas como drones, sensores IoT o robótica?

Hemos reemplazado nuestros antiguos tractores por modelos más modernos. Esto ha cambiado la vida de nuestro empleado: es más eficiente y trabaja menos. Gracias a los nuevos tractores, hemos ganado varios días de trabajo al año.

- ¿Qué ventajas aportan los tractores modernos?

Están equipados con GPS que mejoran la precisión al centímetro. Durante la siembra, la máquina ajusta automáticamente la dosificación y el volante gira solo. Además, nuestros pulverizadores, equipados con corte de secciones, detectan las zonas ya tratadas y detienen la pulverización, reduciendo el desperdicio de productos.

- ¿Ha invertido en opciones adicionales para sus máquinas?

Sí, hemos añadido un sistema de gestión de la presión de los neumáticos (8 000 a 10 000 €). Esto permite aumentar la presión en la carretera y reducirla en los campos para evitar la compactación del suelo, lo que mejora la preservación de la tierra.

- ¿Cuál es el ciclo de vida de sus tractores?

Mantenemos nuestros tractores aproximadamente cinco años. Después de este período, podemos revenderlos sin ser gravados sobre la plusvalía (hasta 300 000 €). Luego, compramos un modelo más eficiente.

- ¿Utiliza drones para el monitoreo de los cultivos?

No, por el momento no veo el interés, pero no estoy cerrado a la idea. Pueden ser útiles para detectar enfermedades en los cultivos de manera temprana.

- ¿Qué tipos de sensores IoT utiliza y qué datos recopila?

Utilizamos sensores meteorológicos para medir la pluviometría y la velocidad del viento. La velocidad del viento es particularmente importante: si hay demasiado viento, no pulverizamos para evitar pérdidas. Esto mejora la toma de decisiones y reduce el desperdicio.

Utilizamos sensores de la startup Sencrop, que instalamos en medio de los campos y que transmiten los datos a través de una aplicación.

- ¿Cuáles son las ventajas de los sensores IoT en su explotación?

Permiten una mejor toma de decisiones, mayor comodidad en el trabajo y optimización del tiempo.

- ¿Ha integrado robots o automatización en algunas tareas agrícolas?

Aún no, pero el interés por estas tecnologías está creciendo.

- ¿Cómo ha modificado la agronomía de precisión sus prácticas agrícolas?

Gracias a las nuevas tecnologías, utilizamos los insumos de manera más precisa y eficiente, lo que optimiza nuestros rendimientos.

- ¿Utiliza aplicaciones o plataformas digitales para la gestión de su explotación?

Sí, utilizamos varias aplicaciones para el clima, la gestión de rendimientos y la organización de las tareas agrícolas.

- ¿Cuáles fueron los costes iniciales para integrar estas tecnologías?

La inversión inicial es elevada: incluye la compra del equipo, su instalación y la formación de los usuarios.

- ¿Cuáles son los costes de mantenimiento de estas herramientas digitales?

El mantenimiento varía según el equipo, pero representa un coste anual importante.

- ¿Ha recibido subvenciones para financiar estas tecnologías?

No, depende de los departamentos y de los programas específicos. Existen ayudas para la compra de equipos y el cambio de prácticas, pero hay que solicitarlas uno mismo, lo cual es un proceso largo y complejo.

- ¿Qué equipos son los más rentables según su experiencia?

El GPS de los tractores, que permite una precisión al centímetro, es una de las herramientas más rentables.

- ¿Estas tecnologías le han permitido reducir ciertos costes?

Sí, han reducido los costes de mano de obra y fertilizantes. También tenemos sensores que controlan directamente la presión en las tuberías de riego y activan/desactivan las bombas y enrolladores a distancia, lo que permite una gestión más eficiente.

- ¿En cuánto tiempo estima poder rentabilizar estas inversiones?

Depende de las condiciones climáticas y de los rendimientos anuales, pero la rentabilidad se mide en varios años.

- ¿Puede dar un ejemplo en el que una tecnología haya mejorado sus rendimientos o reducido sus gastos?

El uso del GPS en nuestros tractores nos permite ahorrar insumos mientras mejora la precisión en la siembra y los tratamientos.

-¿Conoce las políticas francesas destinadas a fomentar la adopción de tecnologías agrícolas?

Sí, existen ayudas para modernizar las explotaciones, pero no siempre están accesibles para todos.

- ¿Ha recibido formación para el uso de estas tecnologías?

No, tuvimos que aprender por nuestra cuenta o a través de los proveedores de equipos.

-Según usted, ¿es suficiente el apoyo en Francia comparado con otros países como España?

El apoyo podría mejorarse, especialmente facilitando el acceso a las ayudas y acompañando más a los agricultores en la transición tecnológica.

- ¿Qué innovaciones podrían transformar la agricultura en los próximos años?

La mejora de los insumos, la selección de plantas para reducir el uso de productos fitosanitarios y la automatización de las tareas agrícolas.

- ¿Estas tecnologías contribuyen a una agricultura más sostenible?

Sí, permiten reducir el consumo de agua, proteger la biodiversidad y optimizar el uso de los recursos.

- ¿Qué desafíos quedan por superar para hacer estas tecnologías accesibles para todos?

El coste inicial, la formación de los agricultores y la rentabilidad a largo plazo siguen siendo obstáculos importantes.

Eva, española, presidenta de la sección de jóvenes de ASAJA (Asociación Agraria de Jóvenes Agricultores).

- Estoy haciendo una tesis sobre las nuevas tecnologías en la agricultura, su rentabilidad y cómo los agricultores pueden aplicarlas. Ana me ha dicho que tú trabajas en los cereales, ¿cierto?

Sí, efectivamente, trabajo en el cultivo de cereales.

- ¿Utilizas tecnologías en tu trabajo?

Sí, por ejemplo, usamos tractores con GPS. También la sembradora tiene su propio ordenador, lo que nos permite controlar bien la cantidad de grano sembrado. Contrastamos los datos de la sembradora con el GPS para asegurar que todo esté bien hecho.

- ¿También os sirve para controlar los costes?

Sí, controlamos el gasto en gasoil, filtros, aceites hidráulicos... todo influye en los costes de producción.

- ¿Has notado una gran diferencia desde que usas estas tecnologías?

Sí, sobre todo en verano. Por ejemplo, ahora tenemos un error de solo 25 kg al sembrar, lo cual es muy preciso. Además, los tractores modernos nos ahorran mucho tiempo al enganchar o desenganchar herramientas.

- ¿Desde cuándo tienes tu tractor y sembradora?

El tractor y la sembradora tienen unos 12 o 13 años. Usamos el ordenador desde entonces.

- ¿Cuánto tiempo tardaste en rentabilizar el tractor?

En unos tres años ya estaba amortizado. Ahora calculamos una vida útil de unos 15 años.

- Sé que trabajas en una asociación de jóvenes agricultores. ¿Puedes contarme un poco?

Sí, trabajamos a nivel nacional. La asociación reúne agricultores y ganaderos en toda España. Ayudamos a jóvenes que quieren empezar en el campo y también explicamos cómo funciona la Política Agraria Común (PAC) desde Bruselas.

- ¿Qué tipo de apoyo ofrecéis a los jóvenes agricultores?

Apoyo técnico a través de una gran red de oficinas. Nos ayudan con la burocracia, formaciones de todo tipo (manejo de maquinaria, productos fitosanitarios, etc.), seminarios sobre cultivos como cereales, vino, aceite...

- ¿Cómo promovéis las nuevas tecnologías en estas formaciones?

Se promueve mucho el riego eficiente, el uso de GPS, la aplicación precisa de fitosanitarios. También tecnologías en ganadería, como collares inteligentes que detectan temperatura corporal.

- ¿Qué es el “cuaderno de campo”?

Es como un diario donde anotamos todas las tareas agrícolas del año: qué productos usamos, qué maquinaria, quién trabajó, cuánto agua utilizamos. Aunque muchos lo hacemos al final del año cuando hay inspecciones.

- ¿Qué consideras esencial para formar a los agricultores jóvenes hacia la digitalización?
La formación es importante, pero también la rentabilidad. Un sensor puede costar 1000 euros, así que debe haber equilibrio entre inversión y retorno económico.

- ¿El Gobierno español ofrece ayudas para la digitalización?
Sí, principalmente en formación: cursos sobre drones, maquinaria, etc. Pero para que haya impacto real, también tiene que haber viabilidad económica. No todo el conocimiento puede aplicarse sin apoyo financiero.

- ¿Qué opinas de la “siembra directa”?
Es una técnica moderna considerada más sostenible, pero depende del clima. En mi zona, parecida al sur de Francia, no es viable por la pluviometría. Así que aunque sea más tecnológica, no siempre es aplicable.

X. Declaración de Uso de Herramientas de Inteligencia Artificial Generativa en Trabajos Fin de Grado.....

ADVERTENCIA: Desde la Universidad consideramos que ChatGPT u otras herramientas similares son herramientas muy útiles en la vida académica, aunque su uso queda siempre bajo la responsabilidad del alumno, puesto que las respuestas que proporciona pueden no ser veraces. En este sentido, NO está permitido su uso en la elaboración del Trabajo fin de Grado para generar código porque estas herramientas no son fiables en esa tarea. Aunque el código funcione, no hay garantías de que metodológicamente sea correcto, y es altamente probable que no lo sea.

Por la presente, yo, Suzanne Derville, estudiante del programa E4 de la Universidad Pontificia Comillas al presentar mi Trabajo Fin de Grado titulado “Innovar para cosechar: Rentabilidad y desafíos de la Agricultura Digital” declaro que he utilizado la herramienta de Inteligencia Artificial Generativa ChatGPT u otras similares de IAG de código sólo en el contexto de las actividades descritas a continuación:

1. **Brainstorming de ideas de investigación:** Utilizado para idear y esbozar posibles áreas de investigación.
2. **Referencias:** Usado conjuntamente con otras herramientas, como Science, para identificar referencias preliminares que luego he contrastado y validado.
3. **Interpretador de código:** Para realizar análisis de datos preliminares.
4. **Constructor de plantillas:** Para diseñar formatos específicos para secciones del trabajo.
5. **Corrector de estilo literario y de lenguaje:** Para mejorar la calidad lingüística y estilística del texto.
6. **Sintetizador y divulgador de libros complicados:** Para resumir y comprender literatura compleja.
7. **Generador de problemas de ejemplo:** Para ilustrar conceptos y técnicas.
8. **Revisor:** Para recibir sugerencias sobre cómo mejorar y perfeccionar el trabajo con diferentes niveles de exigencia.
9. **Traductor:** Para traducir textos de un lenguaje a otro.

Afirmo que toda la información y contenido presentados en este trabajo son producto de mi investigación y esfuerzo individual, excepto donde se ha indicado lo contrario y se han dado los créditos correspondientes (he incluido las referencias adecuadas en el TFG y he explicitado para que se ha usado ChatGPT u otras herramientas similares). Soy consciente de las implicaciones académicas y éticas de presentar un trabajo no original y acepto las consecuencias de cualquier violación a esta declaración.

Fecha: 18/03/2025

Firma: Suzanne Derville