



Universidad de Jaén

Facultad de Ciencias  
Experimentales

# Agricultura 4.0 en el sector del olivar y otros cultivos mediterráneos: avances conseguidos y retos pendientes

Autor: Juan Miguel Peña Moreno

Grado: Ciencias Ambientales

Fecha: 16/06/2025



CREA



Universidad de Jaén



Trabajo Fin de Grado

# **AGRICULTURA 4.0 EN EL SECTOR DEL OLIVAR Y OTROS CULTIVOS MEDITERRÁNEOS: AVANCES CONSEGUIDOS Y RETOS PENDIENTES**



*Juan Miguel P.M*

**Alumno/a: Juan Miguel Peña Moreno  
Jaén, Junio, 2025**

## Índice

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUCCIÓN: EL CULTIVO DEL OLIVAR .....                         | 1  |
| 1.1.1 Importancia económica .....                                    | 1  |
| 1.1.2 Importancia Social .....                                       | 3  |
| 1.1.3 Importancia ambiental .....                                    | 3  |
| 1.2 PROBLEMÁTICAS EN EL SECTOR DEL OLIVAR.....                       | 5  |
| 2 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....                                     | 8  |
| 2.1 Justificación del Estudio .....                                  | 8  |
| 2.2 Objetivos .....                                                  | 10 |
| 3 AGRICULTURA INTELIGENTE .....                                      | 11 |
| 3.1 Definición agricultura inteligente.....                          | 11 |
| 3.2 Evolución de la agricultura a lo largo de la historia .....      | 11 |
| 3.3 Objetivos principales y ventajas de la agricultura 4.0 .....     | 13 |
| 3.4 Áreas de aplicación .....                                        | 14 |
| 3.4.1 Utilización eficaz de los recursos .....                       | 14 |
| 3.4.2 Monitoreo remoto de cultivos .....                             | 15 |
| 3.4.3 Gestión del riego.....                                         | 15 |
| 3.4.4 Control de plagas y enfermedades .....                         | 16 |
| 3.4.5 Gestión de la cadena de suministro .....                       | 16 |
| 3.4.6 Gestión de los cultivos .....                                  | 16 |
| 3.5 Retos y beneficios de la agricultura inteligente.....            | 17 |
| 3.5.1 Retos a los que se encuentra la agricultura inteligente.....   | 17 |
| 3.5.2 Beneficios de la Agricultura Inteligente.....                  | 17 |
| 4 PRINCIPALES TECNOLOGÍAS USADAS EN AGRICULTURA 4.0 .....            | 18 |
| 4.1 Teledetección (Remote Sensing) .....                             | 18 |
| 4.1.1 Plataformas desde dónde se obtiene las imágenes o señales..... | 18 |
| 4.2 Sensores In-situ.....                                            | 24 |
| 4.3 Sensores Sentinel.....                                           | 24 |
| 4.4 Métodos para procesar imágenes adquiridas .....                  | 25 |
| 4.5 Internet de las cosas (IOT) .....                                | 27 |
| 4.6 Gemelos Digitales .....                                          | 28 |
| 4.7 Machine Learning .....                                           | 30 |
| 5 Agricultura 4.0 en el olivar: OLIVICULTURA INTELIGENTE .....       | 31 |
| 5.1 Aplicabilidad en el sector del olivar .....                      | 31 |
| 5.2 NIRS olivo (Espectroscopía de infrarrojo cercano).....           | 31 |
| 5.3 Uso de tecnologías de riego en el olivar .....                   | 34 |

|     |                                                                   |    |
|-----|-------------------------------------------------------------------|----|
| 5.4 | Predicción de la producción en el olivar .....                    | 35 |
| 5.5 | Uso de tecnologías empleadas en la fertilización del olivar ..... | 36 |
| 5.6 | Automatización del proceso productivo .....                       | 37 |
| 6   | DISCUSIÓN Y PERSPECTIVAS FUTURAS .....                            | 38 |
| 7   | CONCLUSIÓN .....                                                  | 39 |
| 8   | BIBLIOGRAFÍA .....                                                | 40 |
| 9   | Anexo I: Metodología De Trabajo .....                             | 49 |

## **RESUMEN TFG**

El crecimiento de la población humana ha causado serias dudas sobre la limitación de recursos a nivel mundial, provocando una rápida respuesta por parte de los investigadores para poder mejorar la eficiencia y la productividad agrícola, integrando nuevas herramientas y tecnologías de última generación.

En este contexto donde surge que la agricultura 4.0 o agricultura inteligente puede definirse como un ciclo de control ciberfísico que integra la detección el monitoreo, los análisis y la planificación y el control inteligente de las operaciones agrícolas para todos los procesos agrícolas relevantes.

En el caso del olivar y otros cultivos mediterráneos también se ha hecho de notar la introducción de todas aquellas tecnologías relacionadas con la agricultura inteligente. Como la mayoría de los cultivos, la pretensión será la de mejorar la productividad y la eficiencia de los recursos agrícolas sin olvidar la sostenibilidad ambiental, ya que como sabemos el olivar es uno de los cultivos por excelencia en la cuenca mediterránea, y de gran importancia económica en el sector agrícola español y andaluz.

En este trabajo se hará una revisión crítica de las novedades tecnológicas que permiten mejorar el sector agrícola en el olivar y otros cultivos mediterráneos

## **ABSTRACT**

The growth of the population has raised concerns about the global limitation of resources, driving the development of new technologies in agriculture.

In this context, Agriculture 4.0, or smart farming, is introduced as a cyber-physical system that enables detection, monitoring, analysis, and intelligent control of agricultural processes.

This paper focuses on a critical review of the main technological innovations applied to olive groves and other Mediterranean crops, with the aim of improving efficiency, productivity, and sustainability in the agricultural sector, particularly in regions such as Spain and Andalucía.

## **1. INTRODUCCIÓN: EL CULTIVO DEL OLIVAR**

### **1.1. Importancia cultivo del olivar**

El olivar es uno de los cultivos más importantes de las regiones mediterráneas. Junto con el cultivo de la vid y los cereales, representa su actividad agrícola más tradicional y el rasgo más llamativo de su paisaje agrícola.

Ya desde siglos atrás el cultivo del olivar hace notar su presencia en el mediterráneo.

Este árbol de larga duración integra e identifica su paisaje rural en la cuenca mediterránea, constituyendo el aceite de oliva para sus habitantes del mediterráneo, una de las principales fuentes de grasas nutritivas, su producto de exportación más valioso y una parte fundamental de su identidad cultural (Loumou and Giourga., 2002).

#### *1.1.1 Importancia económica*

El olivar ha sido clave en el desarrollo rural mediterráneo, generando ingresos y empleo (Loumou y Giourga, 2002). En España, el olivar ocupa 2,75 millones de hectáreas, con un 93 % destinado a olivar de almazara, distribuyéndose en 15 comunidades autónomas, destacando Andalucía con 1,65 millones de hectáreas, especialmente en Jaén, conocida como el “mar de olivos” (MAPA, 2019).

La producción ecológica ha crecido notablemente en Andalucía, pasando de 62.437 ha a 117.237 ha en diez años, aportando beneficios sociales y económicos (Junta de Andalucía, 2014, 2023). La producción de aceite de oliva presenta gran variabilidad anual, afectando principalmente a los precios (MAPA, 2025).

Aproximadamente 350.000 agricultores trabajan en el sector, que genera 15.000 empleos industriales y 32 millones de jornales por campaña (MAPA, 2025). Andalucía produce el 80 % del aceite nacional, con Jaén liderando con el 37 %, seguida de Castilla La Mancha (8 %) y Extremadura (4 %) (MAPA, 2025).

Podemos destacar en la Figura 1.1 la cantidad (en miles de toneladas) de aceite producido en la reciente campaña 2024/25, como se puede ver a continuación:

| CAMPAÑA 2024/25<br>(Estimación)<br>ud: miles t | ACEITE DE OLIVA <sup>1</sup> | ACEITE DE<br>ORUJO <sup>1</sup> | ACEITUNA DE<br>MESA <sup>2</sup> |
|------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Existencias iniciales                          | 190,389                      | 48,200                          | 272,117                          |
| Producción                                     | 1.380,000                    | 125,000                         | 532,714                          |
| Importaciones                                  | 210,000                      | 75,000                          | 55,000                           |
| UE-27                                          |                              |                                 |                                  |
| Extra UE-27                                    |                              |                                 |                                  |
| <b>TOTAL RECURSOS</b>                          | <b>1.780,389</b>             | <b>248,200</b>                  | <b>859,831</b>                   |
| Consumo interior                               | 495,000                      | 63,000                          | 190,000                          |
| Exportaciones                                  | 990,000                      | 129,000                         | 290,000                          |
| UE-27                                          |                              |                                 |                                  |
| Extra UE-27                                    |                              |                                 |                                  |
| Ajustes y Pérdidas <sup>3</sup>                |                              |                                 | 79,000                           |
| Existencias finales                            | 295,389                      | 56,200                          | 300,831                          |
| <b>TOTAL REALIZACIÓN</b>                       | <b>1.780,389</b>             | <b>248,200</b>                  | <b>859,831</b>                   |

Figura 1.1 Producción Agrícola Temporada 2025 (MAPA 2025)

España es el principal país exportador de aceite de oliva a nivel mundial. De forma aproximada el 65% de su comercialización total es exportado hacia otros países para verlos mejor nos fijamos en la Figura 1.2.

| Posición<br>Ránking                                           | Ránking países<br>Campaña 24/25<br>Top 20 | Valor<br>Exportaciones<br>(Millones €) | Variación<br>Valor vs.<br>2023/4            | Variación<br>Ránking vs.<br>2023/24 | Valor<br>Unitario<br>(VU)<br>(€/t) | VU:<br>Variación<br>(%) vs.<br>Promedio | Variación<br>Valor<br>Unitario vs.<br>2023/24 |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1                                                             | Italia                                    | 536,41                                 | 15,1%                                       | 0                                   | 5.412,515                          | -12,9%                                  | -30,5%                                        |
| 2                                                             | Estados Unidos                            | 267,09                                 | -11,1%                                      | 0                                   | 7.603,362                          | 22,3%                                   | -2,0%                                         |
| 3                                                             | Francia                                   | 155,41                                 | -1,2%                                       | 1                                   | 6.131,019                          | -1,4%                                   | -4,6%                                         |
| 4                                                             | Portugal                                  | 128,48                                 | -32,6%                                      | -1                                  | 5.251,526                          | -15,5%                                  | -28,4%                                        |
| 5                                                             | Reino Unido                               | 82,35                                  | -19,7%                                      | 0                                   | 6.619,850                          | 6,5%                                    | -1,9%                                         |
| 6                                                             | Australia                                 | 50,33                                  | 91,2%                                       | 5                                   | 8.549,979                          | 37,6%                                   | 14,0%                                         |
| 7                                                             | México                                    | 44,24                                  | -7,8%                                       | -1                                  | 8.209,577                          | 32,1%                                   | -3,7%                                         |
| 8                                                             | Bélgica                                   | 40,98                                  | 107,0%                                      | 7                                   | 6.344,161                          | 2,1%                                    | 20,2%                                         |
| 9                                                             | Países Bajos                              | 36,62                                  | -2,1%                                       | 0                                   | 6.648,042                          | 7,0%                                    | 6,1%                                          |
| 10                                                            | Corea del Sur (Rep. de                    | 36,42                                  | 71,9%                                       | 3                                   | 7.183,205                          | 15,6%                                   | -23,7%                                        |
| 11                                                            | Alemania                                  | 35,20                                  | -19,7%                                      | -3                                  | 5.907,210                          | -5,0%                                   | -8,9%                                         |
| 12                                                            | Japón                                     | 29,30                                  | -17,2%                                      | -2                                  | 7.695,161                          | 23,8%                                   | -2,4%                                         |
| 13                                                            | China                                     | 26,55                                  | 12,3%                                       | -1                                  | 7.392,636                          | 18,9%                                   | -4,6%                                         |
| 14                                                            | Canadá                                    | 23,20                                  | 36,1%                                       | 2                                   | 6.937,284                          | 11,6%                                   | -13,1%                                        |
| 15                                                            | Israel                                    | 15,07                                  | 943,1%                                      | 39                                  | 7.490,832                          | 20,5%                                   | 2,5%                                          |
| 16                                                            | Brasil                                    | 14,51                                  | -69,5%                                      | -9                                  | 7.153,740                          | 15,1%                                   | -18,9%                                        |
| 17                                                            | Polonia                                   | 13,70                                  | 37,2%                                       | 3                                   | 6.876,405                          | 10,6%                                   | -6,3%                                         |
| 18                                                            | Suiza                                     | 13,03                                  | 30,2%                                       | 0                                   | 7.342,652                          | 18,1%                                   | 3,6%                                          |
| 19                                                            | Marruecos                                 | 12,45                                  | 57,0%                                       | 3                                   | 5.522,706                          | -11,1%                                  | -10,6%                                        |
| 20                                                            | Colombia                                  | 12,09                                  | -39,8%                                      | -6                                  | 7.531,289                          | 21,2%                                   | -15,9%                                        |
| Fuente: Datacomex                                             |                                           |                                        | Promedio ponderado<br>Valor Unitario Top 20 |                                     | 6.215                              |                                         |                                               |
| * Periodo comprendido entre los meses de<br>oct '24 y ene '25 |                                           |                                        |                                             |                                     |                                    |                                         |                                               |

Figura 1.2 Principales Destinos en valor de las exportaciones (Datacomex)

El 88% del total de exportaciones que hace el país se dan (teniendo en cuenta el valor en exportaciones) para Italia, seguida de Estados Unidos, Francia, Portugal y Reino Unido, tal y como se ve en la Figura 1.2. Entre todos estos países suponen un total de 1.667 millones de euros por campaña, lo cual supone un 4,11% del PIB agrícola a nivel nacional, (según INE el PIB agrícola en España 2024 fue de 40.491 millones de euros).

### *1.1.2 Importancia Social*

El cultivo del olivar es socialmente importante en España, generando más de 32 millones de jornales temporales por campaña debido a la recolección de aceitunas (MAPA, 2025). Además, el turismo oleícola atrae a visitantes interesados en el proceso del aceite de oliva, promoviendo la diversificación económica rural, la empleabilidad y la cultura local, así como la difusión del aceite de oliva fuera del país (Quesada et al., 2023).

Tradicionalmente, el olivar fomenta la cohesión social en regiones donde la cosecha se transmite de generación en generación, manteniendo costumbres y actividades propias de estas zonas rurales.

### *1.1.3 Importancia ambiental*

Antes de destacar la importancia ambiental que presenta el cultivo del olivar, tenemos que observar las distintas extensiones territoriales del sector olivarero en las comunidades autónomas con más presencialidad de olivos en sus tierras agrícolas (Figura 1.3), tres de las comunidades autónomas españolas que más cultivo del olivar se tiene son Andalucía, Castilla-La Mancha y Extremadura.

Si bien los datos extensionales del cultivo del olivar pueden cambiar de un año para otro, algunos de los datos por comunidad que se tienen son:

- Andalucía: Como bien sabemos es la comunidad autónoma con más cantidad de olivos de toda España con un total de 1.652.489 ha.
- Castilla-La Mancha: Con un total de 435.816 ha.
- Extremadura: Siendo la tercera comunidad autónoma con más extensión de olivares con un total de 287.207 ha.

La extensión total de olivares en España nos da un total aproximado de 2.733.620 ha (MAPA.,2024).

Mapa 1. Distribución provincial de la superficie de olivar/superficie geográfica. Año 2019

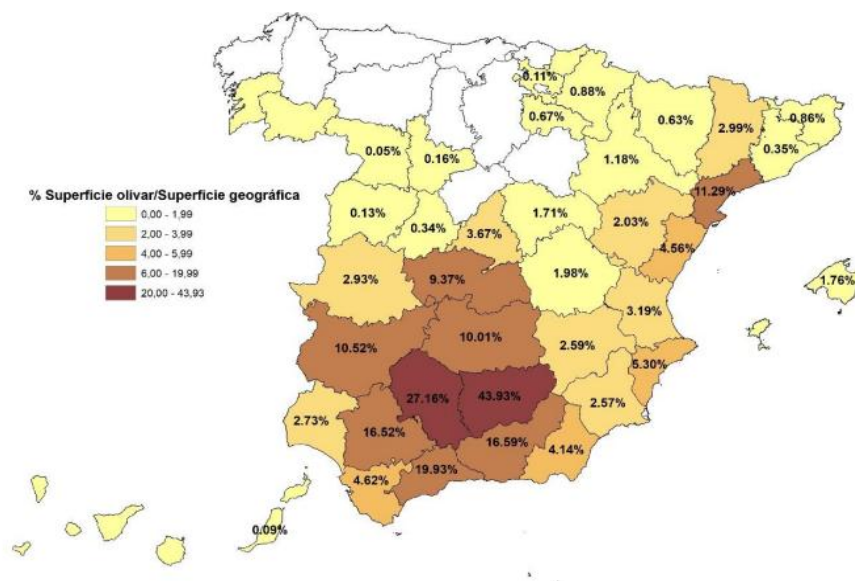


Figura 1.3 Mapa porcentual extensión olivar/superficie Geográfica (ESCYRCE., 2019)

La distribución del olivar en nuestras comunidades autónomas se da sobre todo en zonas del Este, Sur, y Suroeste de la península ibérica. Tenemos que destacar con gran importancia Andalucía donde se concentra alrededor del (60,5%) de los olivares de la superficie nacional. En importancia de extensión le siguen en importancia Castilla-La Mancha (15,9%) y Extremadura (10,5%). El resto de Las comunidades Autónomas suman el (13,1%) de la superficie nacional de olivar (ESCYRCE, 2019).

Esto demuestra que el olivar ocupa una gran extensión del terreno a nivel nacional y andaluz, lo que implica desde el punto de vista cuantitativo como cualitativo, la interferencia de forma decisiva sobre el desempeño de los procesos ambientales, o servicios ecosistémicos, en estas áreas. Algunos de estos servicios ecosistémicos son:

### Servicios de provisión

- **Alimentos:** Producción de aceitunas y aceite de oliva, base de la dieta mediterránea.

- **Biomasa y leña:** Aprovechamiento de restos de poda y madera como fuente energética.
- **Subproductos agroindustriales:** Hueso de aceituna, alperujo, compost. (Gómez et al., 2009).

### **Servicios de regulación**

- **Regulación del clima:** Secuestro de carbono en el suelo y biomasa.
- **Conservación del suelo:** Las cubiertas vegetales reducen la erosión.
- **Regulación hídrica:** Infiltración de agua y mejora del ciclo hidrológico.
- **Control biológico:** Hábitats para enemigos naturales de plagas (Gómez et al., 2009).

### **Servicios de soporte**

- **Mantenimiento de la biodiversidad:** El olivar tradicional alberga flora y fauna asociada.
- **Formación de suelo y ciclo de nutrientes:** Las raíces, restos vegetales y prácticas como el compostaje enriquecen el suelo (Barea et al., 2011), (Guzmán et al., 2010).

## **1.2 PROBLEMÁTICAS EN EL SECTOR DEL OLIVAR**

Una vez repasadas las características del olivar, podemos abordar el estudio de las principales problemáticas en el sector del olivar, en los tres grandes aspectos (económico, social y ambiental) que componen la sostenibilidad:

### **• Problemáticas Económicas**

El cultivo del olivar es clave en la vida del mediterráneo, integrándose sosteniblemente con los recursos naturales. Sin embargo, el medio olivarero natural está siendo afectado por las presiones socioeconómicas actuales. Por ello, conservar de forma tradicional el olivar es un reto importante para la agricultura actual (Loumou and Giourga., 2002).

Una repercusión económica que está afectando a muchos de los agricultores en el sector del olivar se centra en los costes de producción. Según AEMO, la subida de costes de producción salariales para los agricultores (Datos 2020) fue de un 9%, esto supone unas menores ganancias del agricultor por campaña.

Teniendo en cuenta que aun habiendo subido en ese año el precio del aceite de oliva, la liquidación en España fue en 2023 de unos 5,85 €/kg (Figura 1.4), y si vemos los costes de precio medio ponderado de unos 6.22 €/kg esto quiere decir que en algunos casos no se compensa económicamente su venta (AEMO, 2023).

| Sistema de Cultivo                             | Coste kg a ceite |
|------------------------------------------------|------------------|
| Olivar Tradicional de Montaña. Secano          | 10,03 €          |
| Olivar Tradicional Pendiente Moderada. Secano  | 6,98 €           |
| Olivar Tradicional Pendiente Moderada. Regadío | 4,48 €           |
| Olivar Intensivo. Secano                       | 5,33 €           |
| Olivar Intensivo. Regadío                      | 3,45 €           |
| Olivar en Seto. Regadío                        | 3,07 €           |
| Precio Medio Ponderado                         | 6,22 €           |

Figura 1.4 Datos costes de cultivo olivar (AEMO., 2023)

- **Problemáticas Sociales**

Un riesgo clave en el cultivo del olivar es su cambio hacia la super intensificación, lo que puede afectar la estructura demográfica, alterando el trabajo tradicional y reduciendo la empleabilidad agrícola. Esto impulsa la migración a las grandes ciudades y causa despoblación rural. Además, puede provocar la desaparición de pequeños productores que no pueden competir con el modelo super intensivo, generando consecuencias económicas graves para quienes cultivan de forma tradicional (Rodríguez-Cohard et al., 2020).

Como muestra la Figura 1.5, la reducción de jornales en Jaén es abismal: de 5.103.620 en cultivo tradicional a 1.127.000 en el super intensivo. Esto evidencia el impacto económico y social del olivar super intensivo en la población trabajadora.

|      | Total ha | Cultivo tradicional (ha) | Cultivo de alta densidad | % de alta densidad | Jornales Tradicional | Jornales Alta densidad | Puestos de trabajo anuales tradicional | Puestos de trabajo anuales alta densidad | Diferencia en empleo tradicional | Diferencia en empleo alta densidad | Diferencia Neta |
|------|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------|----------------------|------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| Jaén | 592.867  | 477.867                  | 115.000                  | 18,79              | 5.103.620            | 1.127.000              | 18.227                                 | 4.025                                    | -4.251                           | 3.900                              | -315            |

Figura 1.5 Empleabilidad según tipo de olivar (Penco (2000), Parras et al. (2020), Rodríguez-Cohard et al. (2020), con datos de AGAPA (2019) y consulta a agricultores).

- **Problemáticas Ambientales**

La erosión del suelo, definida como la ruptura de sus agregados y estructura con traslado de partículas (Lal, 2002), es un problema relevante en el olivar, causado principalmente por precipitaciones intensas, pendientes y escasa vegetación, con pérdidas entre 2 y 4 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Taguas et al., 2012). En Andalucía y Jaén, la erosión hídrica es la más importante debido a la baja cobertura vegetal (20% en Jaén, MAGRAMA, 2015) y lluvias intensas, generando cárcavas y surcos (Ribeiro, 2018; Hayas et al., 2017).

El manejo convencional provoca pérdida de materia orgánica (1% en Jaén, Freibauer et al., 2004) y afecta la fertilidad (Castro et al., 2008). La maquinaria pesada altera la estructura del suelo y reduce su capacidad de retener agua (Moreno et al., 1997; Gómez et al., 1999; Álvarez et al., 2007; Lozano-García et al., 2011; Gómez et al., 2009; García-Estrigana et al., 2010). Además, disminuye la calidad biológica al afectar la biota y los procesos microbianos comparado con olivares ecológicos (Calero et al., 2013; Gómez et al., 2009).

Con el aumento del olivar y consumo de AOVE, surgen retos de sostenibilidad que la olivicultura 4.0 y agricultura de precisión abordan, integrando datos para mejorar eficiencia, productividad y calidad del aceite (Roma y Catania, 2022).

## **2 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS**

### **2.1 Justificación del Estudio**

Como se ha podido comprobar en el apartado anterior, el sector del olivar se encuentra en un momento de transición hacia nuevas formas de producción que aborden los problemas de sostenibilidad ambiental, social y económica que padece.

Desde el punto de vista normativo, en los próximos años se prevé la implantación progresiva de una gran cantidad de leyes y reglamentos (algunos autores hablarían de un verdadero “tsunami normativo”), que van a obligar a los agricultores, cooperativas y empresas del sector a realizar un ingente esfuerzo de adaptación.

Así, en el futuro próximo, la digitalización y la aplicación de las tecnologías de la agricultura inteligente se convertirá en una herramienta esencial para el gestor agrícola, quien habrá de formarse en la adquisición de estas nuevas competencias para poder mantener la competitividad de su explotación. En este subapartado, se comentarán algunos de los principales marcos normativos de próxima aplicación:

1) La Política Agraria Común (PAC), en su periodo actual 2023 – 2027, ha cambiado de forma importante los requerimientos agroambientales, en relación a periodos previos (RD 1049/2022). Así, se han incrementado en varios puntos tanto los Requisitos Legales de Gestión (RLG) como las Buenas Condiciones Agrarias y Medioambientales (BCAM), de obligado cumplimiento para recibir el pago básico por hectárea. Como ejemplo de esto, se endurece el control sobre la aplicación de productos fitosanitarios (RLG 8, “uso sostenible de los

plaguicidas”) o se regula el concepto de “nutrición sostenible” (BCAM 10, Real Decreto 1051/2022). Esto último implicará la obligación de elaborar un balance de nutrientes previo a la fertilización, que deberá hacerse por un técnico habilitado específicamente para este fin (“asesor de fertilización”).

**2)** Por otra parte, la PAC obligará a incluir todos los aspectos relevantes del manejo de la explotación, como son el empleo de fitosanitarios, fertilizantes y enmiendas orgánicas, en un cuaderno digital de campo (Real Decreto 1054/2022), lo que supondrá un primer paso decisivo en la digitalización del sector agrícola. Esta norma será de obligada aplicación, después de un periodo de moratoria de 1 año, a partir del 1 de septiembre de 2025.

**3)** Otra de las “revoluciones” que se van a producir en las empresas es la obligación de elaborar y presentar los denominados “informes de sostenibilidad”. Un informe de sostenibilidad es un documento que detalla el desempeño de una empresa en relación con sus impactos ambientales, sociales y de gobernanza (ESG). Este informe proporciona información transparente sobre las políticas, prácticas y métricas no financieras de la empresa, permitiendo a las partes interesadas evaluar su compromiso con el desarrollo sostenible. Esta normativa surge por la transposición directa de la Directiva (UE) 2022/2464. Se está a la espera de que se definan indicadores específicos de sostenibilidad en el sector agroalimentario, cuya publicación es inminente (Bardají-Azcárate et al., 2024).

**4)** Un aspecto que será muy relevante en el futuro del sector serán los denominados “créditos de carbono”, concepto alineado con la Estrategia “de la granja a la mesa” (COM (2020) 381 final), que pretende definir el concepto de

“carbonocultura” o economía del carbono en el sector agroalimentario. Los créditos de carbono generarán pagos extra al agricultor en función del CO<sub>2</sub> que fije en su explotación, medido en t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. La implantación efectiva de los créditos de carbono se prevé a medio plazo (probablemente coincidiendo con el nuevo periodo de la PAC post-2027), dado que aún se está trabajando en el procedimiento definitivo de certificación de las extracciones de carbono (COM (2022) 672 final).

5) Finalmente, a medio plazo adquirirá también mucha importancia la nueva directiva comunitaria respecto a la salud del suelo, implementada en la denominada Ley de Vigilancia del suelo (COM (2023) 416 final). Según la directiva, los gobiernos habrán de certificar la salud de los suelos y garantizar la aplicación de prácticas de gestión sostenible necesarias para la mejora de la misma.

Como se puede adivinar, la aplicación, la monitorización y la validación de este nuevo marco normativo será muy difícil, por no decir imposible, sin la aplicación de las técnicas de digitalización, sensorización, teledetección, etc., que constituyen, en conjunto, lo que conocemos como Agricultura Inteligente o de precisión.

## **2.2 Objetivos**

El objetivo general de este trabajo es analizar bibliográficamente el grado de penetración y/o aplicación de las nuevas tendencias de la agricultura inteligente o Agricultura 4.0 en el sector del olivar. Para ello se tendrán en cuenta los siguientes objetivos específicos:

1. Estudio de las principales tecnologías empleadas en Agricultura inteligente.
2. Grado de penetración y aplicación de estas tecnologías en olivar.
3. Planteamiento de las tendencias actuales y futuras de la agricultura inteligente en el sector del olivar.

### 3 AGRICULTURA INTELIGENTE

#### 3.1 Definición agricultura inteligente

La agricultura inteligente o agricultura de precisión es un concepto de agricultura relativamente nuevo y que nace gracias a un campo multidisciplinario de ciencias que están en continua evolución y desarrollo. La agricultura inteligente pretende incrementar la precisión y exactitud de las prácticas agrícolas, mejorar la sostenibilidad de las explotaciones, optimizar los recursos disponibles y realizar un proceso de toma de decisiones basado en la digitalización, la integración de datos y la IA (Ahmed et al., 2024).

Desde esta perspectiva, la agricultura inteligente mejora aspectos importantes como la detección, monitoreo, análisis y planificación de las actividades agrícolas, que se integran de forma sostenible en el medio físico (Verdow et al., 2020).

#### 3.2 Evolución de la agricultura a lo largo de la historia

En la figura 3.2 se hace un resumen de la evolución histórica de la agricultura moderna, desde el inicio de la revolución industrial (finales del siglo XVIII).

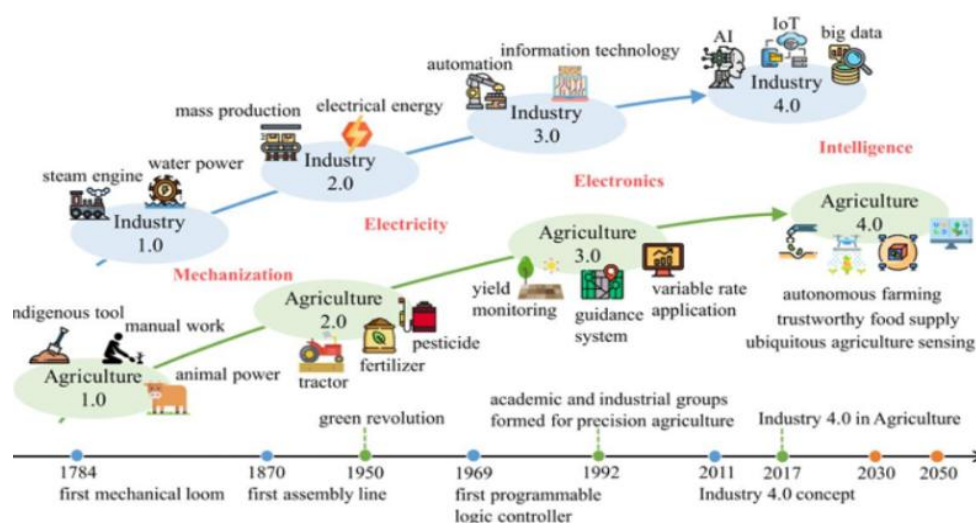


Figura 3.2 Evolución de la agricultura (Liu et al., 2021)

La evolución de la agricultura ha estado correlacionada con el desarrollo del sector industrial. La Agricultura 1.0 abarca desde la antigüedad hasta finales del siglo XIX, caracterizándose por el uso de herramientas manuales y tracción animal (Liu et al., 2021).

La Agricultura 2.0 (1784–1870) trajo un aumento de la producción alimentaria con menor necesidad de trabajo manual, gracias a la incorporación de maquinaria (Liu et al., 2021). La llamada "Revolución Verde" introdujo fertilizantes, pesticidas sintéticos y mecanización, incrementando la productividad, pero también el consumo de combustibles fósiles, el uso excesivo de agua y productos químicos, y la alteración ambiental (Zambon et al., 2019; CEMA, 2017a).

La Agricultura 3.0 o Agricultura de Precisión, surgió en los años 80 con los avances en informática y electrónica, permitiendo menor uso de energía, agua y agroquímicos, y mejorando el rendimiento con beneficios ambientales (Dayioglu and Turker., 2021). La adopción del GPS en los 80 y 90 permitió un manejo preciso del campo. En la década de 2010, la digitalización, el uso del PC y la IA no generativa marcaron un salto en la toma de decisiones basada en datos (Wolfert et al., 2017).

En los últimos años, el auge del IoT, la sensorización y el big data ha iniciado una era de monitoreo en tiempo real (Kumar et al., 2023). Además, el uso de IA generativa permite simular escenarios complejos (ej. climáticos) y tomar decisiones estratégicas (Shahriar et al., 2025). Esto da paso a la Agricultura 4.0, una revolución caracterizada por agricultura autónoma y controlada, donde todos los sistemas están interconectados y gestionables en tiempo real.

Este modelo permite simulaciones predictivas con IA, control eficiente de recursos y avances como los Gemelos Digitales, que permitirán al agricultor gestionar toda la producción desde su oficina, sin laboreos manuales (Somalvico et al., 2024; McKinsey, 2024; Dayioglu and Turker., 2021).

A continuación, se muestra una tabla resumen (Tabla 5) sobre las principales diferencias entre la agricultura 4.0 y la agricultura 3.0:

Tabla 5 Diferencias entre agricultura 4.0 y agricultura 3.0

| <b>Agricultura 4.0</b>                                                                                                                                           | <b>Agricultura 3.0</b>                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <u>-Herramientas como:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Internet de las cosas</li> <li>• Big Data</li> <li>• IA (Inteligencia artificial)</li> </ul> | <u>-Herramientas como:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• GPS</li> <li>• Sensores</li> <li>• Maquinaria automatizada</li> </ul> |
| -Posibilidad de trabajar con millones de datos a tiempo real.                                                                                                    | -Uso de datos limitados                                                                                                                   |
| -Presenta una automatización total (Utilización de robots, drones, Inteligencia artificial).                                                                     | -Presenta una automatización parcial                                                                                                      |
| -Cuenta con una alta conectividad (conectividad en la nube, dispositivos IOT)                                                                                    | -Conectividad baja (Datos almacenados en ordenadores).                                                                                    |
| -Cuenta con capacidad predictiva de forma autónoma.                                                                                                              | -Las predicciones se basan en modelos históricos.                                                                                         |

### 3.3 Objetivos principales y ventajas de la agricultura 4.0

Los objetivos principales de la agricultura 4.0 son gracias a la utilización de las nuevas tecnologías avanzadas para mejorar el control agrícola sobre la producción, eficiencia, la sostenibilidad de los recursos agrícolas. Permite garantizar una mejora sustancial de la misma en la industria alimentaria causando como consecuencia un mayor abastecimiento de alimentos hacia una población en aumento, por tanto, una forma de incluso mejorar nuevas técnicas de cultivo (gracias a la IA) nos permiten tener más producción con menos costo ambiental y de recursos (*Dayioglu and Turker., 2021*).

Muchas de las ventajas que se tienen al respecto son:

- Aumento de la productividad
- Optimizar el uso de los recursos

- Mejora de la sostenibilidad a largo plazo
- Mejorar en la toma de decisiones gracias a la IA
- Automatizar procesos agrícolas permitiendo un menor uso de trabajo manual favoreciendo en la mejora de la eficiencia.
- Se mejora en la trazabilidad de los productos agrícolas, ya que toda la línea de producción agrícola esta almacenada.

### **3.4 Áreas de aplicación**

Las áreas de aplicación clave de la agricultura inteligente incluyen el crecimiento de cultivos, el monitoreo de cultivos, la gestión del ganado, la gestión del riego, el control de plagas y enfermedades, la optimización de la cadena de suministro y los sistemas de gestión agrícola, etc., (Ahmed et al., 2024).

#### **3.4.1 Utilización eficaz de los recursos**

La agricultura inteligente utiliza tecnologías avanzadas como IoT, sensores y análisis de datos para modificar el crecimiento de los cultivos. Los sensores monitorizan en tiempo real variables ambientales como el suelo, humedad y nutrientes, proporcionando datos precisos para decisiones informadas (Huang et al., 2021). Los sistemas de riego automatizados optimizan el uso del agua, mientras que drones y satélites capturan imágenes de alta resolución que permiten detectar problemas en los cultivos de forma temprana (Yang et al., 2023).

Los algoritmos de aprendizaje automático (IA no generativa) pueden predecir en tiempo real y a corto plazo el rendimiento de los cultivos, recomendando estrategias personalizadas para siembra y cosecha. La IA generativa tiene un potencial inmenso en el campo agrícola (Shahriar et al., 2025), ya que puede equilibrar conjuntos de datos desbalanceados o con fallos, mejorando la precisión en la detección de enfermedades de cultivos (Liu et al., 2023), así como predecir rendimientos con mayor exactitud, lo que facilita una mejor planificación de la recogida (Das, 2024). La integración de sensorización, IoT y big data mediante IA generativa permitirá crear escenarios complejos a corto, medio y largo plazo, optimizando las decisiones financieras y agroambientales del agricultor.

Por tanto, la agricultura inteligente fomenta un uso más racional y eficiente de los recursos, disminuye sus efectos negativos en el medio ambiente y mejora la producción de cultivos para prácticas agrícolas sostenibles y tecnológicamente avanzadas (Ma and Zhang., 2022).

#### *3.4.2 Monitoreo remoto de cultivos*

Los sensores instalados en el campo recopilan datos en tiempo real sobre las condiciones del suelo, humedad y contenido de nutrientes, permitiendo una gestión precisa de los recursos (Khan et al., 2020).

Por su parte, los drones equipados con cámaras y sensores realizan vigilancia aérea, capturando imágenes detalladas para la detección temprana de problemas de salud, plagas y enfermedades en los cultivos (McDonals et al., 2022).

Toda esta información permite realizar análisis de datos que ofrecen al agricultor información valiosa para el control operacional de los cultivos, facilitando respuestas rápidas ante desafíos y ayudando a prever y reducir la disminución de la producción total mediante modelos de previsión de producción (Padilla et al., 2020; Pal et al., 2021).

#### *3.4.3 Gestión del riego*

La agricultura inteligente está cambiando la forma de regar nuestros cultivos usando tecnologías contemporáneas, con el fin de hacer un uso del agua de riego más sostenible (Sun et al., 2020). Herramientas tan importantes como pueden ser los datos meteorológicos y los sensores de humedad del suelo dirigen los sistemas de riego automatizados, ofreciendo un suministro preciso de agua a los cultivos. Estos sistemas pueden ser controlados y gestionados a distancia, optimizando así el uso del agua y reduciendo el desperdicio (Sun et al., 2020).

La gestión del riego mediante Agricultura inteligente permitirá reducir el consumo no justificado de agua y avanzar en la mitigación y adaptación al cambio climático (Tian et al., 2020).

#### *3.4.4 Control de plagas y enfermedades*

Los drones equipados con cámaras capaces de ofrecer imágenes de alta resolución permiten una identificación precisa de las áreas afectadas por plagas. Esto se consigue mediante el análisis multiespectral / hiperespectral de los datos adquiridos por las cámaras y la elaboración de índices de vegetación (NDVI, NDRE, etc.). Estos datos son procesados por algoritmos de Machine Learning y análisis de datos, generando predicciones probabilísticas sobre los posibles brotes que se puedan dar en el área de cultivo y además puede recomendar intervenciones específicas (Jenifa et al., 2019; Amin et al., 2022).

#### *3.4.5 Gestión de la cadena de suministro*

Los sensores y dispositivos GPS nos ayudan a controlar el movimiento de los productos agrícolas, pudiendo permitir el control de la ubicación y de las condiciones de estado de los productos agrícolas que se (Lioutas and Charatsari., 2020).

Además del posicionamiento, los sensores integrados en vehículos pueden obtener datos de variables como la humedad, temperatura, presión... La adquisición de estos datos es muy importante a la hora de hacer una buena labor de conservación de los productos de cultivo, ya que permite al agricultor modificar el estilo de conservación para garantizar la transparencia, eficiencia y seguridad alimentaria al consumidor (Badii et al., 2018; Luján et al., 2023).

#### *3.4.6 Gestión de los cultivos*

La agricultura inteligente mejora la gestión global de las explotaciones mediante la interconexión eficaz de herramientas, permitiendo análisis y automatización en tiempo real para detectar plagas, infecciones y cambios meteorológicos, facilitando decisiones rápidas (Quílez, 2025; Ruiz et al., 2022).

Además, puede anticipar variaciones espacio-temporales en terrenos y cultivos, apoyándose en Machine Learning e IA generativa para optimizar cultivos y fomentar medidas ambientales sostenibles (Ahmed et al., 2024).

La IA generativa analiza datos de suelo, clima y rendimientos, mejorando control de producción y fertilización, y procesa imágenes de drones para detectar plagas tempranamente (Usmani, 2024).

### **3.5 Retos y beneficios de la agricultura inteligente**

#### *3.5.1 Retos a los que se encuentra la agricultura inteligente*

Una debilidad de la agricultura inteligente es su desarrollo reciente, requiriendo optimización y mejor integración de datos y tecnologías (Pivoto et al., 2019).

Además, la falta de acceso a internet en muchas zonas rurales limita su adopción, desaprovechando sus beneficios (Omar et al., 2022; Ahmed et al., 2024).

La insuficiente formación puede generar rechazo hacia estos métodos frente a los tradicionales, y la compatibilidad entre herramientas es un desafío para garantizar la interconexión (Kassim, 2020).

También es vital reforzar la seguridad y privacidad de los datos para evitar ciberamenazas, donde los Espacios de Datos Federados, como Gaia-X, serán clave para compartir datos de forma segura (Quy et al., 2022; López et al., 2024).

Además, la falta de regulaciones sobre prácticas agrícolas genera lagunas legales en la protección de datos, planteando desafíos como:

- El acceso no autorizado a datos de sensores, provocando violaciones de privacidad.
- Ambigüedad en la propiedad y gestión de datos, especialmente cuando los agricultores carecen de formación técnica y delegan la gestión a terceros.
- Preocupaciones sobre la agregación y uso de los datos generados (Zarandi et al., 2022).

#### *3.5.2 Beneficios de la Agricultura Inteligente*

El mundo se enfrenta a graves problemas y desafíos y dos de ellos son claros; el cambio climático y la superpoblación, esto puede generar graves problemas sobre la producción de los cultivos a causa de graves cambios climáticos que afectan a la seguridad alimentaria poblacional a nivel mundial, además la exponencial crecida poblacional que puede darse nos hace preguntarnos ¿Habrán suficientes recursos alimenticios para todos?, ¿Se aproxima una época

de hambruna a nivel mundial?, es algo que puede afectar de forma casi indiferenciada entre países.

Es por todo ello que una de las soluciones beneficiosas es la agricultura inteligente, capaz de utilizar de una forma óptima y eficiente los recursos necesarios para el cultivo y generar una mayor productividad a nivel mundial.

La agricultura inteligente es capaz de identificar variaciones en tiempo y espacio que se dan en las áreas agrícolas, y se ocupa de estas variaciones mediante la adquisición de información, interpretación, evaluación y luego la implementación de medidas de control (Alemaw and Agegnehu., 2019).

## **4 PRINCIPALES TECNOLOGIAS USADAS EN AGRICULTURA 4.0**

### **4.1 Teledetección (Remote Sensing)**

La teledetección consiste en recopilar información sobre superficies u objetos sin necesidad de contacto directo, mediante sensores que captan la radiación reflejada o emitida, desde satélites o drones (Lillesand et al., 2015)

La Teledetección es un proceso complejo, que consta de distintas fases, dispositivos físicos y tecnologías de captación y procesamiento de señales electromagnéticas. **A continuación, se hará un breve repaso a estas tecnologías:**

#### *4.1.1 Plataformas desde dónde se obtiene las imágenes o señales*

Estas son satélites, aviones, **y lo que se conoce habitualmente como drones (RPAS/UAV).**

- **Satélites y aviones**

Muchas de las imágenes que se obtienen en teledetección provienen comúnmente de plataformas como satélites y aviones, que permiten recopilar datos a **diferentes escalas y resoluciones especiales** (Gómez-Candón et al., 2014).

- **RPAS**

El término RPA proviene de la frase en inglés (Remotely Piloted Aircraft), que traduciéndolo al español se entiende como aeronaves tripuladas por control remoto.

**El RPA** se puede entender como aquellos drones dirigidos desde una estación de control mediante la cual personal cualificado en el manejo de estos son capaces de realizar funciones agrícolas mediante su uso (Zhang and Kovacs., 2012). A diferencia de otros sistemas de manejo de drones, el RPA no utilizan la programación de los drones, por tanto, no pueden manejarse de forma totalmente autónoma.

Algunas de las aplicaciones más características de los RPAS son (Ahmed et al., 2020):

- Monitoreo de cultivos (Peña et al., 2015)
- Control del riego (Zhang et al., 2012)
- Manejo de malezas (Ribeiro et al., 2018)
- Fertilización de cultivos (Mulla., 2012)
- Vigilancia de enfermedades (Mahlein., 2016)

Uno de los aspectos más importantes a la hora de utilizar un RPAS es la planificación del vuelo, donde se deben tener en cuenta factores como el área de vuelo, la identificación de peligros, las condiciones meteorológicas la configuración del equipo...

Las planificaciones de vuelo se pueden hacer con numerosos programas que trabajan en conjunto con los RPAS tal y como se ve en la Figura 4.1 se puede observar la dirección del vuelo estimado que realizará el Dron en cuestión.



Figura 4.1 Planificación de vuelo con programa “QGroundControl” de un RPAS (Ahmed et al., 2020)

- UAV

Sus siglas provienen de la frase (Unmanned Aerial Vehicle), cuya traducción al español sería vehículo aéreo no tripulado. **La principal diferencia de los RPAS es que los UAV sí que son programables**, y por tanto pueden trabajar de forma autónoma. Además, también es usado por drones, pero programables y con la posibilidad de funcionar de forma totalmente autónoma, es por ello por lo que requiere de una metodología de trabajo algo más sofisticada que en los RPAS (Montero., 2016).

Los drones tienen como finalidad agilizar y ayudar en los diversos procesos, como la siembra apoyando en la identificación de terrenos fértiles y cómodos para el cultivo, en el desarrollo del cultivo monitoreando los cultivos identificando posibles riesgos y en la cosecha del cultivo identificando la producción final (González et al., 2015).

Cada vez son más los agricultores que confían en el uso de estas tecnologías para el manejo de sus cultivos, debido a su gran capacidad de obtener gran cantidad de información si necesidad de grandes esfuerzos o pérdidas de tiempo. Además, ayuda enormemente a la toma de decisión de actividades agrícolas ya que permite obtener información de la vegetación sin necesidad de estar en contacto directo con ella (Graus and Klein., 2021).

#### 4.1.2 Cámaras o dispositivos para la captación de la señal

Existen diversos dispositivos que nos permiten, independientemente de la plataforma donde se instalen, captar radiación electromagnética de distinta naturaleza.

- **Cámaras Multiespectrales e Hiperespectrales:**

Las cámaras multiespectrales y las hiperespectrales son utilizadas en agricultura de precisión, poseen una gran ventaja en su uso y es la buena resolución que ofrecen; de forma general las cámaras multiespectrales se utilizan de forma mas adecuada para monitoreos mas generales, mientras que las segundas nos ofrecen una mayor capacidad de resolución, para una mejor aclaración y de forma resumida podemos ver la siguiente (Tabla 6), (Adao et al., 2017).

Tabla 6. Diferencia entre tecnología multiespectral e Hiperespectral

| <b>Característica</b> | <b>Multiespectral</b>                     | <b>Hiperespectral</b>                                     |
|-----------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Numero de Bandas      | Entre 3 y 10 bandas                       | Decenas a cientos de bandas                               |
| Detalle espectral     | Poco detalle, menor información           | Gran cantidad de detalle permite distinción de materiales |
| Volumen de datos      | Opera con pocos datos                     | Opera con gran cantidad                                   |
| Costo y complejidad   | Económico y fácil de operar               | Mas costosos y requiere gran cualificación                |
| Aplicaciones comunes  | Agricultura de precisión de forma general | Permite identificar enfermedades, estrés hídrico...       |

- **Radar**

Sensores activos de microondas capaces de operar en condiciones sin luz solar y penetrar nubes. Se usan principalmente en satélites, se usa principalmente para medir humedad del suelo y estructura del terreno (Veloso et al., 2021).

Un tipo de Radar a tener en cuenta es el **SAR** tal y como se explica a continuación:

**SAR (Synthetic Aperture Radar)**

El SAR o radar de apertura sintética traducido al español, es una tecnología todavía en desarrollo pero que podría ser muy una muy ventajosa aplicación en el sector agrícola. La tecnología SAR ha traído mucho la atención de los agricultores debido a su alta capacidad de funcionamiento en toda condición climática (Minh et al., 2018).

El SAR es un tipo de radar activo, esto quiere decir que el propio radar emite una señal y esta rebotará sobre la superficie de plantas, suelo, y diferentes elementos y objetos, la señal rebotada llegará de nuevo sobre el sensor en cuestión. Este tipo de tecnologías ofrecen una gran cantidad de ventajas (Tabla 7) sobre las de teledetección óptica: (Erika Podest, 6 de noviembre 2024. Introducción al Radar de Apertura Sintética (SAR) y sus Aplicaciones ([https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/202411/SAR\\_2024\\_Part1\\_Spanish\\_FINAL.pdf](https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/202411/SAR_2024_Part1_Spanish_FINAL.pdf))).

Tabla 7 Ventajas y desventajas de la tecnología SAR respecto a otro tipo de señales electromagnéticas.

| <b><u>Ventajas</u></b>                              | <b><u>Desventajas</u></b>                                               |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Funciona en casi cualquier condición meteorológica. | A veces la interpretación de la información es difícil.                 |
| Funciona tanto de día como de noche.                | Presencia de “Speckle” o moteado. (Efecto sal y pimienta en la imagen). |

|                                              |                                           |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Penetra a través del dosel de la vegetación. | Distorsiones aéreas donde hay topografía. |
| Penetra a través del suelo.                  |                                           |
| Los efectos atmosféricos son mínimos.        |                                           |
| Sensible a la humedad en la superficie.      |                                           |

Varias de las aplicaciones para las que se usa el (SAR), según (ARSET., 2023. *Mapeo de Cultivos Usando Radar de Apertura Sintética (SAR) y Teledetección Óptica*. NASA. (<https://appliedsciences.nasa.gov/es/get-involved/training/spanish/arset-mapeo-de-cultivos-usando-radar-de-apertura-sintetica-sar-y>).

- Monitorear el crecimiento de los cultivos con datos de series temporales.
- Analizar el crecimiento de los cultivos usando un modelo dinámico de la estructura del dosel y series temporales.
- Clasificar tipos de cultivos.
- Detección de la humedad de suelo.
- **Láser (para láser escáner o LIDAR)**

Hablaremos en concreto de la tecnología **LIDAR**, la cual utiliza pulsos de laser capaz de medir distancias y crear mapas tridimensionales del terreno de forma precisa (Wallace et al. 2012), de forma concreta en el olivar se puede utilizar esta tecnología para poder medir con precisión la biomasa arbórea del olivar, así como la altura de sus copas tal y como dice (Jiménez-Brenes et al., 2023).

## 4.2 Sensores In-situ

Los sensores son fundamentales en la agricultura inteligente para medir variables clave en cultivos, trabajando junto con tecnologías como el Machine Learning (Faqir et al., 2024). Son esenciales para caracterizar el crecimiento de plantas, pH y contaminantes del suelo. Tradicionalmente, las propiedades del suelo se evaluaban con muestras analizadas en laboratorios o mediciones in situ (Demattè et al., 2019; Rossel y Bouma, 2016).

Entre los sensores más usados están:

**Sensores de humedad del suelo**, vitales para funciones biológicas de las plantas, que incluyen electrodos y circuitos de comunicación (Su et al., 2014; Kashyap y Kumar, 2021; Kuang et al., 2012).

**Sensores de temperatura del suelo**, que influyen en la germinación y floración, usan sondas para transformar la temperatura en señales eléctricas (Bahuguna y Jagadish, 2015; Sadeghioon et al., 2014; Yin et al., 2021).

**Sensores de pH**, que controlan la capacidad productiva del suelo para distintos cultivos (Delgado y Gómez, 2016; Ebadati et al., 2023; Khan et al., 2017).

**Sensores de contaminantes**, detectan metales pesados y herbicidas dañinos para la salud y el ambiente, empleando técnicas electroquímicas y voltamperometría (Sinha et al., 2017; Desaulles et al., 2010; Prasad et al., 2014; Tang et al., 2008).

## 4.3 Sensores Sentinel

Messina and Mónica (2022) destacan la importancia de la tecnología Sentinel en el uso agrícola. La tecnología Sentinel en la actualidad opera con gran importancia a través de los programas Copernicus propuesto por la unión europea y además a través de la Agencia Espacial Europea (ESA).

El programa Copernicus integra varias tecnologías satelitales, en concreto basadas en sentinel-1 y sentinel-2, donde a continuación hablaremos con más detalle.

La tecnología Sentinel-2 basada en el instrumento óptico multi espectral entendida gracias a la interacción de la luz con los distintos materiales que se

encuentra en la cubierta terrestre, generando de forma única espectros en patrones específicos capaces de diferenciar Sentinel. Es por ello por lo que Sentinel es un tipo de tecnología pasiva, (a diferencia del SAR). (Cursos Teledetección. (s.f.). *Características de las diferentes misiones de Sentinel*. Cursos Teledetección. (<https://www.cursosteledeteccion.com/caracteristicas-de-las-diferentes-misiones-de-sentinel/>.)

Las aplicaciones en la agricultura son muy diversas tal y como se dictan en (Segarra et al., 2020).

- Clasificación de cultivos.
- Monitoreo de estrés vegetal.
- Predicción de rendimiento.
- Gestión del riego.
- Evaluación de nutrientes.
- Monitoreo de suelos.
- Soporte para políticas agrícolas.

Además, también presenta una serie de ventajas y desventajas a tener en cuenta tales como (Segarra et al., 2020):

- Libre acceso a los datos recogidos, lo que supone una gran accesibilidad hacia los agricultores.
- Ofrece una gran resolución.
- Tiene una gran compatibilidad con numerosas herramientas.
- Tiene un gran uso potencial en las políticas hídricas como PAC.

#### **4.4 Métodos para procesar imágenes adquiridas**

Existen numerosos métodos utilizados en el procesamiento de imágenes tales como: Machine learning (aprendizaje automático), Deep learning (aprendizaje profundo), etc. Para procesar las imágenes capturadas se sigue un proceso de calibración de la cámara, alineación de imágenes, generación de nubes de

puntos para luego generar el Modelo Digital de Superficie (DSM) y el Modelo Digital de Elevación (DEM), los cuales pueden ser utilizados para la producción de ortomosaicos, modelado 3D y obtención de información métrica, como cálculo de área, volumen, alturas, entre otros (Mendes dos Santos et al.,2019).

Además, para el procesamiento de las imágenes y su interpretación, **se utilizan índices de vegetación** que nos muestran la calidad y la cantidad de la cobertura vegetal, tal y como se explica a continuación:

- **Índices de vegetación más utilizados en teledetección**

Dos de los índices más utilizados para la estimación de la vegetación en cantidad y calidad son:

Un sensor característico en la tecnología UAV es el Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), que estima la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación basándose en la intensidad de la radiación que emiten las plantas. La reflectancia es baja en las regiones azul y roja, pero alta en la verde y alcanza su máximo en el infrarrojo cercano (Figura 4.2). El sensor identifica estas emisiones espectrales y las representa en un mapa de colores donde el verde indica vegetación sana y los tonos rojizos vegetación enferma (Jorge et al., 2019).

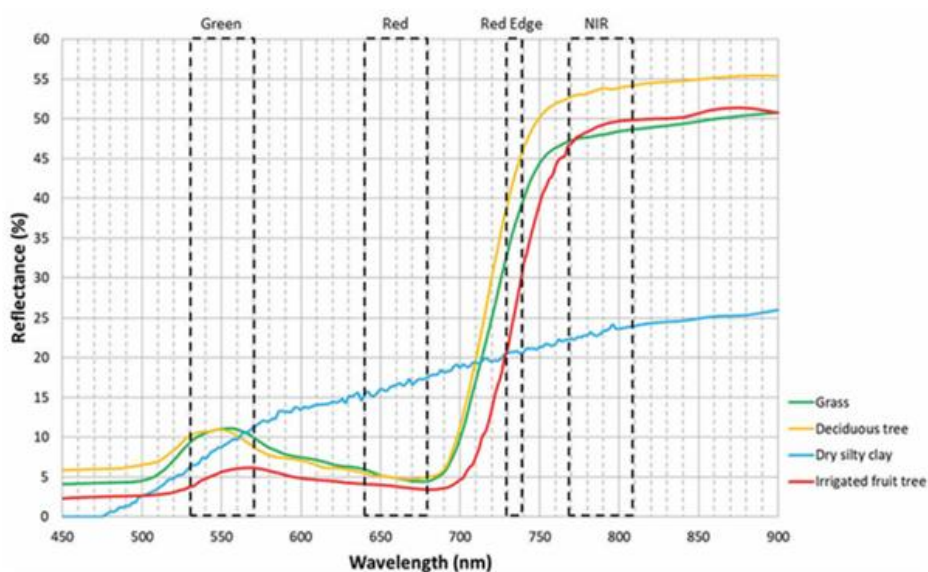


Figura 4.2 Curva de reflectancia espectral para diferentes coberturas de suelo (Jorge et al., 2019)

Aunque existen otros tipos de sensores también con la posibilidad de ser instalados en un UAV como lo es el **Normalized Difference Red Edge (NDRE)**, el cual presenta una mayor sensibilidad en cultivos densos o desarrollados y además presenta una mayor detección del contenido en clorofila que nos informará sobre el estado nutricional de la planta (Jorge et al., 2019; Dunn et al., 2016; Gynp et al., 2014).

#### 4.5 Internet de las cosas (IOT)

El Internet de las Cosas (IoT) es una tecnología innovadora en agricultura que, junto con la inteligencia artificial, puede aumentar la producción global de alimentos hasta en un 70 %, ayudando a enfrentar la hambruna ante un crecimiento poblacional previsto de 9.5 billones para 2050 (Soto et al., 2019). El IoT conecta dispositivos físicos como sensores, drones y vehículos a internet, permitiendo la recopilación automática de datos sin intervención manual (Dhal et al., 2023).

Su arquitectura por capas incluye (Figura 4.3):

- **Capa de dispositivo**, con sensores, drones, cámaras y otros que capturan datos (Muhammed et al., 2024).
- **Capa de conectividad**, que transmite los datos mediante tecnologías como Wi-Fi o Bluetooth.
- **Capa de borde o niebla**, donde se procesa y asegura la información antes de enviarla a la nube.
- **Capa de nube**, núcleo del sistema que analiza y almacena datos para el acceso de usuarios (Muhammed et al., 2024).

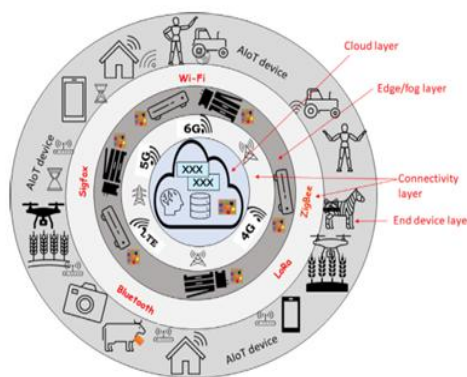


Figura 4.3 Arquitectura del IOT (Muhammed et al., 2024)

Algunas de las **ventajas** que nos ofrece el internet de las cosas son:

- Optimización del uso de recursos (Perez-Ruíz and Molin., 2023).
- Aumento de la productividad (Zhang et al., 2023).
- Detección temprana de plagas (Khosla et al., 2021).

Algunas de las **aplicaciones** del internet de las cosas sobre la agricultura inteligente son (Muhammed et al., 2024):

- **Manejo de cultivos:** Mejora el crecimiento, desarrollo y rendimiento, optimizando la preparación del lecho de siembra y facilitando la detección temprana de plagas y enfermedades.
- **Manejo del suelo:** La caracterización de variables del suelo, como humedad, calidad, composición y abonado, es esencial para satisfacer las necesidades nutricionales específicas de cada cultivo, y el IoT puede controlar estos factores.
- **Gestión del agua:** optimiza la calidad y cantidad del agua utilizada en sistemas de riego, mejorando su eficiencia.
- **Gestión de enfermedades:** El IoT permite la predicción, detección y solución de enfermedades, tanto infecciosas como no infecciosas (abioticas), estas últimas causadas por deficiencias nutricionales o condiciones ambientales adversas.
- **Cosecha inteligente:** Facilita la elección del momento óptimo para la recolección, asegurando productos de calidad y cantidad adecuadas.

#### 4.6 Gemelos Digitales

- **Problemas que se solucionan en el olivar con el uso de los gemelos digitales**

1) Pérdidas de la calidad de suelo y uso sostenible de fertilizantes (García et al., 2021).

2) Problemáticas relacionadas con el ahorro de agua utilizando riego de precisión (Riquelme et al., 2020).

3) Detección tardía de estrés hídrico, plagas o enfermedades (Costa et al., 2022).

4) Incumplimiento de leyes y normativas gracias a la degradación de la sostenibilidad ambiental y de residuos generados (Herrera et al., 2022).

- **Importancia de los gemelos digitales en el olivar**

Los gemelos digitales son herramientas fundamentales en la agricultura inteligente, ya que replican virtualmente un objeto físico y su comportamiento en tiempo real. Esto permite a los agricultores gestionar y controlar remotamente sus cultivos, reaccionar rápidamente ante cambios, y simular intervenciones basadas en datos reales, sin necesidad de presencia física (Balafoutis et al., 2017; Wolfert et al., 2017). Además, facilitan el análisis de datos históricos y la proyección de escenarios futuros, mejorando la productividad y sostenibilidad.

- **Desafíos de los gemelos digitales**

La implementación de gemelos digitales en agricultura enfrenta desafíos como la necesidad de actualizarse en tiempo real pese a la limitada conectividad en zonas rurales (Muhammed et al., 2024).

La complejidad y variabilidad de los cultivos, como el olivar, requieren modelos específicos para cada factor (Li et al., 2023).

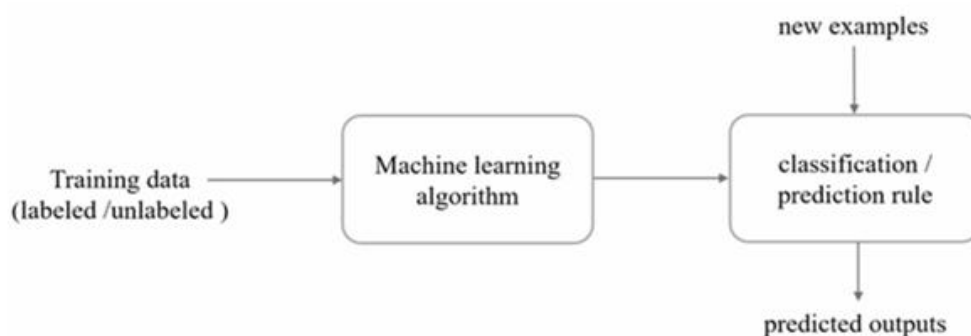
Además, el acceso seguro a datos y la integración de información externa es vital, pero en áreas con poca disponibilidad, su uso se ve restringido (Sharma et al., 2024).

- **Esquema de actuación de los gemelos digitales**

Para mejorar el estado agrícola con gemelos digitales, se inicia con sensores que miden variables como humedad, temperatura y nutrición, cuyos datos se comparan con valores óptimos mediante un **discriminador** (Wolfert et al., 2017). Luego, el **decisor**, apoyado en IA y algoritmos, determina la mejor solución considerando eficiencia y prevención (Sharma et al., 2024). Finalmente, el **efector** aplica las medidas correctoras automáticamente, usando riego, tractores o drones (Liakos et al., 2018).

## 4.7 Machine Learning

Según Liakos et al. (2018), el Machine Learning permite que las máquinas aprendan automáticamente sin programación explícita. No solo se usa para modelar y analizar imágenes, sino que también forma parte del Internet de las Cosas y gemelos digitales, facilitando la automatización, predicción y toma de decisiones en tiempo real en sistemas agrícolas (Kamilaris y Prenafeta-Boldú, 2018). Su funcionamiento se basa en el aprendizaje automático mediante el uso masivo de datos, como se explica en la Figura 4.4.



*Figura 4.4 Metodología de Trabajo Machine Learning (Liakos et al., 2018)*

El proceso de Machine Learning comienza con datos de entrenamiento, que pueden ser supervisados (con salidas esperadas para construir una regla que asigne entradas a salidas) o no supervisados (sin salidas esperadas, para que el sistema aprenda por sí mismo) (Liakos et al., 2018).

Luego, se aplica un algoritmo de aprendizaje automático a estos datos para generar un modelo capaz de hacer predicciones precisas. Para mejorar estas predicciones, se incorporan nuevos ejemplos que amplían la capacidad del modelo para identificar soluciones alternativas. Finalmente, se obtiene la salida de datos predichos (Liakos et al., 2018).

## 5 Agricultura 4.0 en el olivar: OLIVICULTURA INTELIGENTE

### 5.1 Aplicabilidad en el sector del olivar

En este apartado veremos la aplicabilidad de las distintas tecnologías vistas anteriormente, de una forma más específica en el sector del olivar que **permiten la solución de varios problemas actuales en nuestros olivares.**

En los últimos años, destacamos las aplicaciones de los gemelos digitales en agricultura se han documentado ampliamente, clasificándose principalmente en áreas como riego, fertilización, uso de pesticidas, control de malezas, monitoreo del crecimiento vegetal, manejo de enfermedades y fenotipado a nivel de campo.

### 5.2 NIRS olivo (Espectroscopía de infrarrojo cercano)

Podemos definir de forma resumida el NIR que se ve en la figura 5.1, como la herramienta o aparato que se utiliza para describir las propiedades físicas y químicas de las aceitunas. A continuación, veremos algunas de las problemáticas que soluciona su uso en el olivar.



*Figura 5.1 Imagen NIR olivo*

- **Problemáticas que soluciona el uso del NIR en el olivar**

Soluciona grandes problemas a la hora de prevenir la calidad del aceite antes incluso de su cosecha. Algunas de los problemas que se solucionan son:

- Detección temprana de enfermedades y estrés vegetal (Mahlein., 2016).

- Análisis destructivos con otros tipos de metodologías (Dematte et al., 2019).
- Desinformación de datos relacionados con la maduración, fenología y calidad del fruto (Bahuguna et al., 2015).

El sensor óptico de espectroscopia, que detecta la absorción de luz en el infrarrojo cercano, permite identificar las características químicas de las muestras (García et al., 2020).

La calidad del aceite de oliva virgen depende de factores como técnicas agronómicas, condiciones estacionales y madurez del fruto, por lo que es esencial controlar la calidad de las materias primas antes del proceso de extracción (Salguero Chaparro et al., 2013).

Los NIRS ofrecen un análisis rápido y no destructivo, aunque su uso en el control en línea en la industria olivarera es limitado debido a la falta de dispositivos robustos y adecuados (Hildrum et al., 2004).

- **¿Cómo funcionan los NIRS?**

La Espectroscopia de Infrarrojo Cercano (NIR) es una técnica basada en la absorción de la radiación en la zona del infrarrojo cercano, cada muestra tendrá un espectro de absorción diferente, y en función del mismo se pueden caracterizar las distintas propiedades de la muestra, en el caso del olivar (Acidez libre, valor de peróxidos...). Al medir la cantidad de luz absorbida a diferentes longitudes de onda, se puede obtener información sobre la composición química de las muestras tal y como se puede observar en la figura 5.2.

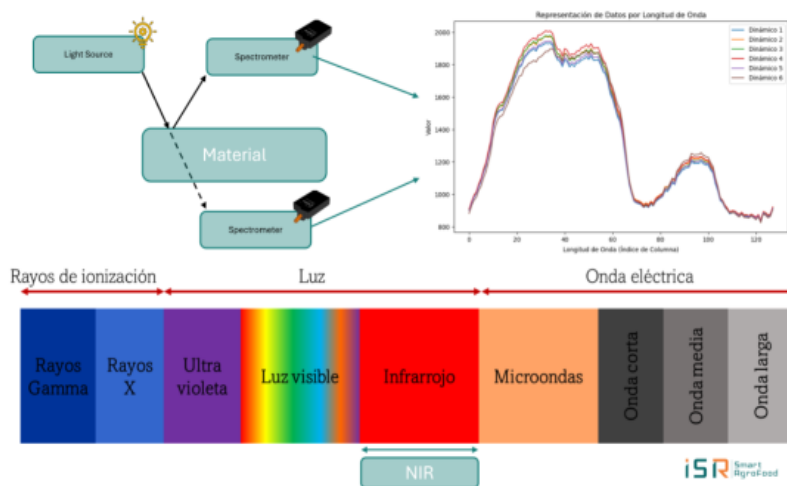


Ilustración 3 Esquema sobre funcionamiento tecnología NIR.

Figura 5.2 Esquema de Funcionamiento tecnología NIR García.J (10/09/2024). NIR una técnica que va más allá del laboratorio

Para que esta tecnología pueda funcionar en el sector del olivar, se deben de hacer calibraciones que correlacionen la respuesta espectral generada por las muestras con los valores de los distintos parámetros que queremos evaluar, a esto se le llama modelos de calibración.

- **Calibraciones el verdadero potencial de la tecnología NIR**

Para calibrar un sensor NIR es necesario entrenarlo con múltiples datos de referencia verificados, lo que permite crear un modelo de predicción. Por ejemplo, al calibrar un sensor NIR que mide dos variables, X e Y, se recopilan valores de estas variables con el sensor y se comparan con datos reales obtenidos por métodos contrastados. Esto genera una tabla que relaciona la respuesta del sensor con los valores reales. Por ello, la calibración requiere un entrenamiento continuo con datos para asegurar resultados fiables.

(García. J (10/09/2024). NIR una técnica que va más allá del laboratorio. <https://www.interempresas.net/Produccion-Aceite/Articulos/572040-NIR-Una-herramienta-en-linea-o-de-laboratorio.html>)

- **¿Qué es capaz de medir los NIRS?**

- Acidez Libre (FA): Indica el contenido de ácidos grasos libres liberados por la hidrólisis de triglicéridos debido a enzimas lipolíticas. Aceites con alta acidez suelen provenir de aceitunas dañadas o mal almacenadas.

- Valor de Peróxidos (PV): Mide los productos primarios de la oxidación del aceite, expresado en mEq O<sub>2</sub>/kg de aceite.
- Coeficientes de Extinción Específicos (K<sub>232</sub> y K<sub>270</sub>): Evalúan la oxidación en aceites insaturados; K<sub>232</sub> detecta productos de oxidación primaria, mientras K<sub>270</sub> mide productos de oxidación secundaria.

### 5.3 Uso de tecnologías de riego en el olivar

En el cultivo del olivar, un sistema de riego eficiente es clave para asegurar las necesidades hídricas y mejorar la sostenibilidad, optimizando la producción de aceitunas. Según Benito et al. (2019), el riego influye en el estrés hídrico, la maduración, rendimiento y calidad del aceite. Tecnologías como el riego por goteo combinado con sensores permiten un uso más preciso del agua, reduciendo desperdicios (López y Martínez, 2020). Además, métodos como el riego subterráneo controlado por sensores de humedad, estaciones agrometeorológicas, teledetección y modelos meteorológicos pueden ahorrar hasta un 20% de agua en el olivar (González et al., 2022).

Las tecnologías para optimizar el riego en olivar incluyen **sensores inteligentes** que miden humedad, temperatura y conductividad eléctrica del suelo (FDR) para controlar la dinámica del agua y el lavado de sales (Jones et al., 2019).

**Las estaciones meteorológicas** registran datos climáticos fundamentales para la gestión del riego (Martínez-Cob et al., 2017).

La calidad del agua se controla con **sondas de conductividad eléctrica** (Keller y Bliesiesner, 2020), mientras que los contadores volumétricos con telelectura permiten un seguimiento preciso del consumo (Fernández et al., 2018).

Los **controladores de riego** automatizan el sistema basándose en datos de sensores (García y Pérez, 2021), y las plataformas digitales gestionan toda la información para optimizar la producción y el uso del agua (Santos et al., 2020).

Sistemas como la **teledetección** nos ayudan a caracterizar la salud hídrica del olivar, en concreto el SAR es una medida de teledetección capaz de operar en situaciones con gran nubosidad y con capacidad de poder penetrar sobre la vegetación de la zona. Con el SAR podemos estimar la **tasa de absorción**

**hídrica** de los olivares (Siendo la tasa de absorción medida en L/h que es capaz de absorber el olivar en un periodo determinado) (Hajj et al., 2023).

Según (Allen et al., 1998; Aragón et al., 2018), existen combinaciones tecnológicas que permiten una mejor estimación de índices que mejoran el control del riego en los olivares. Para calcularlos se usan de modelos de balance hídricos del suelo junto con imágenes de teledetección para estimar cuanta agua necesitan los cultivos de olivar. Imágenes satelitales como el **NDVI** con modelos como FAO-56 pueden llegar a simular la evapotranspiración que ejercen los cultivos olivareros con la finalidad de comprender mejor la situación hídrica del olivar.

#### **5.4 Predicción de la producción en el olivar**

El uso de tecnologías predictivas en la producción del olivar busca anticipar con precisión el rendimiento de las cosechas. Estas se basan en modelos de machine learning y deep learning, permitiendo estimar el total de aceituna y aceite de oliva aproximadamente 8 meses antes del inicio de la campaña, con un margen de error cercano al 26% (Ramos et al., 2025).

- **Problemas que evitamos en el olivar con el uso de la predicción de la producción**

Los problemas que evitamos usando la predicción de la producción en el olivar según (Ramos et al., 2025) son:

- Incertidumbre en la planificación
- Pérdidas económicas por mala gestión
- Desperdicio de recursos
- Falta de competitividad y adaptación al mercado
- Errores en la gestión de la cadena de suministro

Para poder realizar una precisa estimación según (Ramos et al., 2025) de la producción del olivar, los agricultores se usan de variables predictoras como:

- La producción de años anteriores
- Control de las precipitaciones en momentos específicos

- Intervención de otros factores meteorológicos del otoño e invierno anteriores
- Utilización de índices de vegetación más relevantes como (NDVI, Sentinel, SAR...).

La predicción de la producción en el sector del olivar tiene una gran importancia en la estimación de la repercusión económica de los precios que tendrán los aceites producidos en cada temporada de recolección de las aceitunas, estas estimaciones económicas suponen grandes ventajas sobre (Archana And Kumar., 2023):

- Agricultores: Mejorando la planificación financiera, las contrataciones del personal de campo, y gestión de la compra de insumos para sus cultivos.
- Cooperativas y Almazaras: Mejor ajuste de precios, previsiones relacionadas con la logística.
- Compañías aseguradoras: Mejor ajuste en los cálculos de riesgos productivos.
- Industria agroalimentaria y maquinaria agrícola: Con la predicción de la producción olivarera se pueden hacer una idea sobre las posibles estrategias de mercado, gestionando compras y ventas en el sector.
- Gobiernos e instituciones: Ayuda a la gestión de ayudas, regulación de las políticas agrarias en función de la cantidad de producción estimada cosechada.

### **5.5 Uso de tecnologías empleadas en la fertilización del olivar**

Con la llegada de la producción de aceite de oliva mediante producción super intensiva con el fin de aumentar la producción a toda costa y siguiendo ese fin se está causando una verdadera problemática en los suelos de nuestros olivares. El excesivo uso de fertilizantes que disminuyen la producción de aceitunas genera en muchos de los casos contaminaciones sin precedentes sobre suelos y aguas subterráneas, favoreciendo la eutrofización de las aguas y disminuyendo el porcentaje de aguas utilizables con motivo de su contaminación (Rodríguez et al., 2012).

Una de las soluciones que ofrece el artículo (Zipori et al., 2020) es el uso de la **fertiirrigación del olivar** como medida para mejorar el uso de los fertilizantes

de una forma más sostenible, controlando el momento de su utilización mediante los tiempos de riego que a su vez están monitoreados y sensorizados.

Determinar el estado nutricional en el que se encuentran nuestros olivares es clave para saber determinar qué elementos debemos aportar al olivar, así como la cantidad necesaria (sin aportes de más) que mejore la productividad agrícola y minimizar los costos. Una de las medidas más utilizadas por los agricultores para determinar el estado nutricional de los olivares es el análisis foliar, para ello se puede aplicar tecnologías ya mencionadas anteriormente como los **NIRS** gracias a esta tecnología podríamos saber la concentración de nutrientes de forma in-situ. Muchas investigaciones y publicaciones han demostrado el potencial de la tecnología NIRS como herramienta capaz de mejorar el control de calidad y proceso en las aceitunas (Chaparro., 2013).

Otro de los métodos que nos permite hacernos una idea sobre el estado nutricional del olivar es el análisis del suelo. Como bien sabemos tres de los elementos indispensables para cualquier cultivo es el NPK (Nitrógeno, Fósforo, Potasio) siendo utilizada como herramienta de medición **los sensores In situ** capaces de medir concentraciones de **materia orgánica, contenido en humedad, pH, concentración nutricional, concentración de contaminantes...**

## **5.6 Automatización del proceso productivo**

### **Ejemplos aplicados de los gemelos digitales y el IOT al olivar**

Concretamente he encontrado 3 ejemplos de fincas olivareras donde se han implementado este tipo de tecnologías:

**1)Finca el chaparrillo (Jaén, Andalucía):** En esta finca se han implementado todo un sistema de sensores IoT para monitorizar variables como humedad del suelo, temperatura, y estado del cultivo, todas ellas conectadas entre si mediante una plataforma digital que mejora el uso del riego en los cultivos y la fertilización de sus suelos (Ramos et al., 2025).

**2)Explotación agrícola “Olivares del sur”:** Se trata de un proyecto piloto, donde concretamente se hace uso de drones y sensores IoT que alimentan a modelos digitales para su seguimiento fitosanitario y de la predicción del

rendimiento de sus olivares, además se incluye la utilización de gemelos digitales para hacer tomas de decisiones automatizadas (Benito et al., 2019).

**3) Finca La Guardia (Córdoba, España):** En esta finca de olivos superintensivos se hace uso de IoT y de los gemelos digitales para controlar y medir variables ambientales asociadas a los olivares, permitiendo simular escenarios y optimizar prácticas agrícolas en dichos olivares (González et al., 2015).

## **6 DISCUSIÓN Y PERSPECTIVAS FUTURAS**

- **Transformación del olivar con la digitalización**

Este trabajo me ha permitido entender mejor cómo el cultivo del olivar está viviendo una transformación profunda gracias a la incorporación de tecnologías digitales. Ya no se trata solo de producir más, sino de hacerlo de manera más eficiente y sostenible.

- **Tecnologías clave y su impacto real**

He podido comprobar que herramientas como el Internet de las Cosas, el aprendizaje automático o los gemelos digitales no son simples avances teóricos, sino que ya están ofreciendo resultados concretos en el campo, especialmente en aspectos como el riego, el control del suelo y la predicción de cosechas.

- **Ventajas y retos**

Aunque estas tecnologías aportan beneficios claros, también generan retos importantes, sobre todo en el ámbito social. La reducción de empleo agrícola o el riesgo de despoblación rural son consecuencias que no deben pasarse por alto y que invitan a pensar en una implantación más justa y equilibrada.

- **Innovación agrícola**

He entendido que estas soluciones digitales no solo benefician al productor individual. También suponen una ventaja para cooperativas, aseguradoras o instituciones públicas, que pueden gestionar mejor los recursos y planificar con mayor antelación.

- **Más que una técnica es un cambio de modelo**

La agricultura 4.0 no es solo usar nuevas tecnologías, sino cambiar por completo cómo se cuida el cultivo y el campo, apoyándose mucho en los datos, el análisis y la precisión para tomar mejores decisiones.

- **Aprendizaje obtenido**

A nivel personal, este trabajo me ha permitido ampliar mi perspectiva sobre el sector agrícola. Ahora tengo una visión más crítica, pero también más optimista, sobre cómo el olivar puede adaptarse al futuro sin perder su esencia tradicional.

## **7 CONCLUSIÓN**

Después de todo el trabajo realizado, puedo afirmar que se han cumplido los objetivos planteados al inicio del proyecto.

- En primer lugar, he podido conocer en profundidad las principales tecnologías que se están utilizando en el marco de la agricultura inteligente, entendiendo no solo cómo funcionan, sino también qué aportan al cultivo del olivar.
- En segundo lugar, he analizado hasta qué punto estas tecnologías están presentes ya en el sector, comprobando que su implantación está creciendo con fuerza, aunque todavía existen obstáculos que deben ser tenidos en cuenta, como la necesidad de formación o las dificultades económicas para acceder a ellas.
- Además, he podido identificar cuáles son las tendencias que marcarán el futuro del olivar en este contexto digital, confirmando que hay un gran potencial por delante, siempre que se sepa combinar bien la innovación tecnológica con los conocimientos y valores tradicionales del cultivo.
- En definitiva, este trabajo me ha permitido no solo cumplir con los objetivos marcados, sino también tener una visión mucho más completa y crítica sobre hacia dónde se dirige el sector olivarero y cuál puede ser su papel en una agricultura más sostenible y eficiente.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

Ahmed, B., Shabbir, H., Naqvi, R. N., & Peng, L. 2024. Smart agriculture: Current state, opportunities, and challenges. *IEEE Access* 12(23).

Álvarez, S., Soriano, M. A., Landa, B. B. and Gómez, J.A. 2007. Soil properties in organic olive groves compared with that in natural areas in a mountainous landscape in southern Spain. *Soil Use and Management* 23, 404–416.

Amin, H., Darwish, A., Hassanien, A. E., & Soliman, M. 2022. End-to-end deep learning model for corn leaf disease classification. *IEEE Access* 10, 31103–31115.

Amiri-Zarandi, M., Dara, R. A., Duncan, E., & Fraser, E. D. G. 2022. Big data privacy in smart farming: A review. *Sustainability* 14(15), 9120.

Adao, T., Hruška, J., Pádua, L., Bessa, J., Peres, E., Morais, R., Sousa, J. J. 2017. Hyperspectral imaging: A review on UAV-based sensors, data processing and applications for agriculture and forestry. *Remote Sensing* 9(11), 1110.

Bangari, S., Rachana, P., Gupta, N., Sudi, P. S., & Baniya, K. K. 2022. A survey on disease detection of a potato leaf using CNN. *Proceedings of the 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Smart Energy (ICAIS)*, 144–149.

Bahuguna, R. N., & Jagadish, K. S. 2015. Temperature regulation of plant phenological development. *Environmental and Experimental Botany* 111, 83–90.

Badii, C., Nesi, P., Paoli, I., 2018. Smart sensing and IoT technologies for the tracking of fresh food. *Journal of Food Engineering* 220, 65–75.

Barea, J. M., et al. 2011. The role of soil microorganisms in sustainable olive agriculture. *Chemosphere* 85(8), 1371–1379.

Benito, A., Arbonés, A., Pascual, M., Sastre, B., de Lorenzo, C., Villar, J. M., Pérez, M. Á., Bonet, L. J., Paz, S., Santos, Á., & Rufat, J. 2019. Efecto del riego en la producción de aceite en sistemas superintensivos de arbequina. *Comunicaciones Científicas, Simposio Expoliva* 2019, 15–17.

Costa, C., Antonucci, F., Pallottino, F., Menesatti, P. 2022. Integration of UAV imagery and digital twin models for early detection of crop stress. *Precision Agriculture* 23(2), 512–530.

Dematte, J. A. M., Dotto, A. C., Bedin, L. G., Sayão, V. M., & Souza, A. B. 2019. Soil analytical quality control by traditional and spectroscopy techniques: Constructing the future of a hybrid laboratory for low environmental impact. *Geoderma* 337, 111–121.

Dhal, S., Tripathy, A. K., Nayyar, A., Mahapatra, S. 2023. Internet of Things (IoT) in digital agriculture: *An overview. Agronomy Journal* 116(3), 1144–1163.

Dunn, B. L., Bianchini, A., Ferguson, R. B., Kitchen, N. R., Yang, H., Shanahan, J. F., & Holland, K. H. 2016. Estimating nitrogen uptake in maize using active and passive sensors. *Computers and Electronics in Agriculture* 128, 43–51.

Ebadati, E., Switalska, E., Lombi, E., Warren-Smith, S. C., Evans, D. 2023. Challenges of polymer-based pH sensing in soil. *Journal of Polymers Science*.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *World food and agriculture: Statistical yearbook 2022*. FAO.

Freibauer, A., Rounsevell, D.A., Smith, P. and Verhagen, J. 2004. Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma* 122, 1–23.

García, L., Paredes, P., Calera, A. 2021. Smart farming solutions for site-specific fertilization management using digital twins. *Computers and Electronics in Agriculture* 187, 106250.

García-Estrigana, N., Alonso-Blázquez, N., Marques, M.J., Bienes, R. and Alegre, J. 2010. *Direct and indirect effects of Mediterranean vegetation on runoff and soil loss* *European Journal of Soil Science* 61, 174–185.

García-Ruiz, F., López-Molina, G., & Herrera, P. 2022. Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in smart farming: A comprehensive review. *Internet of Things* 18, Article 100187.

Gómez, J. A., et al. 2009. Olive groves and soil erosion in the Mediterranean: A review. *Catena* 71(2), 193–199.

González, A., Amarillo, G., Amarillo, M., & Sarmiento, F. 2015. Drones aplicados a la agricultura de precisión. *Publicaciones e investigación* 10, 17.

Gnyp, M.-L., Hausherr, V., Walter, A., Schmidhalter, U., Koller, E. 2014. Multi-temporal NDVI estimation in wheat using active and passive spectral sensors. *Computers and Electronics in Agriculture* 100, 1–10.

Guzmán, G. I., et al. 2010. The socio-ecological transition of olive groves in Andalusia (Spain): A complexity perspective. *Ecology and Society* 15(4).

Hajj, M., Johansen, K., Almasharawi, S., & McCabe, M. 2023. Water uptake rates over olive orchards using Sentinel-1 synthetic aperture radar data. *Elsevier* 288, 0378-3774.

Hayas, A., Vanwalleghen, T., Laguna, A., Peña, A., Giráldez, J.V. 2017. Reconstruction long-term gully dynamics in Mediterranean agricultural areas. *Hydrol. Earth Syst. Science* 21, 235-249.

Herrera, P., González, M., Salazar, D. 2022. Enhancing environmental sustainability in olive production using digital twins and precision agriculture. *Journal of Cleaner Production* 338, 130597.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., Baptista Lucio, P. 2014. *Metodología de la investigación* (6.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill.

Huang, G., Huang, J.-Q., Chen, X.-Y., & Zhu, Y.-X. 2021. Recent advances and future perspectives in cotton research. *Annual Review of Plant Biology* 72, 437–462.

Jiménez-Brenes, F., Pérez-Ruiz, M., & Gómez-Candón, D. 2023. Application of UAV-based LIDAR for structural assessment in intensive olive orchards. *Precision Agriculture* 24, 345–361.

Kassim, M. R. M. 2020. IoT applications in smart agriculture: Issues and challenges. *Proceedings of the IEEE Conference on Open Systems (ICOS)* 19–24.

Kamilaris, A., Prenafeta-Boldú, F. X. 2018. Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture* 147, 70–90.

Lal, R. 2002. *Encyclopedia of Soil Science*. Marcel Dekker Inc, New York.

Liakos, K., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S. 2018. Machine learning in agriculture: A review. *Sensors* 18, 2074.

Li, L., et al. 2023. A Comprehensive Review of Digital Twins Technology in Agriculture. *Agronomy Journal* 116(3), 1144–1163.

Lioutas, E. D., Charatsari, C. 2020. Smart farming and short food supply chains: Are they compatible? *Land Use Policy* 94, 104541.

López-Riquelme, J. A., Candelas, F., Pérez, L., Pérez-Hernández, M. 2020. Integration of IoT and digital twins for efficient irrigation management in agriculture. *Agricultural Water Management* 243, 106429.

López-Quílez, A. (2025). AI, IoT and Remote Sensing in Precision Agriculture. *Applied Sciences* 15(6), 2890.

Lozano-García, B., Parras-Alcántara, L. and del Toro Carrillo, M. 2011. Effects of oil mill wastes on surface soil properties, runoff and soil losses in traditional olive groves in southern Spain. *Catena* 85, 187–193.

Luján, E., Pérez, C., & Vargas, J. 2023. Aplicaciones del Internet de las Cosas en el monitoreo ambiental de cultivos protegidos. *Revista Agroindustrial y Rural* 10(2), 35–48.

Mahlein, A.-K. 2016. Plant disease detection by imaging sensors – parallels and specific demands for precision agriculture and plant phenotyping. *Plant Disease* 100(2), 241–251.

Messina, G., & Modica, G. 2022. Twenty years of remote sensing applications targeting landscape analysis and environmental issues in olive growing: *A review*. *Remote Sensing* 14, 5430.

Mulla, D. J. 2013. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering* 114(4), 358–371.

Peña, J. M., Torres-Sánchez, J., de Castro, A. I., Kelly, M., & López-Granados, F. 2015. Quantifying vineyard canopy characteristics from UAV multispectral imagery to assess disease incidence. *Sensors* 15(7), 15707–15725.

Pivoto, D., Barham, B., Waquil, P. D., Foguesatto, C. R., Corte, V. F. D., Zhang, D., & Talamini, E. 2019. Factors influencing the adoption of smart farming by Brazilian grain farmers. *International Food and Agribusiness Management Review* 22(4), 571–588.

Quesada, J. M., Molina, V., Ruiz, I. 2023. El oleoturismo como herramienta de desarrollo territorial: Diagnóstico y necesidades de conocimiento. Cátedra de Turismo de Interior de la Universidad de Jaén.

Ramos, M. I., Cubillas, J. J., Córdoba, R. M., & Ortega, L. M. 2025. Improving early prediction of crop yield in Spanish olive groves using satellite imagery and machine learning. *PLOS ONE* 20(1).

Ruiz, S., Rodríguez, F., Berenguel, M. 2020. Use of digital twins in precision agriculture: Modeling and predicting olive tree yields. *Biosystems Engineering*, 197, 112–126.

Ribeiro, A. (2018). Análisis de erosión hídrica de suelos: avance de cárcavas en olivares. Trabajo Fin de Máster. Universidad de Jaén.

Sharma, A., Singh, S. K., Kumar, S., Thakur, R., Gupta, B. B., Arya, V. 2024. IoT-enabled smart farming with Industry 5.0: Challenges and the future of digital twins for agriculture. *Journal of High Speed Networks* 30(1), 1–18.

Taguas, E.V., Gómez, J.A. 2015. Vulnerability of olive orchards under the current CAP (Common Agricultural Policy) regulations on soil erosion: a study case in Southern Spain. *Land Use Policy* 43, 683-694.

Usmani, H. 2024. Unleashing the potential of generative AI in agriculture: Applications and benefits. *Medium*.

Veloso, A., Carvalhais, N., Campos, I., Satalino, G., Balenzano, A., & Rebelo, L. M. 2021. Understanding the potential of Sentinel-1 radar data for agricultural applications: A review. *Remote Sensing of Environment* 267, 112734.

Verdouw, C., Wolfert, S., Beulens, A. J. M., & Rialland, A. 2020. Smart agriculture: An overview of the concept, applications, and future prospects. *Precision Agriculture* 21(4), 827–849.

Wallace, L., Lucieer, A., Watson, C. 2012. Development of a UAV-LIDAR system with application to forest inventory. *Remote Sensing* 4(6), 1519–1543.

Zhang, C., & Kovacs, J. M. 2012. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agriculture* 13(6), 693–712.

## **WEBGRAFÍA**

ARSET. (2023). Mapeo de Cultivos Usando Radar de Apertura Sintética (SAR) y Teledetección Óptica. NASA Applied Sciences Program. <https://appliedsciences.nasa.gov/es/get-involved/training/spanish/arset-mapeo-de-cultivos-usando-radar-de-apertura-sintetica-sar-y>

AEMO. (2023, 20 de abril). *AEMO actualiza su estudio de costes de aceite de oliva a 2023*. Asociación Española de Municipios del Olivo. <https://www.aemo.es/blog/noticias-aemo-1/post/aemo-actualiza-su-estudio-de-costes-de-aceite-de-oliva-a-2023-241>

Junta de Andalucía. (2014). *Cultivo ecológico del olivar*. [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/olivar\\_ecologico\\_2014\\_OK\\_.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/olivar_ecologico_2014_OK_.pdf)

Junta de Andalucía. (2023, octubre). *Estimación de producción de aceite de oliva y aceituna de mesa. Campaña 2023/2024*. Consejería de Agricultura, Pesca,

AguayDesarrolloRural. [https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/inline-files/2023/10/Estimacion\\_ACEITE\\_MESA\\_2023\\_24.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/inline-files/2023/10/Estimacion_ACEITE_MESA_2023_24.pdf).

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2015). Informe sobre la situación de los recursos naturales en España 2015. <https://www.magrama.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/sostenibilidad-y-recurso-natural/situacion2015.pdf>

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (s.f.). Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos (ESYRCE). Gobierno de España. <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/default.aspx>.

Umiles Group. (2022, octubre 19). ¿Qué son los RPA, UAS y UAV? Diferencias entre ellos. *Umiles Group*. [https://umilesgroup.com/rpas-uas-uav-diferencias/#%C2%BFQue\\_es\\_un\\_RPA](https://umilesgroup.com/rpas-uas-uav-diferencias/#%C2%BFQue_es_un_RPA)

## **9 Anexo I: Metodología De Trabajo**

Para la elaboración de este trabajo final de grado, ha sido necesario la búsqueda de información relevante sobre las tecnologías más innovadoras y de repercusión que se han tratado a lo largo de la redacción del trabajo.

La búsqueda de información se ha escogido teniendo en cuenta que el trabajo de fin de grado es de tipo bibliográfico, que según (Sampieri et al., 2014) se define como: La revisión de la literatura implica identificar, acceder y analizar libros, artículos y otros documentos que puedan aportar información valiosa para nuestra investigación. Su propósito es recopilar datos e ideas clave que nos ayuden a entender mejor el problema que estamos estudiando.

Para la búsqueda de información se ha realizado una agrupación por temáticas, teniendo en cuenta que el trabajo se ha estructurado en dos partes fundamentales, la parte tecnológica y la aplicabilidad de las innovaciones tecnológicas en el sector agrícola y al olivar.

Para la obtención de información de la forma más precisa y significativa posible se han escogido como fuente de información Web of Science, principalmente artículos publicados en revistas científicas indexadas (JCR). En ella se han introducido las palabras clave asociadas al tema en el que queríamos obtener información relevante, siempre teniendo en cuenta la fecha de publicación (se han evitado referencias anteriores a 2006, y con un número de citas lo suficientemente grande, siempre en la medida de lo posible).

La elección de dichas palabras clave (el idioma elegido es inglés) se han escogido de forma que trate de la forma más específicamente posible los temas a hablar, para ello se han utilizado los siguientes términos asociados a cada tema a tratar en nuestro trabajo de fin de grado.

### Búsqueda en Web Of Science:

En las tablas 1 y 2 se resume el proceso de búsqueda estructurada de información llevado a cabo en la página Web of Science (Teniendo en cuenta el tipo de información, las palabras clave puestas en el buscador de Web Of Science, así como el número de artículos encontrados según palabras clave). Como se ha comentado, las búsquedas se han realizado en función en dos

campos de interés semántico diferenciados: 1) Tecnologías (Tabla 1) y 2) Aplicaciones (Tabla 2).

Tabla 1: Número de artículos científicos encontrados según palabras clave (Tecnologías) en la búsqueda de información (Web Of Science)

| <b>Tipo de Información Consultada</b> | <b>Términos de Búsqueda Utilizados (Palabras clave)</b> | <b>Número de Artículos Encontrados</b> |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| UAV                                   | olive groves*UAV                                        | 23                                     |
| UAV                                   | Mediterranean crops*<br>UAV                             | 254                                    |
| Remote sensing                        | Olive groves* Remote sensing                            | 101                                    |
| Remote sensing                        | Mediterranean crops*<br>Remote sensing                  | 1873                                   |
| Internet Of Things                    | Olive Groves* Internet of Things                        | 5                                      |
| Internet Of Things                    | Mediterranean crops*<br>Internet of things              | 42                                     |
| Internet Of Things                    | Agriculture* Internet of things                         | 6250                                   |
| In situ sensors                       | olive groves* in situ sensors                           | 1                                      |
| In situ sensors                       | mediterranean crops* in situ sensors                    | 61                                     |
| In situ sensors                       | Agriculture* in situ sensor                             | 1254                                   |

|                  |                                       |     |
|------------------|---------------------------------------|-----|
| Machine Learning | Olive groves* Machine learning        | 25  |
| Machine Learning | Mediterranean crops* Machine Learning | 480 |
| Digital Twins    | Olive groves* Digital twins           | 1   |
| Digital Twins    | mediterranean crops* Digital twins    | 6   |
| Digital Twins    | Agriculture* Digital twins            | 376 |

Tabla 2: Número de artículos científicos según palabras clave (Aplicaciones) en la búsqueda de información (Web Of Science)

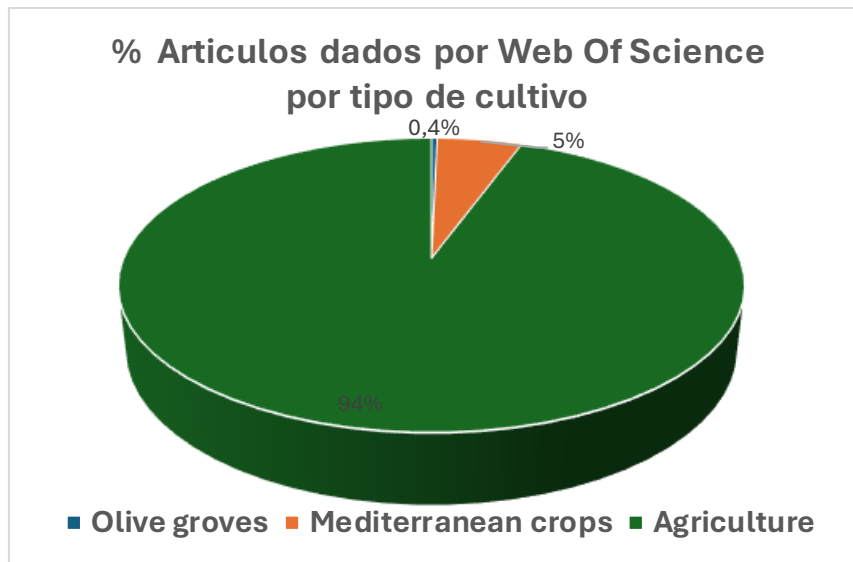
| <b>Tipo de información Consultada</b>       | <b>Términos de Búsqueda Utilizados (Palabras Clave)</b>          | <b>Número de artículos encontrados</b> |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Efficient use of water                      | Olive groves* efficient use of water                             | 0                                      |
| Efficient use of water                      | Mediterranean* crops Efficient use of water                      | 0                                      |
| Efficient use of water                      | agriculture * Efficient use of water                             | 1223                                   |
| Efficient use of fertilizers and Pesticides | Olive groves * Efficient use of fertilizers and Pesticides       | 5                                      |
| Efficient use of fertilizers and Pesticides | Mediterranean crops* Efficient use of fertilizers and Pesticides | 65                                     |

|                                                |                                                                        |       |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------|
| Efficient use of fertilizers<br>and Pesticides | Mediterranean crops*<br>Efficient use of fertilizers<br>and Pesticides | 780   |
| Prediction Production                          | olive groves* Prediction<br>and Production                             | 0     |
| Prediction Production                          | Mediterranean crops*<br>Prediction and<br>production                   | 17    |
| Prediction Production                          | Agriculture* Prediction<br>and Production                              | 26597 |
| Erosión and Biodiversity                       | olive groves* Erosión<br>And Biodiversity                              | 47    |
| Erosión and Biodiversity                       | Mediterranean crops*<br>Erosión and Biodiversity                       | 297   |
| Erosión and Biodiversity                       | Agriculture* Erosión and<br>Biodiversity                               | 804   |

De entre todos los artículos encontrados, podemos obtener gráficas que los agrupan según el aspecto que queramos analizar. Esto nos permite entender cuáles son las temáticas con más cantidad de información proporcionada.

Como se puede observar en el gráfico de la figura 3.1 y, de forma lógica, la mayor parte de artículos encontrados en una búsqueda no restringida a olivar, pertenecen a otros ámbitos de la agricultura; solo un 5% se refiere en general a cultivos mediterráneos y solo el 0.4% específicamente al olivar. **Esto nos supone un reto a la hora de obtener información de calidad e innovadora relacionada con la agricultura 4.0 en el sector del olivar.**

Aunque el olivar es el sexto de los cultivos permanentes más importantes del mundo, según (FAO., 2022), parece que no recibe la atención que merece en los estudios agrícolas en general, debido a la cantidad de información proporcionada por las principales paginas científicas.



*Figura 3.1 Promedio de cantidad de artículos encontrados en Web Of Science (Por tipo de Cultivo)*

A continuación, de entre todos los artículos, hemos **seleccionado** aquellos artículos con temáticas englobadas dentro de la agricultura restringiendo la búsqueda ya al caso de cultivos mediterráneos y olivar (Tablas 3 y 4), siguiendo con la separación entre campos semánticos de Tecnologías y Aplicaciones

Tabla 3: Número de artículos escogidos por temática (Tecnologías), restringiendo la búsqueda a cultivos mediterráneos y olivar.

| Tipo de Información<br>Consultada | Términos de<br>Búsqueda Utilizados<br>(Palabras Clave) | Número de Artículos<br>Escogidos |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------|
| UAV                               | Olive groves* UAV                                      | 1                                |
| UAV                               | Mediterranean crops<br>*UAV                            | 7                                |
| Remote sensing                    | Olive groves* Remote<br>sensing                        | 3                                |

|                    |                                            |    |
|--------------------|--------------------------------------------|----|
| Remote sensing     | Mediterranean crops*<br>Remote sensing     | 6  |
| Internet Of Things | Olive Groves* Internet<br>of Things        | 2  |
| Internet Of Things | Mediterranean crops*<br>Internet of things | 3  |
| Internet Of Things | Agriculture* Internet of<br>things         | 11 |
| In situ sensors    | Olive groves* in situ<br>sensors           | 0  |
| In situ sensors    | Mediterranean crops* in<br>situ sensors    | 0  |
| In situ sensors    | Agriculture* in situ<br>sensor             | 3  |
| Machine Learning   | Olive groves* Machine<br>learning          | 2  |
| Machine Learning   | Mediterranean crops*<br>Machine Learning   | 13 |
| Digital Twins      | Olive groves* Digital<br>twins             | 0  |
| Digital Twins      | Mediterranean crops*<br>Digital twins      | 0  |
| Digital Twins      | Agriculture* Digital twins                 | 9  |

Tabla 4: Número de artículos escogidos por temática (Aplicaciones), restringiendo la búsqueda a cultivos mediterráneos y olivar.

| <b>Tipo de información consultada</b>       | <b>Términos de Búsqueda Utilizados (Palabras Clave)</b>          | <b>Número de artículos</b> |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Efficient use of water                      | Olive groves* efficient use of water                             | 0                          |
| Efficient use of water                      | Mediterranean crops* Efficient use of water                      | 0                          |
| Efficient use of water                      | Agriculture* Efficient use of water                              | 11                         |
| Efficient use of fertilizers and Pesticides | Olive groves* Efficient use of fertilizers and Pesticides        | 0                          |
| Efficient use of fertilizers and Pesticides | Mediterranean crops* Efficient use of fertilizers and Pesticides | 0                          |
| Efficient use of fertilizers and Pesticides | Mediterranean crops* Efficient use of fertilizers and Pesticides | 0                          |
| Prediction Production                       | Olive groves * Prediction and Production                         | 0                          |
| Prediction Production                       | Mediterranean crops * Prediction and production                  | 0                          |
| Prediction Production                       | Agriculture* Prediction and Production                           | 8                          |
| Erosión and Biodiversity                    | olive groves* Erosión And Biodiversity                           | 2                          |

|                          |                                       |   |
|--------------------------|---------------------------------------|---|
| Erosión and Biodiversity | Mediterranean crops*                  | 3 |
|                          | Erosión and Biodiversity              |   |
| Erosión and Biodiversity | Agriculture* Erosión and Biodiversity | 3 |
|                          |                                       |   |

El total de artículos finalmente seleccionados en la búsqueda realizada en Web of Science es de 60, en el caso del apartado de tecnologías (Tabla 3), mientras que en el apartado de Aplicaciones nos da un total de 27 artículos elegidos (Tabla 4).

Como vemos en el gráfico de la Figura 3.2, la mayor parte de información seleccionada en el apartado de las tecnologías son relaciona con *Internet Of Things* y *Machine Learning*, mientras que para *In-situ sensors* la información de interés que hemos elegido se ve mermada.

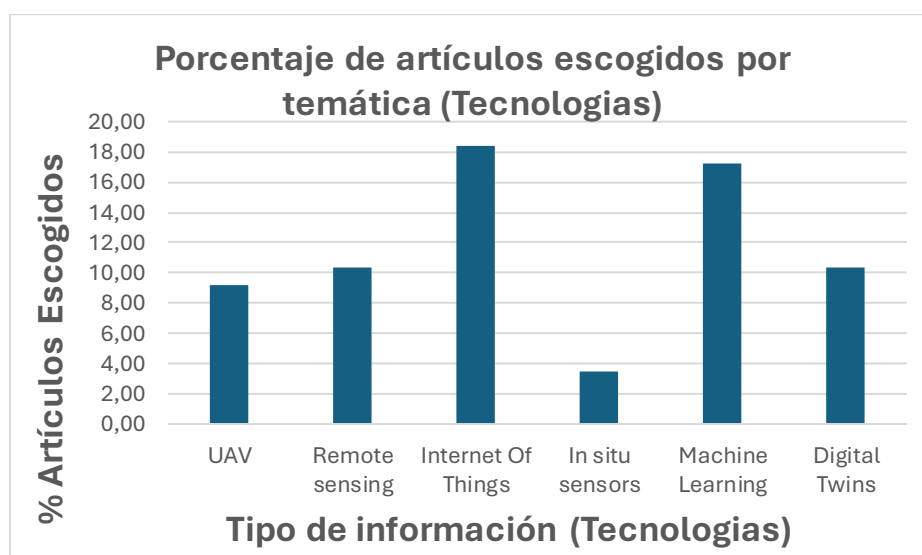
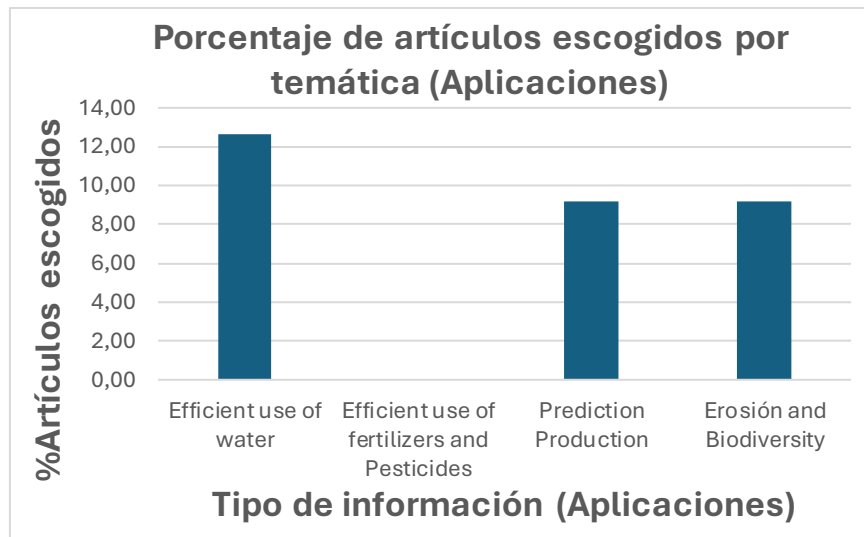


Figura 3.2 Porcentaje de artículos escogidos por temática en el apartado de tecnologías

En el caso de aplicaciones, la mayor parte de los artículos elegidos (Figura 3.3) se relacionan con el uso eficiente del agua, mientras que no hemos podido encontrar artículos relacionados con el uso eficiente de fertilizantes y pesticidas que traten la agricultura inteligente.



*Figura 3.3 Porcentaje de artículos escogidos por temática en el apartado de Aplicaciones*

Para poder suplir la falta de información en aquellas temáticas con escaso o nulo número de artículos escogidos (como se puede observar en la Figura 3.3, en el caso de uso eficiente de fertilizantes y pesticidas), hemos usado el buscador de Google como fuente de información complementaria que nos recoja artículos o páginas webs suficientes para poder tratar estos temas que presentan una menor carga de información relacionada con la agricultura de precisión, a causa de la reciente incorporación de estas tecnologías de vanguardia en casos tan específicos como lo pueden ser en el caso del cultivo del olivar.

En la Figura 3.4, podemos ver la distribución temporal de los artículos elegidos por año de publicación. Podemos ver, de una forma aproximada, que la mayoría de los artículos escogidos se encuentran entre los años 2021 y 2025, siendo así artículos de interés por su reciente publicación demostrando así las nuevas novedades tecnológicas revolucionarias en el sector agrícola.

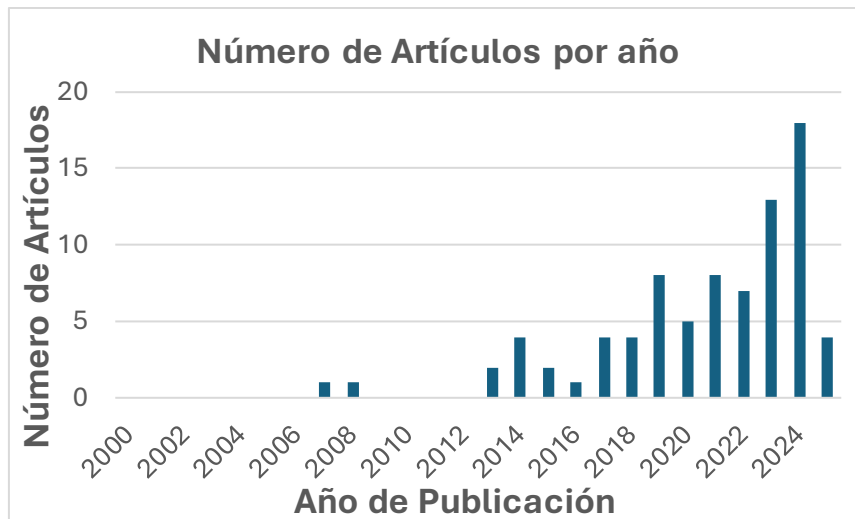


Figura 3.4 Número de artículos por año de publicación

Gracias a la información proporcionada por la figura 3.5 podemos observar que:

**En los últimos cinco años (2020-2025) se ha publicado aproximadamente el 61% del total de los artículos trabajados. Del 39 % restante, un 36,59% corresponde a publicaciones que van desde el año 2010 hasta 2020, y el 2,44 % restante se reparte entre los años 2000 hasta 2009.** Esto nos hace pensar que las innovaciones tecnológicas asociadas a la agricultura 4.0 son muy recientes y presentan aún margen de evolución y adaptabilidad en el sector agrícola, sobre todo en el olivar.

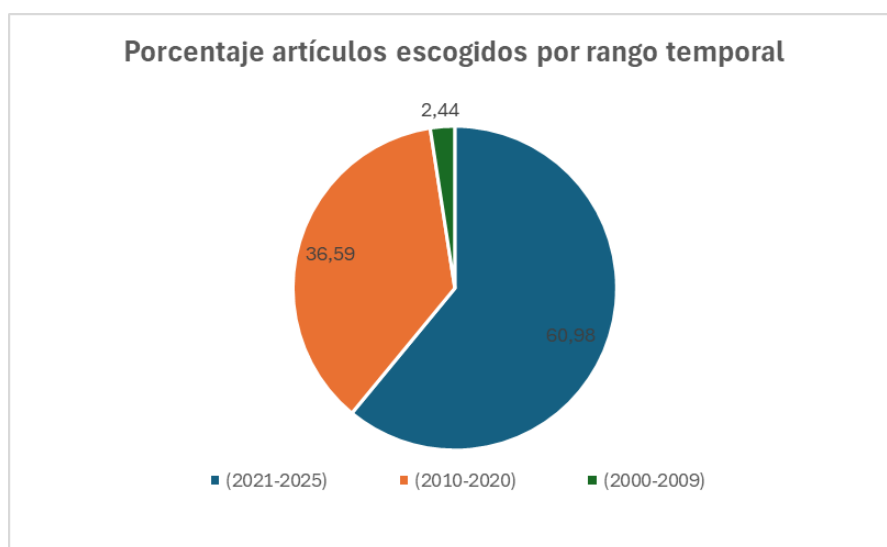


Figura 3.5 Porcentaje de artículos escogidos por rango temporal