



Universidad de Valladolid

DISEÑO Y VALORACIÓN DE UNA RED TECNOLÓGICA (TRACTORES DE ÚLTIMA GENERACIÓN, TELEDETECCIÓN CON DRONES, RED SENSORICA, SIMULADORES, AGROBOTS Y APLICACIONES INFORMÁTICAS) EN LOS CENTROS DE CAPACITACIÓN AGRARIA Y FORESTAL DE LA JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN

TRABAJO FIN DE MÁSTER DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



**Escuela Técnica Superior
de Ingenierías Agrarias Palencia**

CURSO 2024/2025

ALUMNO: CARLOS ALBANO MARTÍN PUENTES

Tutor: José Luis Marcos Robles

Tabla de contenido	Página
0. RESUMEN	3
1. INTRODUCCIÓN	4
2. ANTECEDENTES	6
2.1. Los centros de capacitación agraria en Castilla y León	6
2.2. Innovaciones tecnológicas en la agricultura	13
2.2.1. Tractores de Última Generación	13
2.2.2. Drones y cámaras multiespectrales	26
2.2.3. Red de Sensores	37
2.2.4. Simuladores	44
2.2.5. Agrobots	48
2.2.6. Aplicaciones Informáticas	55
2.3. Agricultura de Precisión	60
3. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO, HIPÓTESIS	64
3.1. Aspectos contextuales	64
3.2. Delimitación del estudio	67
3.3. Justificación e importancia	69
3.4. Diagnóstico tecnológico de los centros	70
4. OBJETIVOS	76
4.1. Objetivo general	76
4.2. Objetivos específicos	77
5. MATERIALES Y MÉTODOLOGÍA	90
5.1. Hardware y Software	90
5.1.1. Tractores	91
5.1.2. Drones y cámaras multiespectrales	94
5.1.3. Sensores	97
5.1.4. Simuladores	100
5.1.5. Agrobots	102
5.1.6. Aplicaciones Informáticas	106
5.1.7. Análisis de alternativas y justificación de la elección tecnológica	108

5.2. Integración de la Red Tecnológica -----	111
5.2.1. Ubicación de los Equipos -----	112
5.2.2. Montaje en el Campo-----	114
5.2.3. Pruebas y Puesta en Funcionamiento-----	115
5.2.4. Visualización de Datos-----	116
6. RESULTADOS-----	119
6.1. Valoración económica -----	120
6.1.1. Dispositivos-----	121
6.1.2. Infraestructura -----	123
6.1.3. Software-----	124
6.2. Análisis económico de la inversión prevista en la red tecnológica -----	127
6.3. Análisis del desarrollo formativo -----	133
6.4. Análisis del impacto social-----	136
7. CONCLUSIONES-----	139
7.1. Tecnología y aprendizaje: una combinación eficaz -----	139
7.2. Claves pedagógicas -----	139
7.3. Impacto social y territorial-----	139
7.4. Riesgos y condiciones de éxito -----	140
7.5. Prioridades a corto plazo (12–24 meses) -----	140
7.6. Cierre: de piloto a política pública-----	140
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	142
9. ANEXOS -----	162

0. RESUMEN

El presente trabajo pretende desarrollar un plan estratégico para la implantación de una red tecnológica en los Centros de Capacitación Agraria y forestal de la Junta de Castilla y León estableciendo las correspondientes pautas para una evaluación futura de la misma.

La transición hacia la Agricultura 4.0 exige que la formación profesional agraria incorpore de forma sistemática las tecnologías digitales y automatizadas que ya están transformando el sector. En Castilla y León, esta necesidad es especialmente urgente para garantizar que el alumnado adquiera competencias alineadas con las demandas de un mercado laboral cada vez más tecnificado y sostenible. Este trabajo presenta el diseño y la evaluación de una red tecnológica integral para los Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) de la región, concebida como un ecosistema formativo que combina equipamiento de vanguardia, conectividad y metodologías activas para impulsar la capacitación técnica y la innovación en el medio rural.

Se identificaron y analizaron tecnologías clave —tractores, drones, sensores, simuladores, aplicaciones y agrobots—, diseñando una arquitectura de red modular y escalable para su integración en los CIFP. La valoración económica se fundamentó en convenios reales con empresas, licitaciones y proyecciones de costes operativos, conforme a la normativa autonómica y a los presupuestos de la Dirección General.

En la fase inicial se incorporaron tractores de última generación mediante un convenio con nueve casas comerciales (359.180 € en tres años y medio), simuladores de maquinaria forestal (150.146 € anuales) y de soldadura (30.237 €), así como drones de iniciación, uno multispectral (14.683,35 €) y otro de tratamiento (15.529,14 €). Se está instalando una red de sensores en el CIFP Viñalta (21.216,28 €) que se complementara con otras instalaciones en el resto de CIFP con lo que se formara una red sensórica. El modelo pedagógico se basa en aprendizaje práctico y análisis de datos, con formación docente impartida por fabricantes, el ITACyL, la ECLAP y la Universidad de Valladolid.

La red tecnológica propuesta constituye una estrategia integral para modernizar la enseñanza agraria, combinando infraestructura avanzada, capacitación docente y metodologías activas. Su implementación no solo eleva el nivel competencial del alumnado, sino que también fortalece la cohesión territorial, dinamiza el tejido productivo y posiciona a Castilla y León como referente en formación agroforestal innovadora. A medio plazo, este modelo puede actuar como catalizador de desarrollo rural, transferencia tecnológica y sostenibilidad, contribuyendo a una agricultura más eficiente, resiliente y competitiva en el contexto global.

1. INTRODUCCIÓN

La formación profesional desempeña un papel fundamental en el desarrollo económico y social de una región, al proporcionar a los estudiantes las habilidades y conocimientos necesarios para incorporarse al mercado laboral.

En el caso de Castilla y León, la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural ha establecido una red de Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) con el objetivo de ofrecer una educación de calidad y adaptada a las necesidades del sector agrario y agroalimentario. Estos CIFP, dependientes de la Consejería, se han convertido en un pilar importante para la capacitación de los futuros profesionales del sector agrario y rural, brindando una formación integral que abarca desde la producción primaria hasta la transformación y comercialización de los productos. En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo realizar una introducción a los CIFP de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural de la Junta de Castilla y León, abordando su historia, situación actual y perspectivas de futuro.

Los Centros Integrados de Formación Profesional de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural de la Junta de Castilla y León tienen sus orígenes en la década de los 80, cuando se comenzó a reconocer la importancia de la formación profesional en el sector agrario y rural. En ese momento, se establecieron algunas escuelas y centros de formación agraria, con el objetivo de proporcionar a los estudiantes las habilidades y conocimientos necesarios para trabajar en el sector.

A lo largo de los años, estos centros de formación agraria fueron evolucionando y adaptándose a las necesidades cambiantes del mercado laboral. En la década de los 90, se dio un impulso significativo a la formación profesional en el ámbito agrario, con la creación de nuevos centros y la ampliación de la oferta formativa.

En el año 2002, se aprobó la Ley Orgánica 5/2002, de 19 de junio, de las Cualificaciones y de la Formación Profesional, que supuso un importante avance en la regulación y organización de la formación profesional en España. Esta ley estableció el marco para la creación de los Centros Integrados de Formación Profesional, que se caracterizaban por ofrecer una formación integral, abarcando diferentes familias profesionales relacionadas con un mismo sector.

En el caso de Castilla y León, la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural respondió a esta nueva normativa, impulsando la creación de una red de CIFP especializados en el sector agrario y agroalimentario.

Actualmente, la red de CIFP de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural de la Junta de Castilla y León está compuesta por ocho centros, ubicados en diferentes provincias de la región.

Estos centros han ido ampliando y diversificando su oferta formativa a lo largo de los años, adaptándose a las demandas del mercado laboral y a las nuevas tendencias del sector agrario y agroalimentario.

En este aspecto el contexto histórico de la educación agraria en Castilla y León en el último siglo (obviando lo que existía anteriormente) se puede establecer mediante el siguiente esquema temporal:

Instiuto de Colonización (1939-1971):

- Creado después de la Guerra Civil para promover la colonización y mejora de tierras.
- Impulsó la creación de escuelas de capataces agrícolas y granjas-escuela para formar a técnicos y trabajadores agrarios.
- Promovió la enseñanza agraria a través de cursos, conferencias y publicaciones.

Servicio de Extensión Agraria (1955-1984):

- Surgió para llevar asistencia técnica y formación a los agricultores y ganaderos.
- Creó una red de agentes de extensión agraria que impartían cursos, demostraciones y asesoramiento.
- Fomentó la creación de escuelas de capacitación agraria y granjas-escuela.

Reforma Educativa de 1970 y Formación Profesional Agraria:

- La Ley General de Educación estableció los estudios de Formación Profesional Agraria.
- Se crearon Centros de Formación Profesional Agraria para impartir enseñanzas regladas.
- Se potenciaron los programas de Formación Ocupacional Agraria para desempleados.

Transferencia de competencias a las CCAA (1978-1985):

- Con la Constitución, las CCAA asumieron competencias en materia de capacitación agraria.
- Cada comunidad desarrolló sus propios sistemas de formación y extensión agraria.
- Situación actual:
 - Las CCAA siguen siendo las principales responsables de la capacitación agraria.
 - Coexisten diferentes modalidades: FP Agraria, cursos de especialización, jornadas, etc.
 - Se presta especial atención a la formación en nuevas tecnologías, sostenibilidad y diversificación.

2. ANTECEDENTES

2.1. Los centros de capacitación agraria en Castilla y León

Los Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) dependientes de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural de la Junta de Castilla y León han evolucionado a lo largo del tiempo en respuesta a las necesidades del sector agropecuario y rural. Estos centros, como el CIFP Coca, CIFP La Santa Espina, CIFP Viñalta, CIFP Almazán, CIFP Príncipe Felipe, CIFP Almázcara, CIFP Ávila y CIFP Segovia, han desempeñado un papel clave en la formación de profesionales en áreas como la agricultura, la ganadería y el desarrollo rural.

En cuanto a la desaparición de los centros de Ciudad Rodrigo, Carrión de los Condes, Santa María del Páramo y otros Centros de Capacitación Agraria (CECA), diversos factores han influido en su cierre. Entre ellos, la reestructuración de la oferta educativa, la disminución de la demanda de formación en ciertas especialidades y la optimización de recursos por parte de la administración autonómica. Además, cambios en las políticas de formación y el desarrollo de nuevas estrategias educativas han llevado a la concentración de la enseñanza en centros más grandes y especializados.

En cuanto a la historia de los Centros Integrados de Formación Profesional de la Consejería podemos hacer un breve resumen de la misma:

2.1.1. CIFP La Santa Espina

El Centro está ubicado en un monasterio del siglo XI situado en los Montes Torozos en el norte de Valladolid (Figura N° 1).



Figura N° 1: Fachada del CIFP "San Rafael de la Santa Espina"
(Imagen tomada de Junta de Castilla y León, s.f.)

La Escuela de Capacitación Agraria de La Santa Espina es la más antigua de toda España. Nació en el año 1886, de la mano de Doña Susana de Montes y Bayón, viuda del Marqués de Valderas, como

una Escuela pública y de asilo para pobres, donde se impartía enseñanza primaria y posteriormente enseñanza agrícola.

De la educación se encargaron los hermanos de LA SALLE, dando comienzo las clases el 8 de diciembre de 1888.

Esta fundación de la marquesa atravesó dificultades económicas que pudieron superarse con la firma de distintos convenios.

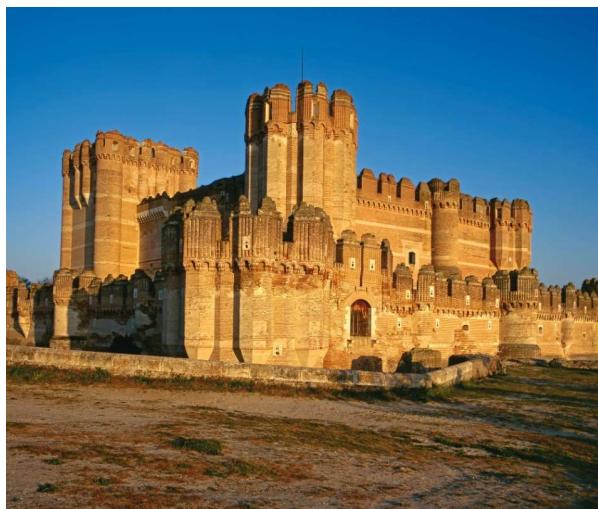
Fruto de estos convenios nacieron la Escuela de Capataces en el año 1954 y la Formación Profesional Agraria en 1975.

Desde el año 1984 es un centro público dependiente de la Consejería de Agricultura y Ganadería de la Junta de Castilla y León que imparte ciclos formativos de grado superior actividades agrarias e industrias alimentarias (“Paisajismo y Medio Rural” y “Vitivinicultura”), ciclos formativos de grado medio en actividades agrarias e industrias alimentarias (“Producción Agropecuaria” y “Aceites de Oliva y Vinos”) y programas de cualificación profesional. Este próximo curso empezará a impartir una Formación Profesional Básica en “Actividades Agropecuarias”.

En la actualidad, una vez que los hermanos de LA SALLE renunciaron a hacerse cargo de las tareas de responsabilidad del internado, ha asumido esta responsabilidad la Fundación “Educatio Servanda”

2.1.2. CIFP Coca

El Centro está ubicado en un castillo mudéjar del siglo XV situado en los Tierra de Pinares en el norte de Segovia (Figura N° 2).



*Figura N° 2: Vista del CIFP “Coca” en el castillo de la misma localidad
(Imagen tomada de Junta de Castilla y León, s.f.)*

El CIFP Coca tiene su origen en la cesión realizada por la Excelentísima Señora Doña María del Rosario Cayetana Stuart Y Silva Duquesa de Montoro de la Casa de Alba en el día 14 de abril de 1954 mediante carta dirigida al Excelentísimo Señor Ministro de Agricultura ofreciendo ceder gratuitamente al Estado Español el Castillo de Coca de acuerdo con las condiciones que en aquella carta se expresaron (*“La finca donada habrá de destinarse por el ministerio de Agricultura al establecimiento de enseñanzas agrícolas, pudiendo dedicarse una parte de la misma a silo o granero y comprometiéndose el estado a realizar las necesarias obras de restauración y transformación del Castillo”*).

La Casa de Alba materializo en 1954 la cesión mediante escritura pública donde se expresaba *“Por escritura pública otorgada el 16 de julio de 1954, la Excmo. Señora María del Rosario Cayetana Stuart Fitz-James de Silva, Duquesa de Montoro donó al Estado Español, a través del Ministerio de Agricultura el Castillo de Coca, con la condición expresa de que su reconstrucción se verificase de acuerdo con los dictámenes de las Reales Academias de la Historia y de las Bellas Artes de San Fernando y se dedicase al establecimiento en el de una Escuela de Capataces. Realizada la reconstrucción total parece llegado el momento de establecer en la fortaleza una Escuela de Capataces, con lo que quedaran cumplidas totalmente las condiciones resolutorias impuestas por la donante”*

De esta manera se oficializo la formación de la Escuela de Capataces Forestales que, a día de hoy, se encuentra englobada en la red de CIFP de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural de la Junta de Castilla y León impartiendo los Siguiente Ciclos: Ciclo de Grado Superior “Técnico Superior en Gestión Forestal y del Medio Natural” y el Ciclo de Grado Medio “Técnico en Aprovechamiento y Conservación del Medio Natural”. Además se imparten diversos programas de cualificación profesional.

2.1.3. CIFP Almazán

La Escuela de Capataces Agrícolas y Forestales, situada en la localidad soriana de Almazán (Figura nº3), inició su actividad académica en el curso 1969-1970. En estos años de andadura ha contribuidos destacablemente a la formación agraria y forestal de varias generaciones de profesionales del sector primario.

Dependiendo actualmente de la Consejería de Agricultura y Ganadería, el Centro Integrado de Formación Profesional “Almazán” se creó mediante el ACUERDO 2/2017, de la Junta de Castilla y León, conocido anteriormente como Centro de Formación Agraria de Almazán.

Actualmente se imparten en este Centro los siguientes Ciclos: Ciclo de Grado Superior “Técnico Superior en Gestión Forestal y del Medio Natural” y el Ciclo de Grado Medio “Técnico en

Aprovechamiento y Conservación del Medio Natural". Además se imparten diversos programas de cualificación profesional.



*Figura N° 3: Vista del CIFP "Almazán"
(Imagen tomada de Junta de Castilla y León, s.f.)*

2.1.4. CIFP Viñalta

El Centro se encuentra ubicado en el término municipal de Palencia (Figura nº4)



*Figura N° 4: Vista del CIFP "Viñalta"
(Imagen tomada de castillayleonesdeporte.com, 2022)*

Sus antecedentes se trasladan al principio del siglo anterior, en sus inicios como Granja-Escuela de agricultura, luego "Estación Experimental Agraria de Palencia y, posteriormente, Escuela de Capacitación y Experiencias Agrarias.

En un principio se pretendió la compaginación de la formación de los agricultores con la experimentación agraria. Su influencia en la formación fue muy escasa. No fue hasta la creación de las Escuelas de Capacitación agraria por Decreto 7-12-1951, cuando se dio el primer paso oficial para la adaptación de la Formación Profesional a las necesidades del sector agrario, dependientes del

ministerio de Agricultura. Una de estas Escuelas era el centro de Capacitación de experiencias Agrarias de Palencia. Es en el año 1969 cuando se pone en marcha con una superficie de regadío de 30 Has y con diversas instalaciones agrícolas y ganaderas.

Imparte Ciclos Formativos de Grado Superior en actividades agrarias (“Paisajismo y Medio Rural” y “Ganadería y Sanidad Animal”), Ciclo Formativo de Grado Medio en actividades agrarias (“Producción Agroecológica”) y programas de cualificación profesional.

2.1.5. CIFP Almázcara

El Centro se encuentra situado en el norte de la provincia de León en la comarca del Bierzo (Figura nº5)



Figura N° 5: Vista del CIFP “Almázcara”
(Imagen tomada de Centro Integrado de Formación Profesional Almázcara, s.f.)

El Centro Integrado de Formación Profesional de Almázcara es un centro joven (comparado con los restantes de la Comunidad) ya que se crea en el año 1977 al amparo de un convenio firmado por la Junta Vecinal de Almázcara y la Diputación de León, por el cual dicha Junta Vecinal cede los terrenos de su propiedad para que se ponga una entonces “Escuela de Capacitación Agraria”.

Después de realizadas las construcciones de edificios y naves necesarios comienza a funcionar en el año 1984 impartiendo en ella las enseñanzas de Formación Profesional de 1^{er} grado en su rama agraria, en convenio con la Junta de Castilla y León, que dirige y coordina las enseñanzas, aportando la Diputación los medios materiales.

Actualmente pertenece a la red de de CIFP de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural de la Junta de Castilla y León impartiendo los Siguientes Ciclos: Ciclo Formativo de Grado Superior en actividades agrarias (“Técnico Superior en Gestión Forestal y del Medio Natural”) y Ciclos Formativos de Grado Medio en actividades agrarias (“Técnico en Aprovechamiento y

Conservación del Medio Natural” y “Producción Agroecológica”). A mayores de estas enseñanzas se imparten diversos programas de cualificación profesional.

2.1.6. CIFP Príncipe Felipe (Albilllos)

El centro se encuentra en Albilllos, Burgos (Figura nº6). Se fundó en 1987, originalmente como una Escuela de Capacitación Agraria.



*Figura N° 6: Vista del CIFP “Príncipe Felipe”
(Imagen tomada de Centro Integrado de Formación Profesional Príncipe Felipe, s.f.)*

Actualmente pertenece a la red de CIFP de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural de la Junta de Castilla y León impartiendo los Siguientes Ciclos: Ciclo Formativo de Grado Superior en actividades agrarias (“Ganadería y Sanidad Animal”), Ciclo Formativo de Grado Medio en actividades agrarias (“Producción Agropecuaria”) y programas de cualificación profesional.

2.1.7. CIFP Ávila (La Colilla)

Este Centro está ubicado en el término municipal de la Colilla (Ávila) (Figura nº7)).



*Figura N° 7: Vista del CIFP “Ávila”
(Imagen tomada de Centro Integrado de Formación Profesional Agraria de Ávila, s.f.)*

El Centro se formó originalmente en virtud en un convenio entre la Junta de Castilla y León, la Diputación Provincial de Ávila y la Caja de Ahorros de Ávila, de fecha 9 de abril de 1987 en virtud del cual se crea la Escuela de Capacitación y Experiencias Agrarias, se construyen las dependencias actuales y la actividad docente pasa a desarrollarse en la ubicación en la que se encuentra hoy.

El Centro se inauguró oficialmente el día 23 de enero de 1991, teniendo su origen en el antiguo Centro de Capacitación Agraria de San Pedro del Arroyo.

Actualmente pertenece a la red de de CIFP de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural de la Junta de Castilla y León impartiendo los Siguientes Ciclos: Ciclo Formativo de Grado Superior en actividades agrarias (“Ganadería y Sanidad Animal”), Ciclo Formativo de Grado Medio en actividades agrarias (“Producción Agropecuaria”) y programas de cualificación profesional.

2.1.8. CIFP Segovia

El Centro se encuentra ubicado en el término municipal de Segovia (Figura nº 8).



Figura N° 8: Vista del CIFP “CFA Segovia”

(Imagen tomada de Centro Integrado de Formación Profesional “Escuela de Capacitación y Experiencias Agrarias de Segovia”, s.f.)

Surge del compromiso contraído por el Ayuntamiento de Segovia con la Consejería de Agricultura, Ganadería y Montes para adquisición de los terrenos necesarios para la construcción y funcionamiento de la Escuela de Capacitación y Experiencias Agrarias de Segovia (DECRETO 22/1987 de 26 de febrero, por el que se declara la urgencia en la ocupación de los terrenos afectados por la expropiación del Polígono destinado a la ubicación de la Escuela de Capacitación y Experiencias Agrarias de Segovia).

La Corporación municipal referenciada, en sesión plenaria celebrada el 26 de julio de 1986, adoptó acuerdos sobre los extremos:

- A) Aprobación del proyecto de expropiación de los terrenos para la construcción de instalaciones docentes.
- B) Declaración de utilidad pública de los terrenos. Así como de la necesidad de ocupación de las parcelas objeto de ocupación con la consiguiente notificación a los propietarios.
- C) Solicitar de la Junta de Castilla y León la autorización para la urgente ocupación de los bienes afectados.

A raíz de este acuerdo se creó este Centro que actualmente pertenece a la red de CIPF de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural de la Junta de Castilla y León impartiendo los Siguientes Ciclos: Ciclo Formativo de Grado Superior en actividades agrarias (“Técnico Superior en Ganadería y Sanidad Animal”) y Ciclos Formativos de Grado Medio (“Técnico en Guía en el Medio Natural y de Tiempo Libre” y “Técnico en Actividades Ecuestres”). También se imparten diversos programas de cualificación profesional.

2.2. Innovaciones tecnológicas en la agricultura

Dada la complejidad y extensión de este apartado se ha optado por realizar un breve resumen de cada uno de los apartados que comprende aportando las referencias bibliográficas donde se puede ampliar el contenido.

2.2.1. Tractores de Última Generación

2.2.1.1. Introducción

La mecanización agraria ha evolucionado hacia tractores de última generación, que integran electrónica, GPS, sensores y conectividad avanzada. Estos vehículos son el núcleo de la agricultura de precisión, permitiendo decisiones basadas en datos para mejorar rendimiento, reducir costos y minimizar el impacto ambiental (Castro Polanco, 2024; Kushwaha et al., 2024).

Su desarrollo se enfoca en sostenibilidad y autonomía, incorporando sistemas de autoguiado, telemetría e interconexión con aperos mediante ISOBUS (Shkiliova et al., 2017; Agroptima, 2017), contribuyendo a una agricultura más eficiente y responsable.

2.2.1.2. Historia de la Mecanización Agraria

La mecanización agraria marcó una transformación histórica en la agricultura, pasando de la fuerza humana y animal a sistemas tecnológicos avanzados (Kushwaha et al., 2024). Desde la Revolución Industrial, con máquinas a vapor como el tractor Froelich (1892), hasta la popularización de tractores de gasolina y diésel en el siglo XX, la productividad agrícola se multiplicó (Castro Polanco, 2024; CONtexto Ganadero, 2021). Avances como la toma de fuerza, la tracción en las cuatro ruedas y las

cabinas cerradas (Repuestos Fuster, 2025) mejoraron la eficiencia y seguridad. En España, Lanz Ibérica impulsó la mecanización en los años 50 (Ortiz-Cañavate, 2010; Barreiro Elorza, 2021; Martínez Ruiz, 2000). La incorporación de GPS y electrónica en los 90 dio paso a la agricultura de precisión (Shkilova et al., 2017).

2.2.1.3. Evolución Temporal de los Avances Tecnológicos en los Tractores

La historia del tractor refleja una evolución constante hacia la eficiencia agrícola (Kushwaha et al., 2024).

Desde los primeros modelos a vapor del siglo XIX hasta los tractores de combustión interna del XX, cada etapa incorporó avances clave como la toma de fuerza (PTO) y los enganches de tres puntos (Castro Polanco, 2024; Repuestos Fuster, 2025).

Entre 1960 y 1990, se mejoró la ergonomía y seguridad con cabinas cerradas y tracción en las cuatro ruedas .

A partir de 1990, la digitalización transformó el tractor en un centro de gestión agrícola, con GPS, sensores y conectividad ISOBUS (Shkilova et al., 2017; CHCNAV, 2025).

Hoy, los tractores inteligentes operan con autonomía y precisión milimétrica.

2.2.1.4. Situación Actual de los Tractores de Última Generación

La maquinaria agrícola moderna ha evolucionado hacia tractores altamente sofisticados que integran electrónica, sensores, conectividad digital y tecnologías sostenibles, convirtiéndose en centros de operaciones móviles (Repuestos Fuster, 2025).

Estos vehículos combinan potencia mecánica con inteligencia tecnológica, optimizando recursos, reduciendo emisiones y mejorando la experiencia del operador (Castro Polanco, 2024; CONtexto Ganadero, 2021).

La telemetría permite monitorear el rendimiento en tiempo real, mientras que la digitalización ha transformado la cabina en un centro de control ergonómico.

Protocolos como ISOBUS garantizan compatibilidad entre implementos, facilitando una agricultura más eficiente y responsable (Shkilova et al., 2017).

2.2.1.4.1. Sistemas Anticontaminación

Los tractores modernos incorporan sistemas anticontaminación avanzados para cumplir con normativas como la europea Stage V, reduciendo su impacto ambiental (Figura 9). Entre ellos destacan el DPF, que captura partículas de hollín y se regenera automáticamente, y el SCR, que transforma los NOx en compuestos inocuos mediante AdBlue (Castro Polanco, 2024; CONtexto

Ganadero, 2021). También se emplea la tecnología EGR, que reduce la temperatura de combustión y limita la formación de NO_x (Tabla 1). Estos sistemas reflejan el compromiso del sector con la sostenibilidad, aunque algunos agricultores han reportado riesgos como incendios durante la regeneración del DPF en entornos inflamables, lo que ha generado debate sobre su seguridad (Shkiliova, Fundora Piñeyro & Jarre Cedeño, 2017).

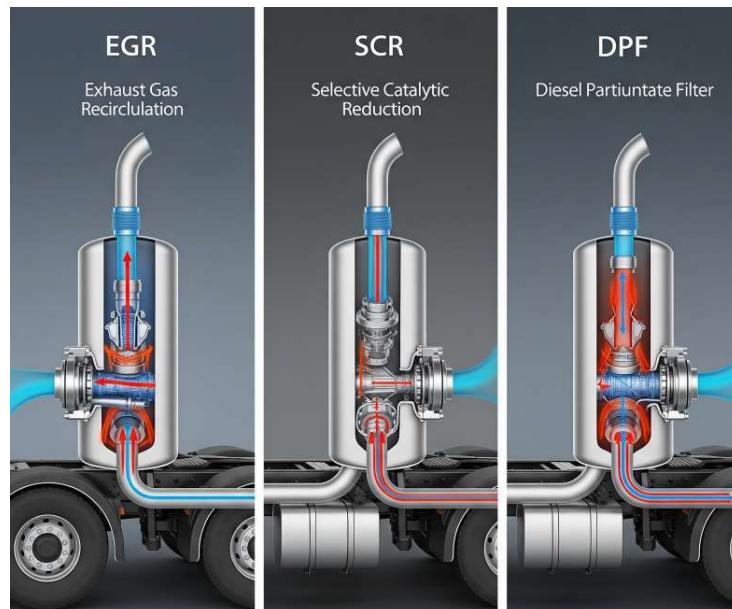


Figura 9: Imagen de los distintos sistemas anticontaminación que adoptan los tractores actuales: EGR, SCR Y DPF (Imagen tomada de Bosch Mobility Solutions, s.f.)

Tabla nº1: Principales marcas de tractores, series y tecnologías anticontaminación

Marca	Series de tractores	Tecnologías anticontaminación aplicadas
John Deere	Serie 6R, 7R, 8R, 9R	EGR: Recirculación de gases de escape para reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO _x). DPF: Filtro de partículas diésel para capturar partículas sólidas del escape. SCR: Reducción catalítica selectiva para convertir los NO _x restantes en gases menos nocivos.
Case IH	Farmall, Maxxum, Puma, Magnum	EGR: Recirculación de gases de escape para un control inicial de los NO _x . DPF: Filtro de partículas diésel para eliminar las partículas del escape. SCR: Reducción catalítica selectiva con inyección de urea (DEF) para cumplir con las normativas de emisiones más estrictas.
New Holland	T4, T5, T6, T7, T8, T9	EGR: Utilizado para reducir la temperatura de combustión y la formación de NO _x . DPF: Filtro de partículas diésel, con procesos de regeneración para su limpieza. SCR: Tecnología de reducción catalítica selectiva para la conversión de NO _x , con el uso de AdBlue.
Fendt	Vario 200, 300, 500, 700, 900	EGR: Recirculación de gases de escape. SCR: Reducción catalítica selectiva, que es el componente principal para la limpieza de gases de escape en la mayoría de sus modelos. DPF: Algunos modelos incorporan filtro de partículas diésel como complemento al sistema.
Massey Ferguson	Serie 5S, 6S, 7S, 8S	EGR: Recirculación de gases de escape. DPF: Filtro de partículas diésel para capturar las partículas. SCR: Reducción catalítica selectiva para reducir los óxidos de nitrógeno.

Nota. Adaptado de *Adaptación de los tractores a los nuevos límites de emisiones* (Montoro, 2015) y *Los gases contaminantes de los tractores y las tecnologías desarrolladas para su reducción* (Gil Sierra, 2010).

2.2.1.4.2. Sistemas de Autoguiado

Los sistemas de autoguiado son una innovación clave en la agricultura de precisión, automatizando la dirección del tractor y mejorando la eficiencia (Castro Polanco, 2024; CONTEXTO Ganadero, 2021). Basados en GPS y GNSS (Figura 10), alcanzan precisión milimétrica mediante RTK, que corrige la señal y reduce la desviación a pocos centímetros, optimizando el uso de insumos (Repuestos Fuster, 2025).



Figura 10: Esta imagen muestra un sistema GNSS RTK típico, incluyendo el receptor móvil y la estación base, elementos clave para lograr posicionamiento centimétrico en tiempo real (Imagen tomada de GeoMeter, s.f.)

Sus beneficios incluyen menor fatiga del operario, ahorro de combustible y mayor productividad, incluso con baja visibilidad (Shkiliova, Fundora Piñeyro & Jarre Cedeño, 2017). Aplicables también a pulverizadores y cosechadoras (Tabla nº2), existen versiones de GPS visual y autoguiado, siendo este último capaz de evitar solapes, reducir costes y mejorar la sostenibilidad.

Tabla nº2: Tecnologías GPS en agricultura: Marcas, precisión, costo y adopción

Marca de tecnología GPS	Tecnologías utilizadas	Marcas de tractores que las adoptan
Trimble	<ul style="list-style-type: none"> - Corrección por satélite: Utiliza señales de satélites (OmniSTAR, CenterPoint RTK) y redes de estaciones base para correcciones de alta precisión. - Pantallas y software: Integración de pantallas táctiles (serie GFX, TMX) y software de gestión como Trimble Ag Software. 	<ul style="list-style-type: none"> - Adopción: Se adapta a una gran variedad de marcas, incluyendo New Holland, Case IH, AGCO (Fendt, Massey Ferguson) y muchas más.
John Deere	<ul style="list-style-type: none"> - Corrección por satélite: Utiliza su propia red de estaciones base y satélites (SF1, SF3, RTK) para señales de corrección. - Pantallas y software: Pantallas (GreenStar) y software (JDLink) integrados en sus tractores para una interfaz fluida. - Autoguiado: Tecnología AutoTrac para el guiado automático del tractor. 	<ul style="list-style-type: none"> - Adopción: Tecnología nativa de John Deere. Se integra perfectamente en sus series de tractores (Serie 6R, 7R, 8R, etc.).

Marca de tecnología GPS	Tecnologías utilizadas	Marcas de tractores que las adoptan
Trimble	<ul style="list-style-type: none"> - Corrección por satélite: Utiliza señales de satélites (OmniSTAR, CenterPoint RTK) y redes de estaciones base para correcciones de alta precisión. - Pantallas y software: Integración de pantallas táctiles (serie GFX, TMX) y software de gestión como Trimble Ag Software. 	<ul style="list-style-type: none"> - Adopción: Se adapta a una gran variedad de marcas, incluyendo New Holland, Case IH, AGCO (Fendt, Massey Ferguson) y muchas más.
John Deere	<ul style="list-style-type: none"> - Corrección por satélite: Utiliza su propia red de estaciones base y satélites (SF1, SF3, RTK) para señales de corrección. - Pantallas y software: Pantallas (GreenStar) y software (JDLink) integrados en sus tractores para una interfaz fluida. - Autoguiado: Tecnología AutoTrac para el guiado automático del tractor. 	<ul style="list-style-type: none"> - Adopción: Tecnología nativa de John Deere. Se integra perfectamente en sus series de tractores (Serie 6R, 7R, 8R, etc.).
Cereia	<ul style="list-style-type: none"> - Guiado visual: El sistema guía al operador a través de una pantalla (generalmente una tablet con Android) que muestra las líneas de trabajo y las áreas tratadas, pero el control de la dirección es manual. - Autoguiado (opcional): Puede incorporar un motor eléctrico para automatizar la dirección del volante. - Tecnología de corrección: Utiliza señales GPS y, en sus versiones más avanzadas, estaciones base RTK para correcciones de precisión. 	<ul style="list-style-type: none"> - Adopción: Al ser un sistema de software y hardware modular, se puede instalar en casi cualquier marca de tractor, lo que lo hace muy versátil.
Topcon	<ul style="list-style-type: none"> - Corrección por satélite: Ofrece correcciones RTK a través de redes de estaciones base (RTK-GNSS) y servicios de pago. - Autoguiado: Sistemas de autoguiado (AES-35) y pantallas (X Family Consoles) que permiten la automatización del volante. - Software: Software de gestión agrícola (Topcon Agriculture Platform). 	<ul style="list-style-type: none"> - Adopción: Amplia compatibilidad con marcas como New Holland, Case IH y otros fabricantes a través de sistemas de posventa.
Raven Industries	<ul style="list-style-type: none"> - Corrección por satélite: Tecnología de corrección por satélite (Slingshot RTK) y servicios de estaciones base. - Autoguiado: Sistemas de control de dirección y pantallas de visualización (Viper 4). - Software: Plataforma de software para la gestión de datos agrícolas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Adopción: Amplia compatibilidad con muchas marcas de tractores. A menudo se utiliza para el control de maquinaria de aplicación, como pulverizadoras.

Nota. Elaboración propia a partir de Agroptima (2019), CRAISA (s. f.) y RawData (2024).

2.2.1.4.3. Interacción Tractor-Apero: Sistemas ISOBUS

Los sistemas ISOBUS, basados en la norma ISO 11783, estandarizan la comunicación entre tractores y aperos, garantizando compatibilidad y operatividad entre fabricantes (Shkilova, Fundora Piñeyro & Jarre Cedeño, 2017).

Antes, cada implemento requería su propio terminal, saturando la cabina y aumentando errores. ISOBUS centraliza el control en una única pantalla (Figura 11), permitiendo ajustar funciones como dosis de siembra según velocidad y posición GPS (CHCNAV, 2025; Castro Polanco, 2024; CONtexto Ganadero, 2021).

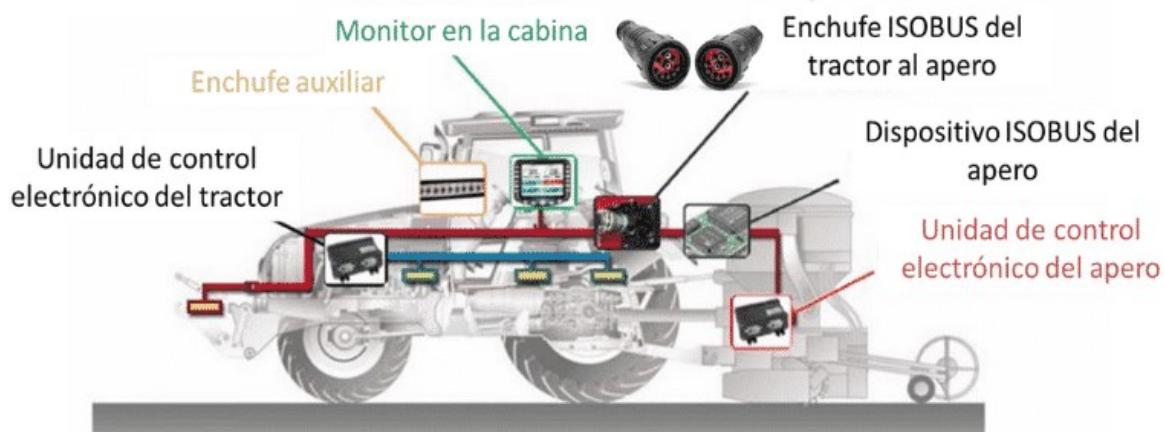


Figura 11: Diagrama de como conecta el cableado CANBUS todos los componentes del equipo tractor-apero y permite bajo la norma ISOBUS su comunicación (Imagen tomada de AEF – Agricultural Industry Electronics Foundation, s.f.)

Su arquitectura incluye elementos como VT, TC, IC y ECUs (Tabla nº3), que gestionan datos y controlan parámetros del apero (Repuestos Fuster, 2025). Funcionalidades destacadas (Figura 12) son UT, TC-BAS, TC-GEO, TC-SC, AUX-N/AUX-O, TECU y el Terminal Virtual (Agroptima, 2017).



Figura 12: Funcionalidades de ISOBUS
Tecnología ISOBUS: Componentes, puertos y utilidades
(Imagen tomada de AEF – Agricultural Industry Electronics Foundation, s.f.)

Entre sus ventajas estarían:

- Compatibilidad universal,
- Reducción de costes al evitar múltiples terminales
- Mejora en la toma de decisiones gracias a la digitalización de datos (Kushwaha, Singh, Singh & Dwivedi, 2024; CHCNAV, 2025).

ISOBUS es clave en la agricultura de precisión, fomentando interoperabilidad y eficiencia.

Esto se logra mediante los siguientes componentes clave (Tabla nº3):

Tabla nº3: Funcionalidades y componentes del sistema ISOBOS

Componente/Puerto	Explicación detallada	Utilidades en el sector agrario
Terminal Universal (UT)	Es la pantalla en la cabina del tractor. Muestra una interfaz de usuario estandarizada para todos los aperos compatibles, sin importar la marca. Actúa como el centro de mando.	Permite al operador visualizar y controlar todas las funciones del apero desde una única pantalla, eliminando la necesidad de múltiples monitores y facilitando la gestión de la maquinaria.
Controlador de Tarea (TC)	Es el cerebro del sistema ISOBOS. Puede ser un TC-BAS (registra totales, como la cantidad de fertilizante aplicado), un TC-GEO (vincula los datos a la ubicación GPS) o un TC-SC (permite el control de secciones, como apagar automáticamente una hilera de siembra).	Habilita la agricultura de precisión. Un TC-GEO, por ejemplo, permite crear mapas de aplicación variable y un TC-SC evita la superposición de trabajo en las cabeceras del campo, lo que reduce el gasto de insumos.
Sección de Control de Implemento (Task Controller)	Es un software que se integra en el apero. Lee los datos del controlador de tarea y los ejecuta en el apero. Por ejemplo, ajusta la dosis de fertilizante o cambia el ancho de trabajo.	Permite la automatización completa de las tareas. Asegura que la maquinaria realice las acciones precisas definidas por el controlador de tarea, mejorando la eficiencia y precisión en la siembra o la pulverización.
Conector Breakaway	Es el conector físico (ISO 11783-2) que une el tractor y el apero. Su diseño estandarizado garantiza que cualquier apero ISOBOS se pueda conectar a cualquier tractor ISOBOS. Está diseñado para desconectarse de forma segura si se aplica una fuerza excesiva, evitando daños.	Asegura la compatibilidad universal entre diferentes marcas de tractores y aperos. Facilita el intercambio de maquinaria y reduce la inversión en equipos específicos, ya que los aperos son compatibles entre sí.
Gestión de la Maquinaria (TECU)	Es la unidad de control del tractor que actúa como la puerta de enlace entre el ISOBOS y el resto de los sistemas del tractor. Proporciona información sobre la velocidad, el estado del motor y la toma de fuerza (TDF) al apero.	Permite que el apero se ajuste automáticamente a las condiciones del tractor. Por ejemplo, un apero de siembra puede modificar su velocidad de dosificación en función de la velocidad real del tractor para mantener una densidad de siembra constante.

Nota. Elaboración propia a partir de AEF (s. f.), Ruiz García (2023) y ARAG (s. f.).

2.2.1.4.4. Otros Adelantos Presentes en los Tractores Actuales

Los tractores de última generación incorporan, además de sistemas anticontaminación, autoguiado e ISOBOS, tecnologías que optimizan eficiencia, comodidad y gestión agrícola (Agroptima, 2017; Castro Polanco, 2024; CONtexto Ganadero, 2021).

- Destaca la telemetría, que monitoriza en tiempo real consumo, velocidad y estado del motor, facilitando mantenimiento predictivo (Repuestos Fuster, 2025).

- Las transmisiones CVT mantienen el motor en su punto óptimo, reduciendo consumo y fatiga .
- Los sistemas de gestión de cabeceras automatizan giros y maniobras, ahorrando tiempo y errores (Kushwaha, Singh, Singh & Dwivedi, 2024).
- La conectividad permite interacción con implementos, flotas y drones, creando un ecosistema digital (Shkilova, Fundora Piñeyro & Jarre Cedeño, 2017).
- Otras mejoras incluyen iluminación LED, cabinas optimizadas, IA para evitar colisiones, mayor autonomía y neumáticos eficientes, contribuyendo a una agricultura más productiva, segura y sostenible.

2.2.1.5. Perspectivas de Futuro

El futuro de los tractores agrícolas estará marcado por sostenibilidad, eficiencia energética y digitalización, impulsando un cambio de paradigma hacia máquinas inteligentes, autónomas y ecológicas (Shkilova, Fundora Piñeyro & Jarre Cedeño, 2017).

Se prevé la adopción de energías alternativas como electricidad e hidrógeno, reduciendo emisiones y ruido, y mejorando la salud del operador (Castro Polanco, 2024; CONtexto Ganadero, 2021).

La automatización total, con sensores LiDAR, cámaras, GPS e IA, permitirá operar sin conductor, optimizando siembra, riego y cosecha.

La IA potenciará la agricultura de precisión, ajustando insumos según datos de suelo, clima y cultivos.

La colaboración entre fabricantes y startups, junto con drones y robots, creará un ecosistema agrícola integrado, eficiente y sostenible.

2.2.1.5.1. Energías Alternativas

El futuro de los tractores de última generación está ligado a energías alternativas que sustituyan a los combustibles fósiles, impulsadas por la necesidad de sostenibilidad y reducción de emisiones (Shkilova, Fundora Piñeyro & Jarre Cedeño, 2017).

Destacan tres vías:

- Electrificación, con motores eléctricos de cero emisiones y funcionamiento silencioso, limitada por autonomía y recarga (Castro Polanco, 2024; CONtexto Ganadero, 2021).
- Hidrógeno, con celdas de combustible que generan solo agua, recarga rápida y alta autonomía, pero con infraestructura incipiente.

- Combustibles sintéticos, compatibles con motores actuales y baja huella de carbono, aunque costosos.

También se exploran sistemas híbridos. La transición, reflejada en modelos como el Fendt E100 Vario y prototipos de New Holland, apunta a un futuro más limpio y eficiente (Figura 13; Tabla nº4).



Figura 13: Comparativa conceptual de tractores con motor eléctrico, de hidrógeno e híbrido.
(Imagen tomada de García, 2020)

Tabla nº4: Comparativa de las nuevas tecnologías de motores

Tecnología	Descripción	Ventajas	Desafíos	Ejemplo
Motores eléctricos	Utilizan baterías recargables para alimentar un motor eléctrico, que transmite la potencia a las ruedas y aperos (Geancar, 2025). Tienen menos partes móviles que los motores diésel tradicionales (Altrac, 2021).	-Cero emisiones contaminantes y menor contaminación acústica (Monarch Tractor, 2024). -Menores costes operativos y de mantenimiento a largo plazo (Altrac, 2021). -Mayor eficiencia energética, alcanzando hasta el 90% (Altrac, 2021).	- Coste de adquisición inicial más elevado (AgricolaStore, 2025). - Autonomía limitada, entre cuatro y seis horas de trabajo efectivo (Altrac, 2021).	Monarch MK-V Fendt E100 Vario
Motores de hidrógeno	Generan energía a partir de hidrógeno. Es una fuente de energía renovable que puede producirse a partir de biomasa, agua o gas natural (Rinoagro, s.f.).	-No emiten gases de efecto invernadero; solo vapor de agua (Campo Digital, 2023). -Mayor eficiencia que el gasoil y menor mantenimiento que los motores de combustión (Campo Digital, 2023).	- Se encuentran en fase experimental o prototipo (TecnoAgro, 2025). - Su eficiencia es menor que la de los sistemas eléctricos de batería (IVES Technical Reviews, 2020).	Prototipos de New Holland Tractor eléctrico SESAM de John Deere (con pila de combustible de hidrógeno)
Sistemas híbridos	Combinan un motor de combustión interna con uno o varios motores eléctricos, buscando maximizar la eficiencia y reducir las emisiones (MaquiNAC, 2024).	-Reducen el consumo de combustible y las emisiones contaminantes (Agrolatam, 2025). -Optimizan el rendimiento energético, especialmente en condiciones de carga uniforme (TecnoAgro, 2025).	- Su viabilidad se cuestiona en condiciones de campo reales con cargas impredecibles (Agrolatam, 2025). - Falta de pruebas exhaustivas en campo y de información concreta sobre su desempeño (TecnoAgro, 2025).	Tractor híbrido de 600 CV de la compañía Lingong

Nota. Elaboración propia a partir de las fuentes citadas en el cuadro

2.2.1.5.2. Tractores Inteligentes y Autónomos

Los tractores inteligentes y autónomos representan el siguiente paso en la mecanización agrícola, pasando de la automatización asistida a la operación sin conductor (Figura 14), con impacto global en productividad y gestión.

Integran GPS RTK, LiDAR, radares y cámaras para mapear el entorno, detectar obstáculos y seguir trayectorias con precisión milimétrica (Castro Polanco, 2024; CONtexto Ganadero, 2021).

Ofrecen trabajo 24/7, reducen costes e insumos y mejoran la eficiencia (Repuestos Fuster, 2025)(Tabla nº5).

Tabla nº5: Cuadro comparativo de tecnologías para tractores autónomos e inteligentes

Componente/Tecnología	Descripción	Función y Ventajas	Desafíos	Ejemplos
Sensores LIDAR y Cámaras	El LIDAR (Light Detection and Ranging) utiliza pulsos de luz para crear mapas 3D del entorno, mientras que las cámaras capturan imágenes en tiempo real (Bayer, 2024). Juntos, actúan como los "ojos" del tractor.	Función: Permiten la navegación autónoma, la detección de obstáculos y la toma de decisiones instantáneas para evitar colisiones. Ventajas: - Garantizan una alta precisión en la navegación, incluso en terrenos irregulares. - Pueden trabajar de forma fiable las 24 horas del día, independientemente de la luz solar (TecnoAgro, 2024).	- El rendimiento del LIDAR puede verse afectado por condiciones extremas como la lluvia intensa, el polvo o el barro (TecnoAgro, 2024). - El alto coste de los sensores LIDAR avanzados y su integración con los sistemas existentes (Bayer, 2024).	- Tractor autónomo de John Deere - Tractor Fendt con el sistema FendtONE
IA y Aprendizaje Automático	Son algoritmos informáticos que analizan grandes volúmenes de datos para que el tractor "aprenda" y tome decisiones (Repuestos Fuster, 2025).	Función: Proporcionan al tractor la capacidad de tomar decisiones agronómicas en tiempo real, como ajustar la profundidad del arado, la cantidad de fertilizante o detectar malas hierbas (Repuestos Fuster, 2025). Ventajas: - Optimizan la eficiencia de los recursos (agua, fertilizante, combustible). - Mejoran la productividad y la calidad de la cosecha (PortalFruticola.com, 2024).	- Dependencia de la calidad y cantidad de datos para que el modelo de IA funcione eficazmente (PortalFruticola.com, 2024). -- Su desarrollo es costoso y requiere de expertos en ciencia de datos (Repuestos Fuster, 2025).	- Monarch MK-V (utiliza IA para la detección de malas hierbas) - Fendt 724 Vario con Variotronic
Conectividad en la Nube	Conecta el tractor con una red de servidores en la nube para sincronizar y procesar información. Se apoya en tecnologías como el 5G y el IoT.	Función: Permite la comunicación en tiempo real con otros dispositivos como drones y estaciones meteorológicas, y facilita la gestión de datos desde plataformas remotas (PortalFruticola.com, 2024). Ventajas: - Centraliza y sincroniza datos de manera eficiente, lo que mejora la toma de decisiones estratégicas. - Permite la monitorización remota y la actualización de software.	- Dependencia de una conexión a internet estable y de alta velocidad en zonas rurales, que a menudo carecen de ella. - Riesgos de ciberseguridad, como el robo de datos o la manipulación de los sistemas del tractor (Bayer, 2024).	- John Deere Operations Center (plataforma de gestión en la nube) - Sistema AgcoConnect

Nota. Elaboración propia a partir de las fuentes citadas en el cuadro

Su uso posibilita flotas de robots ligeros que minimizan la compactación del suelo, como el 8R Autonomous Tractor de John Deere (Shkiliova, Fundora Piñeyro & Jarre Cedeño, 2017).

Aunque enfrentan retos de coste, conectividad y regulación, la tendencia apunta a su adopción masiva (Kushwaha, Singh, Singh & Dwivedi, 2024), apoyada en IA, sensores y conectividad en la nube para una agricultura de datos optimizada.



Figura 14: Tractor autónomo John Deere 8R trabajando en campo
(Imagen tomada de John Deere, s.f.)

IA y Agricultura de Precisión

La IA impulsa una nueva revolución en la agricultura, permitiendo que tractores y equipos actúen de forma autónoma, optimizando recursos y reduciendo el impacto ambiental.

Mediante sensores multiespectrales, drones y cámaras, detecta plagas o enfermedades y aplica insumos de forma localizada, protegiendo el suelo (Repuestos Fuster, 2025)(Figura 15).



Figura 15: Sistema See & Spray de John Deere en un campo de cultivo
(Imagen tomada de John Deere, s.f.)

La fabricación avanzada, como la impresión 3D, posibilita piezas ligeras y resistentes, producidas bajo demanda, reduciendo costes y tiempos (Castro Polanco, 2024; CONtexto Ganadero, 2021).

Drones y pequeños robots colaboran con tractores en tareas específicas, minimizando la compactación del suelo (Kushwaha, Singh, Singh & Dwivedi, 2024).

Los aperos del futuro serán multifuncionales, autónomos y sostenibles, integrándose en un ecosistema agrícola flexible y eficiente (Shkiliova, Fundora Piñeyro & Jarre Cedeño, 2017).

Esta sinergia tecnológica redefine la mecanización, orientándola hacia una agricultura más precisa, productiva y respetuosa con el medio ambiente (Tabla nº6).

Tabla nº 6: Tecnologías de IA y agricultura de precisión en tractores

Tecnología	Descripción	Función y Ventajas	Desafíos	Ejemplos
Visión por computadora	Sistema de cámaras y sensores que, asistido por IA, procesa y analiza imágenes en tiempo real para interpretar el entorno del tractor.	Función: Permite identificar y clasificar objetos en el campo, como malas hierbas, cultivos y obstáculos (Taishan Tractors, 2024). Ventajas: Optimiza la aplicación de herbicidas, aplicando la dosis solo donde es necesario. Reduce el uso de agroquímicos y la contaminación del suelo. Permite una conducción semiautónoma al detectar bordes de cultivo.	El rendimiento puede verse afectado por condiciones de baja visibilidad, como niebla o poca luz. Requiere un alto poder de procesamiento para el análisis de imágenes en tiempo real.	See & Spray de John Deere (aplica herbicida de forma selectiva) Tractor Case IH con AFS Harvest Command (ajusta la cosechadora)
Sistemas de Dosificación Variable (VRA)	Tecnología que ajusta automáticamente la cantidad de insumos (semillas, fertilizantes, pesticidas) aplicados en función de las necesidades específicas de cada zona del campo.	Función: Utiliza mapas de prescripción previamente creados o datos de sensores en tiempo real para variar la dosis (Agricultura de Precisión, s.f.). Ventajas: Maximiza el rendimiento del cultivo al optimizar el uso de los insumos. Reduce los costes y el impacto ambiental al evitar la sobreaplicación (AgroLatam, 2025).	El coste inicial de los equipos puede ser una barrera para pequeños y medianos agricultores. La creación de mapas de prescripción requiere de expertos y puede ser un proceso complejo (ITACyL, 2025).	Tractor Fendt con VarioGuide (sistema de guiado y VRA) Tecnología de Case IH (AFS) para siembra de precisión
Ánalysis de datos agronómicos con IA	Algoritmos de aprendizaje automático y BD que procesan grandes volúmenes de información agrícola, como datos de sensores, imágenes de satélite y estaciones meteorológicas.	Función: Ayuda a los agricultores a tomar decisiones más informadas y precisas para la gestión de cultivos, riego y plagas.). Ventajas: Permite predecir patrones de rendimiento, identificar riesgos y optimizar la planificación. Mejora la rentabilidad al reducir la incertidumbre en la toma de decisiones (AgroLatam, 2025).	La integración de datos de múltiples fuentes puede ser un desafío técnico. Se requiere acceso a una conectividad fiable para la sincronización de datos en la nube.	John Deere Operations Center (plataforma de gestión de datos) Sistemas de Trimble (soluciones de gestión para tractores)

Nota. Elaboración propia a partir de las fuentes citadas en el cuadro

2.2.1.5.3. Fabricación Avanzada y Nuevos Accesorios

El futuro de los tractores y la mecanización agrícola se orienta hacia sistemas integrados y modulares, combinando fabricación avanzada y nuevos accesorios para mayor eficiencia y sostenibilidad.

La impresión 3D permite producir piezas ligeras y resistentes, incluso repuestos a demanda, reduciendo inventarios y tiempos (Castro Polanco, 2024; CONtexto Ganadero, 2021). Drones agrícolas crean mapas, detectan plagas y guían acciones precisas, trabajando en conjunto con el tractor (Repuestos Fuster, 2025).

Pequeños robots autónomos realizan tareas específicas, reducen la compactación y permiten agricultura a nivel de planta (Kushwaha, Singh, Singh & Dwivedi, 2024).

Los aperos del futuro serán multifuncionales, autónomos y sostenibles, integrándose en un ecosistema tecnológico que optimiza el rendimiento y protege el medio ambiente (Shkiliova, Fundora Piñeyro & Jarre Cedeño, 2017).

2.2.1.5.4. Reorganización Tecnológica y Nuevos Líderes

El sector de la maquinaria agrícola vive una reorganización tecnológica que redefine su liderazgo. Fabricantes tradicionales como John Deere, CNH Industrial y AGCO incorporan IA, conectividad y software mediante alianzas y adquisiciones, como la de Blue River Technology (Castro Polanco, 2024; CONtexto Ganadero, 2021; Repuestos Fuster, 2025).

Paralelamente, startups como AgriTech desarrollan sensores, drones y robots, creando soluciones modulares.

Ecosistemas colaborativos, apoyados en estándares como ISOBUS, facilitan la interoperabilidad (CHCNAV, 2025; Shkiliova, Fundora Piñeyro & Jarre Cedeño, 2017).

El liderazgo futuro dependerá de integrar ingeniería e innovación digital.

Cuatro rutas tecnológicas destacan:

- Powershifting, para cambios suaves
- CVT, que optimiza el rendimiento
- Híbridos, que reducen consumo hasta un 30 %
- Eléctricos puros, sin emisiones y con mecánica simplificada.

Esta diversificación podría generar nuevos líderes capaces de adaptarse a un mercado global más sostenible y competitivo.

2.2.2. Drones y cámaras multiespectrales

La agricultura moderna vive una transformación impulsada por tecnologías que optimizan producción, reducen impacto ambiental y mejoran la gestión de cultivos.

En este contexto, los drones y las cámaras multiespectrales se han convertido en herramientas clave de la agricultura de precisión (Repuestos Fuster, 2025).

Los drones, capaces de cubrir grandes áreas de forma rápida y económica, integran sensores avanzados que permiten recopilar datos precisos (Castro Polanco, 2024; CONtexto Ganadero, 2021)(Tabla nº7).

Tabla nº 7: Principales marcas de drones y sus aplicaciones en los sectores agroforestal y agroalimentario

Marca de dron	Tecnologías utilizadas	Utilidades
DJI (Series Agras y Matrice)	<ul style="list-style-type: none"> - Pulverización y esparcimiento de precisión: Sistemas de atomización centrífuga y esparcidores de alta capacidad. - Sensores y cámaras avanzadas: Cámaras RGB, multiespectrales y cámaras térmicas Zenmuse. - Navegación y seguridad: Radar de matriz en fase y visión binocular 360°, RTK (cinematográfica en tiempo real) para posicionamiento preciso. 	<ul style="list-style-type: none"> - Agrícola: Fumigación, fertilización y siembra de precisión. Mapeo de cultivos, detección de plagas y enfermedades. - Forestal: Reforestación (siembra aérea), control de plagas forestales, inventario forestal y detección de incendios. - Agroalimentario: Desinfección de almacenes y hangares, aplicación de recubrimientos protectores en productos post-cosecha.
XAG (Serie P)	<ul style="list-style-type: none"> - Sistemas de pulverización inteligente: Atomizadores centrífugos que ajustan el tamaño de gota según las necesidades del cultivo. - Vuelo autónomo: Planificación de rutas inteligentes y optimización de misiones en terrenos complejos. - Módulos intercambiables: Permite cambiar fácilmente entre módulos de pulverización, esparcimiento y levantamiento de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Agrícola: Aplicación variable de fitosanitarios y fertilizantes en cultivos de alta densidad. Siembra de semillas y agentes biológicos. - Forestal: Plantación de semillas en zonas de difícil acceso y aplicación de agentes biológicos para el control de plagas. - Agroalimentario: Pulverización de desinfectantes en bodegas y zonas de almacenamiento.
Parrot (Series Anafi y Bluegrass)	<ul style="list-style-type: none"> - Cámaras multiespectrales y térmicas: Sensor Sequoia+ (4 bandas) y cámara térmica FLIR. - Diseño compacto: Drones ligeros y plegables, ideales para un transporte y despliegue rápido. - Software de procesamiento: Integración con plataformas como Pix4D para el análisis de los datos capturados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Agrícola: Monitoreo de la salud del cultivo (índices de vegetación), detección de estrés hídrico y enfermedades. Inspección de infraestructura de riego. - Forestal: Monitoreo de la biomasa forestal, detección de enfermedades arbóreas y vigilancia de incendios.
Microdrones (mdLiDAR)	<ul style="list-style-type: none"> - Tecnología LiDAR: Sensores LiDAR de alta precisión (por ejemplo, Riegl MiniVUX) que penetran el dosel forestal. - Integración con GNSS: Combinación de LiDAR con sistemas GNSS (GPS, GLONASS) y software de procesamiento para crear modelos 3D. - Robustez: Drones diseñados para vuelos de larga duración y resistencia en entornos hostiles. 	<ul style="list-style-type: none"> - Forestal: Inventario forestal detallado (volumen, altura y biomasa), cartografía de terrenos complejos y gestión de la tala. - Agrícola: Topografía de precisión del terreno, análisis del drenaje y planificación de terrazas.
Sentera (Omni y Phenom)	<ul style="list-style-type: none"> - Módulos de sensores multiespectrales: Uso de sensores como el AGX710 (5 bandas) que se pueden acoplar a otros drones. - Análisis de datos en la nube: Plataformas de software que procesan las imágenes para generar mapas de salud del cultivo y prescripciones de aplicación. - Flexibilidad: Permite la integración de sus tecnologías en plataformas de drones ya existentes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Agrícola: Generación de mapas de prescripción para aplicación variable de fertilizantes y pesticidas. Monitoreo de la salud de los cultivos a gran escala. - Forestal: Evaluación de la densidad de plantaciones y la salud general de los árboles.

Nota. Elaboración propia a partir de DJI Agriculture (s. f.), Tecmundo (s. f.) y Grupo Acre (2024).

Las cámaras multiespectrales, incluyendo el infrarrojo cercano, facilitan la detección temprana de estrés hídrico, deficiencias nutricionales o plagas.

El análisis genera mapas NDVI para aplicación variable de insumos, aumentando eficiencia y sostenibilidad (Shkilova, Fundora Piñeyro & Jarre Cedeño, 2017) (Tabla nº 7).

Esta combinación permite pasar de una gestión reactiva a proactiva, abriendo paso a la agricultura 5.0, donde tecnología e información se integran para optimizar cada fase productiva.

2.2.2.1. Historia de los Drones

El vuelo no tripulado se remonta a 1849, cuando Austria usó globos con explosivos sobre Venecia (El Drone, 2016).

En la Primera Guerra Mundial surgió el Kettering Bug (Infoblog, 2024) y, durante la Guerra Fría, los drones se consolidaron como plataformas de reconocimiento (IDC, 2024).

Desde los 90 se aplican en usos civiles, y desde 2010, fabricantes como DJI, Parrot y SenseFly ofrecen modelos agrícolas con cámaras multiespectrales, GPS y software, integrando tecnología aeroespacial, IA y agronomía para una gestión eficiente y sostenible (LaHistoria, 2024).

2.2.2.2. Evolución Temporal de los Avances Tecnológicos en los Drones Agrícolas

La evolución de los drones agrícolas ha sido rápida, pasando de simples plataformas de observación en los 90, con control básico y cámaras RGB (LaHistoria, 2024), a sistemas autónomos con IA e IoT (Dynatec, 2025).

Entre 2000 y 2010 incorporaron GPS y sensores térmicos para monitoreo de estrés hídrico (Infoblog, 2024).

En 2010–2020 se sumaron cámaras multiespectrales y LIDAR, permitiendo índices como NDVI y modelos 3D del terreno (RPAS-Drones, 2024).

Hoy, los drones identifican plagas, calculan dosis y ejecutan tareas sin intervención humana, comunicándose con sensores y estaciones meteorológicas. Incluso operan en enjambres para siembra, monitoreo y tratamientos, optimizando recursos y aumentando la eficiencia en la agricultura de precisión.

2.2.2.3. Situación Actual de los Drones en la Agricultura

La adopción de drones en el sector agrícola ha crecido exponencialmente en la última década, consolidándose como una herramienta esencial para la agricultura de precisión. Gracias a su

versatilidad, capacidad de recopilación de datos y eficiencia operativa, los drones permiten optimizar procesos agronómicos, reducir costes y mejorar la sostenibilidad de los cultivos.

2.2.2.3.1. Drones para Diversas Tareas

Tabla nº 8: Principales drones actuales en el sector agrícola, forestal y agroalimentario: Tecnologías y utilidades

Modelo de dron	Tecnología que aplica	Utilidades
DJI Agras T40	Tecnología de fumigación y esparcimiento: - Sistema de atomización centrífuga doble. - Sensores de obstáculos 360º. - Radar de matriz en fase y visión binocular. Tecnología de levantamiento de datos: - Cámara FPV (Visión en primera persona) de ultra-alta definición.	Agricultura: - Fumigación de cultivos con herbicidas, pesticidas y fertilizantes líquidos de manera precisa. - Esparcimiento de semillas y granulados. - Mapeo de campos y monitoreo de la salud del cultivo. - Detección de maleza y plagas. - Vuelos autónomos en terrenos irregulares.
SenseFly eBee X	Tecnología de mapeo y topografía: - Sensor multiespectral Micasense RedEdge MX. - Cámara RGB de alta resolución (20 MP). - Cámara térmica. Software de procesamiento: - eMotion para planificación de vuelo. - Pix4D para procesamiento de imágenes.	Agricultura de precisión: - Mapeo de rendimiento de cultivos. - Creación de mapas de índices de vegetación (NDVI, NDRE). - Monitoreo de estrés hídrico y enfermedades en plantas. Forestal: - Inventario forestal y evaluación de la salud de los árboles. - Detección temprana de incendios forestales (cámara térmica).
Parrot Anafi Thermal	Tecnología de imagen térmica y visual: - Cámara RGB 4K HDR. - Sensor térmico FLIR Lepton 3.5. - Zoom digital 3x. Diseño compacto: - Dron plegable y ligero.	Agricultura y ganadería: - Inspección de paneles solares y sistemas de riego. - Detección de animales enfermos o heridos en grandes extensiones. - Inspección de infraestructura de invernaderos. Forestal: - Vigilancia y detección de puntos calientes en incendios forestales. - Búsqueda y rescate en áreas rurales.
PrecisionHawk Lancaster 5	Tecnología de sensores e IA: - Múltiples sensores intercambiables (RGB, multiespectral, hiperespectral, térmico). - Plataforma de análisis PrecisionAnalytics con IA. - Operación autónoma: - Capacidad de vuelo autónomo.	Agricultura y Agroalimentario: - Análisis predictivo de rendimientos y salud del suelo. - Optimización de aplicaciones de agroquímicos. - Monitoreo de la maduración de frutas y la calidad del cultivo. Forestal: - Detección de especies invasoras y enfermedades arbóreas. - Gestión de la biomasa forestal.
Skydio 2+	Tecnología de navegación y evasión de obstáculos: - Seis cámaras 4K para visión 360º. - Software de IA para navegación autónoma y seguimiento de objetos.	Inspección y monitoreo: - Inspección de torres de comunicación, infraestructuras agrícolas (silos, cercas, maquinaria). - Mapeo de infraestructuras críticas en entornos complejos sin necesidad de un piloto experto. - Filmación de parcelas de manera segura.

Nota. Elaboración propia a partir de DJI Agriculture (s. f.), Tecmundo (s. f.) y Grupo Acre (2024).

Los drones han pasado de ser herramientas de vigilancia a plataformas multifuncionales esenciales en la agricultura de precisión, capaces de recopilar datos, inspeccionar y ejecutar operaciones con alta eficiencia (Repuestos Fuster, 2025).

Su uso en monitorización y mapeo permite detectar estrés, plagas o problemas de riego de forma temprana, generando mapas detallados para decisiones estratégicas (Castro Polanco, 2024; CONtexto Ganadero, 2021)(Tabla nº 8).

También realizan detección selectiva de plagas y malezas, reduciendo químicos, y cartografía 2D/3D para planificación agronómica.

En gestión hídrica, optimizan el riego mediante análisis térmicos, y en inspección de infraestructuras detectan daños sin riesgo para el operario (Shkiliova, Fundora Piñeyro & Jarre Cedeño, 2017).

Modelos como DJI Phantom 4 RTK o SenseFly eBee Ag destacan por su precisión y autonomía (Figura 16), consolidando a los drones como herramientas clave para una agricultura más eficiente, sostenible y segura.



Figura 16: Comparativa de drones agrícolas: el DJI Phantom 4 RTK (izquierda), un dron multicóptero especialmente diseñado para tareas de topografía y cartografía de alta precisión, y el SenseFly eBee X (derecha), un dron de ala fija para el mapeo y la recopilación de datos.

2.2.2.3.2. Drones con Cámaras Multiespectrales

Las cámaras multiespectrales integradas en drones han revolucionado la agricultura de precisión, permitiendo diagnósticos avanzados del estado de los cultivos (Castro Polanco, 2024; CONtexto Ganadero, 2021).

A diferencia de las RGB, capturan longitudes de onda como el infrarrojo cercano (NIR), sensible a la clorofila, posibilitando índices como el NDVI para mapear salud y vigor vegetal (Tabla nº9) (Repuestos Fuster, 2025).

Estos datos permiten detectar plagas, enfermedades y estrés hídrico, optimizar fertilización y aplicar insumos de forma variable, reduciendo costes e impacto ambiental (Shkiliova, Fundora Piñeyro & Jarre Cedeño, 2017).

Otros índices, como NDRE, EVI, SAVI, MSAVI2, GCI y ARVI (Tabla nº10), amplían el análisis en distintas condiciones.

Modelos como DJI Mavic 3 Multispectral y Sentera 6X destacan por su precisión y compatibilidad con software agronómico, consolidando a esta tecnología como herramienta clave para una gestión agrícola más eficiente, sostenible y basada en datos.

Tabla nº 9: Comparativa de índices de vegetación

Nota: En SAVI, el parámetro (L) suele tomarse como 0.5 en coberturas intermedias; valores más bajos se usan en canopias densas y más altos en suelos muy expuestos.

Índice	Fórmula	Bandas (aprox. nm)	Uso principal	Limitaciones
NDVI	$(NIR-Rojo)/(NIR+Rojo)$	NIR 800–900 Rojo 620–680	Estimar vigor y actividad fotosintética; detección general de estrés	Saturación en coberturas densas; sensibilidad al fondo del suelo
NDRE	$(NIR-RedEdge)/(NIR+RedEdge)$	NIR 800–900 Red Edge 705–740	Detección temprana de estrés hídrico/nutricional; seguimiento de clorofila	Requiere sensor con banda red edge; menor estandarización
EVI	$2.5 \cdot (NIR-Rojo)/(NIR+6 \cdot Rojo-7.5 \cdot Azul+1)$	NIR 800–900 Rojo 620–680 Azul 450–500	Mejor desempeño en canopia densa; corrección atmosférica y de suelo	Requiere banda azul y calibración; parámetros fijos pueden no ser ideales
SAVI	$(NIR-Rojo)/(NIR+Rojo+L) \cdot (1+L)$	NIR 800–900 Rojo 620–680	Zonas con baja cobertura vegetal; reducción de influencia del suelo	Sensible a la elección de (L); puede seguir saturando en alta biomasa
MSAVI2	$(2 \cdot NIR+1-(2 \cdot NIR+1)2-8(NIR-Rojo))/2$	NIR 800–900 Rojo 620–680	Mejora sobre SAVI cuando el suelo es incierto; útil en áreas áridas	Cálculo más complejo; respuesta depende de condiciones espectrales
GCI	$(NIR/Verde)-1$	NIR 800–900 Verde 540–570	Estimación indirecta de clorofila; apoyo a fertilización nitrogenada	Afectado por variaciones de estructura del dosel y ángulo solar
ARVI	$(NIR-(2 \cdot Rojo-Azul))/(NIR+(2 \cdot Rojo-Azul))$	NIR 800–900 Rojo 620–680 Azul 450–500	Robustez bajo neblina, humo o polvo; monitoreo consistente	Requiere banda azul; menor uso práctico que NDVI/EVI

Elaboración propia a partir de DJI Agriculture (s. f.), Tecmundo (s. f.) y Grupo Acre (2024).

Tabla nº 10: Drones y cámaras multiespectrales en el sector agrícola, forestal y agroalimentario: Tecnologías y utilidades

Marca de dron / Cámara multiespectral	Tecnología que aplica	Utilidades
DJI Mavic 3M (Multispectral)	Cámara multiespectral (4 bandas): - Mide la reflectancia de la luz en 4 bandas específicas: verde, rojo, borde rojo e infrarrojo cercano (NIR). - Sensor de luz solar para corrección de datos. Cámara RGB: - Cámara RGB de alta resolución para generar mapas visuales detallados. Precisión: - RTK (Cinemática en tiempo real) para posicionamiento con precisión centimétrica.	Agricultura de precisión: - Monitoreo de la salud de los cultivos y detección temprana de estrés hídrico o nutricional. - Creación de mapas de índices de vegetación (NDVI, NDRE) para optimizar la fertilización. - Segmentación de áreas de cultivo con problemas. Forestal: - Detección de árboles enfermos o afectados por plagas antes de que sean visibles al ojo humano.
Sentera Omni Ag / AGX710	Cámara multiespectral AGX710: - Sensor multiespectral con 5 bandas específicas (rojo, verde, azul, borde rojo, NIR). Integración: - Se integra en drones DJI (como el M210). Software de análisis: - Plataforma de software que procesa las imágenes para generar mapas de salud del cultivo.	Agricultura: - Gestión de cultivos a gran escala. - Identificación de zonas con baja densidad de plantas. - Optimización del riego y el uso de pesticidas. - Detección de maleza y plagas. Forestal: - Evaluación de la densidad de copas y la salud general del bosque. - Monitoreo del crecimiento de los árboles.
Parrot Anafi Work / Sequoia+	Cámara multiespectral Sequoia+: - Sensor de 4 bandas (verde, rojo, borde rojo, NIR). - Sensor de luz solar para calibrar los datos. Cámara RGB: - Sensor RGB de 16 MP. Diseño compacto: - Sensor ligero y compacto, ideal para drones más pequeños.	Agricultura: - Seguimiento de la salud del cultivo a lo largo de la temporada. - Detección de zonas afectadas por plagas o enfermedades. - Análisis de biomasa y estimación del rendimiento. Agroalimentario: - Evaluación de la calidad del cultivo antes de la cosecha.
MicaSense RedEdge-MX / Atlas	Cámara multiespectral (5 bandas): - Bandas específicas para el análisis de cultivos. - Sensor de luz DLS 2 para capturar la luz solar ambiental. Tecnología de análisis: - Se integra con la plataforma Atlas para análisis de datos y creación de mapas. Compatibilidad: - Se monta en una amplia variedad de plataformas de drones (DJI, Sensefly, etc.).	Agricultura: - Diagnóstico de estrés en plantas. - Monitoreo de la eficiencia de la fertilización. - Generación de prescripciones de aplicación variable para fumigación y fertilización. Forestal: - Monitoreo de la salud del dosel forestal. - Gestión de la biodiversidad.

Elaboración propia a partir de DJI Agriculture (s. f.) , Sentera (s. f.) , Parrot (s. f.) y MicaSense (2022).

2.2.2.3.3. Drones con Sistemas LIDAR

Los sistemas LIDAR integrados en drones aportan a la agricultura de precisión modelos 3D de alta exactitud que complementan la información de cámaras multiespectrales, permitiendo analizar la estructura física del terreno y los cultivos. Emiten pulsos láser que penetran la vegetación y generan nubes de puntos para crear modelos digitales de elevación y superficie (MDE/MDS), esenciales en riego, control de erosión y planificación (Repuestos Fuster, 2025; Tabla nº11; Castro Polanco, 2024; CONtexto Ganadero, 2021). También estiman biomasa y rendimiento, y en silvicultura inventarían

árboles. Combinado con datos multiespectrales, el LIDAR identifica causas estructurales de bajo vigor vegetal (Shkiliova, Fundora Piñeyro & Jarre Cedeño, 2017). Su uso se extiende a construcción, minería y arqueología. Equipos como el DJI Zenmuse L1 (Figura 17), junto a software GIS, ofrecen gestión agronómica avanzada, optimizando recursos y mejorando la toma de decisiones en un ecosistema agrícola más eficiente y sostenible.

Tabla nº11: Principales drones con tecnología LiDAR en el sector agrícola, forestal y agroalimentario: Tecnologías y utilidades

Marca de dron / Sensor LiDAR	Tecnología que aplica	Utilidades
DJI Matrice 300 RTK / Zenmuse L1	<p>Tecnología LiDAR (Zenmuse L1):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Módulo Livox LiDAR con escáner de alta precisión. - Permite escanear grandes áreas de forma eficiente. <p>Tecnología de levantamiento de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Integra una cámara RGB y un sensor de alta precisión. - RTK (Cinemática en tiempo real) para posicionamiento con precisión centimétrica. 	<p>Forestal:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inventario forestal: Mapeo 3D detallado para medir la altura, el volumen y la biomasa de los árboles. - Detección de talas ilegales: Comparación de modelos 3D para identificar cambios en la vegetación. <p>Agricultura:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Análisis del terreno: Creación de modelos de elevación digital (DEM) para la gestión del riego. - Topografía de precisión: Mapeo de campos para preparar el terreno o para la aplicación de fertilizantes de manera variable.
Microdrones MD4-1000 / Riegl MiniVUX-1UAV	<p>Tecnología LiDAR (MiniVUX-1UAV):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sensor láser de alta velocidad y alcance. - Capaz de penetrar densas copas de árboles para capturar el terreno debajo. <p>Integración:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se integra en una plataforma de dron robusta y resistente a condiciones adversas. <p>Software de procesamiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Software de planificación y procesamiento de datos para generar modelos precisos. 	<p>Forestal:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gestión forestal: Monitoreo de la salud del bosque a nivel de subcoppa. - Detección de plagas: Identificación de patrones de cambios en el dosel. <p>Infraestructura agraria:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mapeo de la infraestructura: Generación de modelos 3D de sistemas de riego, silos y otras estructuras. <p>Monitoreo de inundaciones: Análisis del drenaje y la topografía.</p>
GeoCue TrueView 410 / Riegl MiniVUX-2UAV	<p>Tecnología LiDAR (MiniVUX-2UAV):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sensor láser con una alta tasa de repetición de pulsos. - Captura de datos detallados del suelo y la vegetación. <p>Sistemas integrados:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Posee cámaras RGB integradas para colorear el modelo de puntos. - GPS de precisión y IMU (Unidad de Medida Inercial). 	<p>Agricultura:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evaluación de biomasa: Medición precisa del crecimiento del cultivo. - Monitoreo de rendimientos: Estimación del volumen y la densidad de los cultivos. <p>Forestal:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cálculo de biomasa: Determinación precisa de la cantidad de madera en pie. - Planificación de talas: Creación de mapas 3D para optimizar rutas de acceso y operaciones forestales.

Elaboración propia a partir de DJI (s. f.) , Microdrones (s. f.) , RIEGL USA (2020) y GeoCue (s. f.).



Figura 17: Imagen del DJI Zenmuse L1, un sensor LiDAR + RGB diseñado para drones como el Matrice 300 RTK, ideal para tareas de topografía aérea y modelado 3D
(Imagen tomada de Commercial UAV News, s.f.)

2.2.2.3.4. Drones para Tratamientos

Los drones para tratamientos agrarios y forestales ofrecen una alternativa precisa y sostenible frente a métodos tradicionales, optimizando insumos y reduciendo el impacto ambiental (Figura 18; Tabla nº12).

En agricultura, aplican fitosanitarios, fertilizantes o biológicos con tasa variable, basándose en datos previos de sensores, accediendo a terrenos difíciles y minimizando la deriva (Castro Polanco, 2024).

En silvicultura, facilitan la reforestación en zonas inaccesibles y el control selectivo de plagas como la procesionaria o el gorgojo del pino (Tabla nº13).

Sus ventajas incluyen precisión milimétrica, menor uso de insumos, seguridad laboral y acceso sin compactar el suelo.

El futuro apunta a drones autónomos con IA, integrados a SIG, para gestión automatizada.

Modelos como el DJI Agras T50, con carga de 50 kg y cobertura de 40 ha/h, incorporan pulverización inteligente, GPS de alta precisión y sensores de evitación de obstáculos.



Figura 18: Drones agrícolas DJI Agras T40 (arriba) y XAG P100 (abajo) operando en campo
(Imagenes tomada de DJI, s.f y XAG, s.f)

Tabla nº12: Principales drones de tratamientos en el sector agrícola Tecnologías y utilidades

Marca de dron	Tecnología que aplica	Utilidades
DJI Agras T40	<p>Sistema de pulverización dual:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sistema de atomización centrífuga para una distribución uniforme del líquido. Tecnología de esparcimiento: - Mecanismo de esparcimiento de alta capacidad para fertilizantes granulados, semillas o piensos. <p>Sensores de seguridad:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Radar de matriz en fase y visión binocular para evasión de obstáculos en 360 grados. 	<p>Aplicación de fitosanitarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pulverización de pesticidas, fungicidas y herbicidas de forma selectiva y precisa. <p>Fertilización y siembra:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Esparcimiento de fertilizantes sólidos (urea), semillas y granulados en grandes extensiones. Eficiencia: - Reducción del uso de productos químicos y optimización de los recursos hídricos.
XAG P100	<p>Sistema de pulverización inteligente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atomizador centrífugo inteligente que genera gotas de tamaño variable. - Distribución precisa del flujo de líquido en función de la velocidad y la altura del vuelo. <p>Tecnología de esparcimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sistema de esparcimiento modular para diferentes tipos de materiales granulares. <p>Autonomía:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vuelo autónomo con planificación de rutas inteligentes. 	<p>Protección de cultivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pulverización de precisión en viñedos, huertos y campos de cereales. <p>Abono y siembra:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Esparcimiento de fertilizantes, semillas, insectos beneficiosos y otros materiales sólidos. <p>Monitoreo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Captura de datos para generar mapas de prescripción.
Hylio AG-120	<p>Sistema de pulverización de precisión:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Múltiples boquillas de alta presión para una cobertura homogénea. <p>Diseño robusto:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dron de grado industrial diseñado para resistir condiciones agrícolas exigentes. Software de gestión: - Software para la planificación de misiones, seguimiento en tiempo real y análisis de datos. 	<p>Aplicaciones agrícolas especializadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aplicación de herbicidas, fertilizantes líquidos y desecantes en cultivos de gran extensión. <p>Monitoreo avanzado:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Captura de datos para generar mapas de salud del cultivo. - Creación de mapas de prescripción para la aplicación de dosis variables.

Nota. Elaboración propia a partir de DJI (s. f.), XAG (s. f.) y Hylio (s. f.)

Tabla nº13: Principales drones de tratamientos en el sector forestal: Tecnologías y utilidades

Marca de dron	Tecnología que aplica	Utilidades
DJI Agras T40	<p>Sistema de pulverización dual:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sistema de atomización centrífuga para una distribución uniforme del líquido, incluso en zonas de difícil acceso. Tecnología de esparcimiento: - Mecanismo de esparcimiento de alta capacidad, crucial para la reforestación. Sensores de seguridad: - Radar de matriz en fase y visión binocular para evasión de obstáculos en 360 grados, ideal para bosques densos. 	<p>Reforestación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Siembra aérea de precisión: Esparcimiento de semillas forestales para la recuperación de ecosistemas tras incendios o deforestación. - Fertilización: Aplicación de fertilizantes para acelerar el crecimiento de los árboles jóvenes. <p>Protección forestal:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Control de plagas y enfermedades: Pulverización de pesticidas o fungicidas en zonas afectadas, como la procesionaria del pino, de forma dirigida.
XAG P100	<p>Sistema de pulverización inteligente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atomizador centrífugo inteligente que genera gotas de tamaño variable, permitiendo una mejor penetración del producto en el dosel forestal. <p>Tecnología de esparcimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sistema modular para diferentes tipos de materiales granulares, desde semillas hasta pellets de fertilizante. Autonomía: - Vuelo autónomo con planificación de rutas inteligentes que optimiza la cobertura en terrenos irregulares y montañosos. 	<p>Reforestación y conservación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Plantación de semillas: Uso de drones para sembrar en áreas inaccesibles para la mano de obra humana. - Control biológico: Esparcimiento de agentes biológicos para el control de plagas forestales. <p>Gestión de recursos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aplicación de hidrogel: Pulverización de hidrogel para mejorar la supervivencia de las plántulas en suelos secos.

Elaboración propia a partir de DJI (s. f.) 1 y XAG (s. f.)

2.2.2.4. Perspectivas de Futuro en el Uso de Drones Agrícolas

El futuro de los drones agrícolas apunta a una integración total en la Agricultura 5.0, actuando como nodos de redes inteligentes junto a tractores autónomos, sensores y plataformas de gestión, impulsados por IoT (Castro Polanco, 2024; CONtexto Ganadero, 2021).

Equipados con IA y aprendizaje automático, serán autónomos, planificando rutas, evitando obstáculos y aplicando tratamientos sin intervención humana (Repuestos Fuster, 2025).

Se prevén nuevas aplicaciones como control biológico de plagas, polinización artificial y siembra de precisión (Agrozapiens, s.f.).

Los retos incluyen regulación, conectividad y capacitación, pero las oportunidades abarcan mayor eficiencia, menor huella ambiental y seguridad alimentaria (Shkiliova, Fundora Piñeyro & Jarre Cedeño, 2017).

La convergencia de IA, IoT, análisis de datos y robótica consolidará a los drones como herramientas centrales para optimizar todo el ciclo productivo agrícola.

2.2.2.4.1. Agricultura 5.0: Integración tecnológica total

La Agricultura 5.0 integra automatización, IA y conectividad avanzada, situando a los drones como pilar central (Castro Polanco, 2024; CONtexto Ganadero, 2021).

Los futuros modelos, autónomos y en enjambres, podrán detectar plagas y ajustar tratamientos en tiempo real, coordinando monitoreo y aplicación para máxima eficiencia. Equipados con sensores multiespectrales, térmicos e hiperespectrales, generarán modelos predictivos sobre rendimiento, riego y sanidad vegetal.

La conectividad total mediante IoT y redes 5G/6G permitirá la interacción con sensores, maquinaria autónoma y plataformas en la nube, activando acciones como riego inteligente ante estrés hídrico. Este ecosistema hiperconectado optimizará recursos, reducirá el impacto ambiental y permitirá decisiones automatizadas basadas en datos (MundoGEO, 2024), consolidando a los drones como herramientas clave para una producción agrícola más sostenible, rentable y adaptada a microclimas específicos.

2.2.2.4.2. Drones autónomos e inteligentes

Los drones autónomos e inteligentes, equipados con IA, aprendizaje automático y visión por computadora, ejecutan misiones complejas sin supervisión constante, navegando y evitando obstáculos en tiempo real. Integran sensores como LIDAR, cámaras de alta resolución y GPS para planificar rutas, identificar objetos y realizar tareas con precisión. Su trabajo en enjambres agiliza

labores como cartografía, rescate o agricultura de precisión. Futuras capacidades incluirán adaptación a cultivos, detección de plagas y planificación dinámica, optimizando operaciones y ampliando aplicaciones (Dynatec, 2025).

2.2.2.4.3. Agricultura basada en datos y conectividad IoT

Drones con sensores multiespectrales o térmicos, combinados con análisis de datos e IoT, forman la base de la agricultura de precisión, optimizando recursos y productividad. Detectan estrés hídrico, deficiencias y plagas, generando mapas y dosis variables para tratamientos específicos.

Sensores de humedad y temperatura conectados a internet permiten monitoreo 24/7 y activación automática de riego o ventilación.

Esta sinergia crea un ecosistema agrícola inteligente, capaz de predecir rendimientos, detectar anomalías y optimizar logística, reduciendo insumos y mejorando sostenibilidad (Hydrofarm Holdings Group).

2.2.2.4.4. Nuevas aplicaciones emergentes

Los drones agrícolas han pasado de ser herramientas de monitoreo a componentes clave de la agricultura de precisión, con aplicaciones emergentes que mejoran eficiencia, sostenibilidad y calidad. Entre ellas,

- la detección temprana de plagas y enfermedades mediante sensores hiperespectrales y olfativos, procesados con IA para generar modelos predictivos y tratamientos localizados.
- La polinización asistida busca suplir la disminución de polinizadores naturales (Agrozapiens, s.f.).
- La siembra de precisión y la reforestación permiten dispersar semillas en zonas inaccesibles, contribuyendo a la restauración de ecosistemas.
- En gestión de la cadena de suministro, los drones inspeccionarán almacenes, monitorearán productos y transportarán insumos.
- Futuras capacidades incluyen siembra automatizada, monitoreo de ganado y gestión de cultivos urbanos, ampliando su papel más allá del campo tradicional.

2.2.2.4.5. Desafíos y oportunidades

El futuro de los drones agrícolas combina grandes oportunidades y desafíos. Entre los retos destacan la regulación del espacio aéreo, los altos costes de equipos con sensores avanzados como LIDAR o

cámaras hiperespectrales, la falta de conectividad 5G en zonas rurales y la necesidad de capacitación técnica.

Las oportunidades incluyen optimizar recursos mediante agricultura de precisión, reducir el impacto ambiental y aumentar la productividad con drones autónomos y enjambres para siembra, fumigación o cosecha. También facilitarán nuevos modelos de negocio basados en datos y genética de precisión.

La democratización del acceso, a través de alquiler o pago por uso, y el avance tecnológico podrían hacerlos habituales incluso en pequeñas explotaciones, integrándose como soluciones clave para sostenibilidad, gestión del riesgo y eficiencia en toda la cadena de valor agrícola.

2.2.3. Red de Sensores

Las redes de sensores, integradas con IoT, son la base de la agricultura y silvicultura de precisión, recopilando datos en tiempo real para optimizar recursos y sostenibilidad.

En agricultura, miden humedad, temperatura y nutrientes del suelo, permitiendo riego y fertilización precisos, y, junto a drones y satélites, generan mapas de salud de cultivos.

En silvicultura, detectan riesgo de incendios, monitorean fauna y crecimiento de árboles, favoreciendo la gestión sostenible.

En la cadena agroalimentaria, controlan temperatura, humedad y maduración en almacenamiento y transporte, integrándose con blockchain para trazabilidad total.

Estas aplicaciones mejoran rendimiento, calidad y transparencia, posicionando a los sensores como herramientas clave para una producción eficiente y responsable (Figuras y Tablas correspondientes).

2.2.3.1. Historia de los Sensores

La incorporación de sensores en agricultura comenzó en los años 80, midiendo humedad del suelo y temperatura. Con la miniaturización y la electrónica, se hicieron más precisos y accesibles, impulsando la agricultura de precisión.

Sus orígenes se remontan a dispositivos como el bolómetro (1878) y el efecto Hall (1879), evolucionando hacia sensores electrónicos en los 60.

Desde los 90, combinados con GPS y satélites, permiten generar mapas de rendimiento y salud vegetal.

En silvicultura, detectan riesgo de incendios y, con drones, ofrecen monitoreo aéreo detallado (Pereira & Souza, 2020).

En el sector agroalimentario, controlan temperatura, humedad y maduración, mejorando trazabilidad y seguridad (Quiroz Valdez, Almaraz Damián & Ramos Díaz, 2024). Integrados con blockchain, crean un ecosistema inteligente que optimiza producción, conservación y confianza del consumidor.

2.2.3.2. Distintos tipos de sensores

En la agricultura de precisión, las redes de sensores permiten una gestión proactiva y eficiente del campo (Castro Polanco, 2024; CONtexto Ganadero, 2021).

- Los sensores de suelo (Figura 19) miden humedad, temperatura, conductividad y nutrientes, optimizando riego y fertilización (Repuestos Fuster, 2025).
- Los sensores de ambiente registran temperatura, humedad, radiación y viento, ayudando a prevenir enfermedades y planificar tratamientos.
- Los sensores de aire detectan gases como CO₂ o etileno, útiles en invernaderos y cadena agroalimentaria (Tabla nº14).
- Otros, como los de proximidad o crecimiento, automatizan maquinaria y miden desarrollo de frutos, ofreciendo una visión integral para una agricultura más precisa, sostenible y rentable (Shkiliova, Fundora Piñeyro & Jarre Cedeño, 2017).

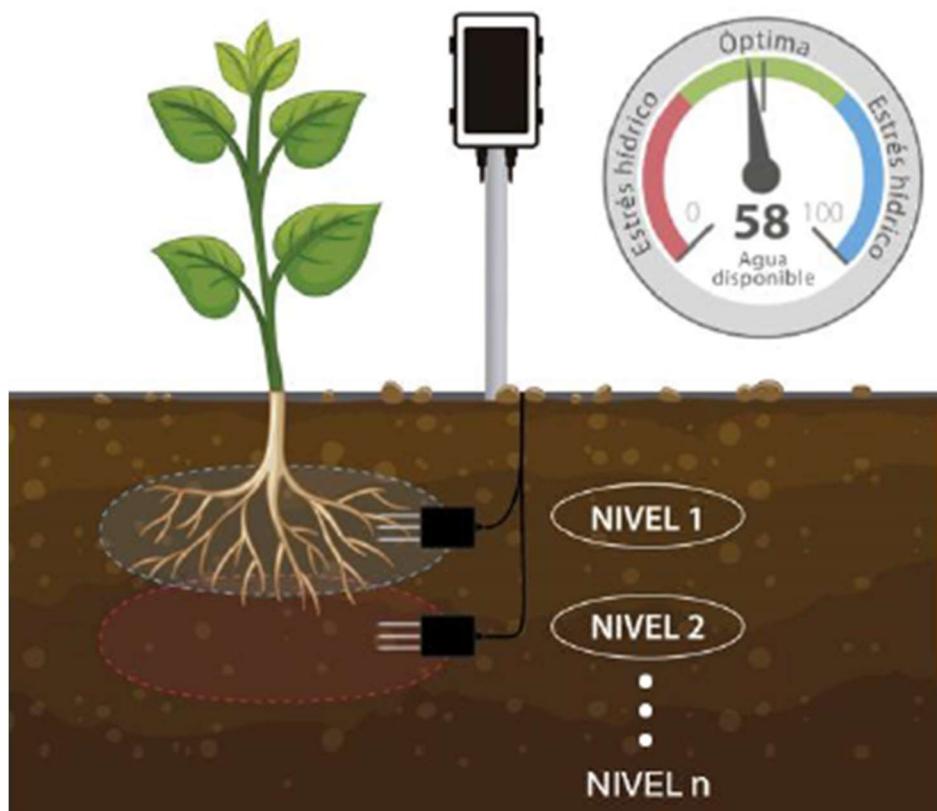


Figura 19: Esquema genérico de estación de suelo
(Qampo, s.f.)

Tabla nº14: Sensores más frecuentemente utilizados

Tipo de Sensor	Parámetro Medido	Aplicación Agrícola
Sensores de temperatura	Temperatura del aire, del suelo y del agua	Monitoreo de condiciones climáticas, detección de heladas, gestión del riego
Sensores de humedad del suelo	Humedad volumétrica	Riego de precisión y optimización del uso del agua
Sensores de radiación solar	Radiación fotosintéticamente activa (PAR)	Optimización del crecimiento de los cultivos, control de la iluminación en invernaderos
Sensores de dióxido de carbono (CO₂)	Concentración de CO ₂ en el aire	Monitoreo de la calidad del aire en invernaderos y optimización de la fotosíntesis
Sensores de viento	Velocidad y dirección del viento	Prevención de daños en los cultivos por vientos fuertes, control de la aspersión de pesticidas
Sensores de pH	Acidez y alcalinidad del suelo o del agua	Manejo de nutrientes y optimización de la absorción por las plantas
Sensores de conductividad eléctrica (CE)	Concentración de sales disueltas en el suelo o el agua	Detección de salinidad, manejo de fertilizantes y control de la calidad del agua de riego
Sensores de flujo de savia	Flujo de agua a través del tallo de la planta	Evaluación del estrés hídrico de las plantas y optimización del riego
Sensores de clorofila	Contenido de clorofila en las hojas	Evaluación del estado nutricional del cultivo, diagnóstico de estrés biótico y abiótico
Sensores de nitrato (NO₃)	Concentración de nitratos en el suelo o el agua	Manejo de fertilizantes nitrogenados, prevención de la lixiviación de nitratos

Elaboración propia a partir de Delgado Martorell (2023) y Cuadrado Coronel (2022)

2.2.3.2.1. Sensores de Suelo

En la agricultura de precisión, los sensores de suelo son esenciales para una gestión eficiente y sostenible (Castro Polanco, 2024; CONtexTO Ganadero, 2021).

Miden humedad —con tecnologías como TDR o capacitivos— optimizando el riego y evitando estrés hídrico (Repuestos Fuster, 2025).

Registran temperatura, clave para germinación y crecimiento, y conductividad eléctrica, indicador de salinidad.

Sensores avanzados detectan nutrientes NPK, permitiendo fertilización variable.

También controlan pH y otros parámetros (Tabla nº15).

Estos datos, combinados con sensores ambientales y de aire, crean redes integrales que mejoran el rendimiento, reducen costes y minimizan el impacto ambiental en las explotaciones agrícolas.

Tabla nº15: Sensores de suelo

Tipo de Sensor	Parámetro Medido	Aplicación Agrícola
Tensiómetro	Potencial hídrico	Riego de precisión
Sonda TDR	Humedad volumétrica	Control de riego
Sensor de pH	Acidez del suelo	Fertilización dirigida
Sensor EC	Conductividad eléctrica	Diagnóstico nutricional

Elaboración propia a partir de Villablanca et al. (2015) y Sepúlveda Chávez (2018)

2.2.3.2.2. Sensores Ambientales

Los sensores de ambiente complementan a los de suelo en agricultura de precisión, midiendo temperatura, humedad, radiación solar, presión y viento para optimizar el manejo del cultivo realizando una estimación directa de la Evapotranspiración Potencial(Repuestos Fuster, 2025).

Estos datos permiten prevenir enfermedades fúngicas, planificar siembras y cosechas, y mejorar el uso de invernaderos (Castro Polanco, 2024; CONtexto Ganadero, 2021).

Sensores PAR evalúan la energía lumínica disponible, y el monitoreo del viento ayuda a aplicar fitosanitarios con seguridad. Integrados con datos de suelo, generan modelos predictivos precisos, calculando evapotranspiración y automatizando riego.

Modelos como el RIKA RK330-01 (Tabla nº16) integran múltiples parámetros en una sola estación.

Tabla nº16: Sensores de ambiente

Tipo de Sensor	Parámetro Medido	Aplicación Agrícola
Termómetro	Temperatura del aire y de la planta	Gestión de invernaderos, prevención de heladas, predicción de la fenología del cultivo (crecimiento).
Higrómetro	Humedad relativa del aire	Detección de riesgo de enfermedades fúngicas, optimización del riego y la ventilación.
Anemómetro	Velocidad y dirección del viento	Planificación de la fumigación y pulverización, prevención de la deriva de productos químicos.
Pluviómetro	Cantidad de precipitación	Gestión del riego, evaluación del balance hídrico del cultivo.
Piranómetro	Radiación solar global	Monitorización de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) para evaluar la fotosíntesis del cultivo.
Sensor de CO₂	Concentración de dióxido de carbono	Optimización de la ventilación y la fertilización carbónica en entornos controlados como invernaderos.
Sensor UV	Radiación ultravioleta	Control de la calidad de la luz en entornos de cultivo controlados, gestión de la protección del cultivo.

Elaboración propia a partir de Instituto Geofísico del Perú (s. f.)

2.2.3.2.3. Sensores de Aire

Los sensores de aire son esenciales en agricultura controlada, como invernaderos y almacenes, al monitorear la calidad química del aire y gases como CO₂ y etileno.

El CO₂, clave para la fotosíntesis, se regula mediante sensores conectados a sistemas automáticos, optimizando el crecimiento vegetal (Castro Polanco, 2024; CONtexto Ganadero, 2021).

En post-cosecha, detectar etileno permite prevenir maduración prematura. Integrados con sensores de suelo y ambiente, forman redes de monitoreo precisas.

Su aplicación incluye control atmosférico, prevención de hongos y mejora de la fotosíntesis. Ver detalles en Tabla nº17.

Tabla nº17: Sensores de aire

Tipo de Sensor	Parámetro Medido	Aplicación Agrícola
Sensor de CO₂	Concentración de dióxido de carbono	Optimización de la fertilización carbónica y ventilación en invernaderos para maximizar la fotosíntesis.
Sensor de Etileno	Concentración de etileno	Control de la maduración de frutas y verduras en almacenes y durante el transporte para prolongar su vida útil.
Detector de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)	Presencia de compuestos volátiles	Detección temprana de enfermedades o estrés en las plantas, y monitoreo de la calidad del aire en entornos cerrados.
Sensor de Amoníaco (NH₃)	Concentración de amoníaco	Monitoreo de la calidad del aire en granjas de ganado o instalaciones de almacenamiento de fertilizantes.
Sensor de Ozono (O₃)	Concentración de ozono	Evaluación del daño potencial a los cultivos por la contaminación atmosférica.

Elaboración propia a partir de Schneider Electric (s. f.)

2.2.3.2.4. Otros Tipos de Sensores

Además de los sensores básicos de suelo, ambiente y aire, existen dispositivos especializados que enriquecen la agricultura de precisión.

Los sensores de luz (PAR) optimizan la fotosíntesis en cultivos protegidos, mientras que los de crecimiento permiten monitorear el desarrollo vegetal (Castro Polanco, 2024; CONtexto Ganadero, 2021).

Los sensores de proximidad guían maquinaria autónoma, facilitando tareas como la pulverización selectiva (Repuestos Fuster, 2025).

Los sensores NPK ajustan la fertilización en tiempo real, mejorando la eficiencia agronómica. Todos ellos conforman una red inteligente que automatiza procesos y mejora la toma de decisiones. Ver detalles en Tabla nº 18.

Tabla nº18: Otros sensores

Tipo de Sensor	Parámetro Medido	Aplicación Agrícola
Sensor de luz (PAR)	Radiación fotosintética activa	Optimización de la iluminación en invernaderos, mejora del crecimiento y el rendimiento del cultivo.
Sensor de proximidad	Distancia y presencia de objetos	Automatización de la maquinaria agrícola, guía de robots para deshierbe o cosecha selectiva.
Sensor de crecimiento	Diámetro o volumen del fruto/tallo	Predicción del rendimiento, programación de la cosecha, monitoreo de la eficacia de la nutrición.
Sensor NPK	Niveles de nitrógeno, fósforo y potasio	Fertirrigación de precisión, aplicación de fertilizantes de dosis variable.
Cámara hiperespectral	Espectro electromagnético detallado	Diagnóstico avanzado de enfermedades, detección de estrés hídrico y nutricional a nivel molecular.

Nota. Elaboración propia a partir de Geoinn (2025), Loraontech (2025) y AgriExpo (s. f.)

2.2.3.3. Situación Actual

La sensórica agrícola ha pasado de ser experimental a esencial, integrándose masivamente en todas las fases productivas.

Sensores de suelo y ambiente permiten riego automatizado y control climático en invernaderos, optimizando fertilización y rendimiento (Castro Polanco, 2024; CONtexto Ganadero, 2021).

En silvicultura, detectan incendios.

En logística, monitorean etileno para conservar frutos.

Su impacto alcanza la educación agraria, donde estudiantes aprenden a interpretar datos en tiempo real (Repuestos Fuster, 2025). Esta sinergia entre sensores y análisis de datos transforma la agricultura en una ciencia precisa.

2.2.3.3.1. Sensores aplicados a diversas tareas agrarias

La sensórica es clave en la agricultura de precisión, transformando decisiones empíricas en acciones basadas en datos en tiempo real (Castro Polanco, 2024; CONtexto Ganadero, 2021) (Tabla nº 19).

Tabla nº19: Resumen de sensores utilizados para aplicaciones destacadas: riego inteligente, fertilización variable, monitoreo de plagas y mapeo de rendimiento

Tipo de Sensor	Parámetro Medido	Tarea Agraria Específica
Sensores de Suelo	Potencial hídrico, Humedad, Temperatura, Conductividad Eléctrica (CE)	Gestión del Riego: Control de riego de precisión y automatizado; Nutrición: Diagnóstico de salinidad y nutrición del suelo.
Sensores de Ambiente	Temperatura del aire, Humedad relativa, Radiación solar, Velocidad del viento	Protección de Cultivos: Prevención de heladas y predicción de enfermedades; Manejo del Cultivo: Optimización de la fotosíntesis y la ventilación.
Sensores en Tractores	Vigor de la planta (índices de vegetación), Rendimiento por zona, Niveles de nitrógeno (NPK)	Fertilización de Precisión: Aplicación de fertilizantes de dosis variable; Monitoreo de Cosecha: Evaluación del rendimiento en tiempo real; Automatización: Guía de maquinaria y operaciones autónomas.
Sensores en Drones	Imágenes multiespectrales e hiperespectrales, Topografía del terreno (LIDAR)	Exploración de Cultivos: Detección temprana de plagas, enfermedades y estrés hídrico; Mapeo: Creación de mapas de salud, topográficos y de rendimiento.
Sensores de Post-cosecha	Concentración de gases (etileno, CO ₂), Humedad, Temperatura	Gestión de Almacén: Control de la maduración y la frescura de los productos; Control de Calidad: Garantía de la calidad durante el transporte y almacenamiento.

Nota. Elaboración propia a partir de Ramos González (2024) y Sembrando México (2025)

Sensores de humedad y estaciones meteorológicas permiten riego automatizado y eficiente.

En nutrición, sensores NPK y de vegetación generan mapas de fertilización variable, mejorando rendimiento y reduciendo contaminación (Repuestos Fuster, 2025).

Para protección, sensores ambientales y drones detectan plagas y estrés vegetal antes de que sean visibles, facilitando intervenciones selectivas. Esta tecnología también permite automatizar maquinaria y predecir cosechas. Además su integración con plataformas IoT permite el monitoreo remoto.

La formación académica incorpora estas herramientas, preparando a futuros profesionales.

2.2.3.3.2. Sensores aplicados a la enseñanza agraria

La formación agraria actual incorpora sensores como herramienta clave para preparar profesionales capaces de tomar decisiones basadas en datos (Castro Polanco, 2024; CONtexto Ganadero, 2021).

Instituciones educativas enseñan a instalar, calibrar e interpretar sensores de humedad, temperatura y radiación, combinando teoría con práctica.

Además, los estudiantes desarrollan habilidades en análisis de datos, creando mapas de salud vegetal y modelos predictivos (Repuestos Fuster, 2025).

Esta experiencia los convierte en tecnólogos agrícolas adaptados a los avances como IA y robótica.

Aplicaciones educativas incluyen demostraciones prácticas, simulación de cultivos y formación digital.

2.2.3.4. Perspectivas de Futuro

El futuro de los sensores agrícolas apunta a una transformación profunda, con tecnologías más inteligentes, autónomas y sostenibles. La sensórica será clave para enfrentar desafíos globales como el cambio climático y la seguridad alimentaria, haciendo las explotaciones más resilientes (Castro Polanco, 2024; CONtexto Ganadero, 2021).

Los sensores de luz evolucionan hacia una medición precisa de la radiación fotosintética activa (PAR), optimizando la iluminación en invernaderos y cultivos al aire libre.

Los sensores de crecimiento permiten monitorear frutos y tallos con precisión micrométrica, facilitando predicciones de rendimiento y ajustes en riego y fertilización.

La automatización se afianza con sensores de proximidad, esenciales para la navegación de maquinaria autónoma y tareas como el deshierbe selectivo o la cosecha robotizada. Estos dispositivos, junto con cámaras de visión artificial, guían brazos robóticos para recolectar frutos sin dañar las plantas (Repuestos Fuster, 2025).

Los sensores NPK permiten detectar en tiempo real los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio, generando mapas de fertilización variable. Esto mejora el rendimiento, reduce costos y minimiza la contaminación ambiental (Shkiliova, Fundora Piñeyro & Jarre Cedeño, 2017).

La integración de estas tecnologías con redes IoT y 5G alimentará sistemas de IA capaces de tomar decisiones autónomas. Se prevé el desarrollo de sensores miniaturizados, biodegradables y accesibles para pequeños productores, así como enjambres de sensores que cubran grandes extensiones.

Finalmente, la educación agraria incorporará masivamente estas herramientas, formando profesionales capaces de gestionar explotaciones digitales. La sinergia entre sensores, robótica e IA marcará el rumbo hacia una agricultura más eficiente, rentable y sostenible.

2.2.3.5. Conclusión

Los sensores han transformado la agricultura en una ciencia de precisión basada en datos, mejorando eficiencia, sostenibilidad y rentabilidad (Castro Polanco, 2024; CONtexto Ganadero, 2021).

Su aplicación abarca desde el monitoreo del suelo (humedad, temperatura, NPK) hasta el control ambiental y la automatización de maquinaria. La clave está en la sinergia de redes de sensores, que permiten decisiones estratégicas y optimizan recursos.

Esta tecnología también se integra en la enseñanza agraria, formando profesionales capaces de liderar la agricultura digital. Con avances hacia IA, robótica y sensores más accesibles, la agricultura 5.0 se perfila como el modelo dominante.

2.2.4. Simuladores

La transformación digital en el sector agrario ha propiciado el uso de herramientas tecnológicas avanzadas que permiten optimizar procesos, capacitar recursos humanos y mejorar la toma de decisiones. En este contexto, los simuladores aplicados a la agricultura se consolidan como instrumentos clave en áreas como la mecanización, la formación técnica, la agroindustria y la silvicultura. Su utilización no solo facilita la adquisición de habilidades prácticas en entornos controlados, sino que también permite el modelado de escenarios reales con resultados reproducibles.

Este documento tiene como objetivo analizar la evolución de los simuladores agrícolas desde sus orígenes hasta su aplicación actual en la formación y el manejo de maquinaria, procesos productivos y planificación estratégica. Se estudiará el desarrollo tecnológico por tipologías, las funcionalidades integradas en la actualidad y las tendencias emergentes que delinean el futuro de estos sistemas dentro del marco de la agricultura inteligente y sostenible.

2.2.4.1. Historia de los Simuladores

Desde las maquetas en la antigua Grecia hasta los simuladores digitales actuales, la simulación ha sido clave en la formación profesional (Freeth et al., 2021).

Su evolución se aceleró en el siglo XX con el “Link Trainer” para pilotos (ASME & Roberson Museum, 2000) y se consolidó durante la Guerra Fría en entornos militares y aeroespaciales (Royal Aeronautical Society, s.f.).

En los años 80, videojuegos como *SimCity* impulsaron simuladores educativos en medicina, ingeniería y negocios (Ajayi-Ore, 2022). Aunque su aplicación en la enseñanza agraria y forestal ha sido más lenta, tecnologías como la realidad virtual han abierto nuevas posibilidades.

Simuladores de tractores permiten prácticas seguras (Cutini et al., 2023), y los de gestión forestal enseñan planificación y control de plagas (Chen et al., 2021). En agricultura, DSSAT y AquaCrop marcaron el inicio de la simulación agronómica computacional. Estos avances ofrecen formación práctica y preparan a los estudiantes para un sector en constante transformación.

2.2.4.2. Evolución Temporal de los Avances Tecnológicos

2.2.4.2.1. Simuladores de Maquinaria Agrícola

La transformación digital agrícola ha impulsado el uso de simuladores como herramienta clave en la formación de operarios.

Estos sistemas reproducen con realismo la operación de tractores, cosechadoras y pulverizadoras, permitiendo entrenar sin riesgos y en condiciones variables. Facilitan el aprendizaje de técnicas como siembra de precisión y manejo de GPS, reduciendo costes y mejorando la seguridad.

Empresas como John Deere y Claas han desarrollado simuladores integrados con tecnologías propias (Tabla nº 20), incluyendo cabinas virtuales, joysticks reales y sistemas de evaluación automática.

Tabla nº20: Cuadro comparativo de simuladores de maquinaria agrícola

Tipo de Simulador	Marca/Fabricante	Funciones Principales	Tecnologías Incorporadas
Simulador de Tractor	John Deere, Fendt, Claas, ETECH Simulation y LSyM	Conducción, acoplamiento de aperos, maniobras en cabecera	Cabina real, pantalla interactiva, sistemas GPS y de autoguiado
Simulador de Cosechadora	Case IH, New Holland, Claas	Cosecha de cereales y otros cultivos, descarga, ajuste de parámetros de trilla	Monitoreo de rendimiento, sistemas de control de pérdidas, mapeo de campo
Simulador de Pulverizadora	Hardi, Amazone, John Deere	Aplicación de fitosanitarios, calibración de boquillas, control de deriva	Pantalla de control de pulverización, sistemas de corte de sección, control automático de altura de barra
Simulador de Agronomía y Gestión	GSI, Precision Planting	Planificación de siembra, análisis de datos de rendimiento, gestión de fertilización	Software de agricultura de precisión, análisis de mapas de rendimiento, recomendación de dosis variables

Nota. Elaboración propia a partir de John Deere (s. f.)

2.2.4.2.2. Simuladores de Maquinaria Forestal

La industria forestal ha incorporado simuladores para formar operarios en el manejo de maquinaria pesada en entornos seguros (Polowy & Rutkowski, 2024).

Estos sistemas reproducen condiciones reales de trabajo y permiten practicar maniobras complejas y tala sostenible (Pynnönen et al., 2016).

Tecnologías como realidad virtual y feedback haptico (es una tecnología que permite simular sensaciones táctiles mediante vibraciones, presión o movimientos, con el objetivo de que el usuario sienta lo que está ocurriendo en un entorno virtual o digital) mejoran la formación (Tabla nº 21).

Tabla nº21: Cuadro comparativo de simuladores de maquinaria forestal

Tipo de Simulador	Marca/Fabricante	Funciones Principales	Tecnologías Incorporadas
Simulador de Taladora	John Deere, Komatsu Forest	Control de garra, tala selectiva, operación de la sierra, apilado de troncos	Realidad virtual, <i>feedback</i> haptico, telemetría, monitoreo de rendimiento
Simulador de Autocargador	Ponsse, Tigercat	Carga y descarga de troncos, manipulación de la grúa, transporte de madera	Sensores de movimiento, visualización 3D, sistemas de pesaje simulado
Simulador de Procesadora	Komatsu Forest, Rottne	Corte y desramado de árboles, medición de longitud y diámetro, clasificación de la madera	GPS, sistemas de posicionamiento, interfaces de control intuitivas, simulaciones de fallas

Elaboración propia a partir de John Deere (s. f.)

2.2.4.2.3. Simuladores de Procesos Agroindustriales

La agroindustria moderna utiliza simuladores de procesos para optimizar la producción, mejorar la eficiencia y facilitar decisiones estratégicas.

Estos sistemas replican el flujo de trabajo en plantas alimentarias, identifican cuellos de botella y evalúan tecnologías emergentes. También abordan seguridad alimentaria, trazabilidad y sostenibilidad (Remondino & Zanin, 2022).

Permiten entrenamientos virtuales, rediseño de procesos sin afectar la producción real e integración con IA y Big Data (en adelante BD). Son clave para la innovación y competitividad del sector (Tabla nº 22).

Tabla nº22: Cuadro comparativo de simuladores de procesos agroindustriales

Tipo de Simulador	Marca/Fabricante	Funciones Principales	Tecnologías Incorporadas
Simulador de Planta de Procesamiento de Lácteos	Arena, AnyLogic, Rockwell Automation	Modelado de la pasteurización, envasado, control de calidad y flujos de inventario	Simulación de eventos discretos, optimización de algoritmos, análisis estadístico
Simulador de Cadena de Suministro de Productos Frescos	AnyLogic, FlexSim	Optimización de rutas de transporte, gestión de inventarios, simulación de la vida útil del producto	GD, análisis predictivo, integración de datos en tiempo real
Simulador de Procesos de Granos y Semillas	Tecnomatix, FlexSim	Flujo de material, secado, molienda, almacenamiento en silos y control de calidad	Modelos 3D, análisis de capacidad, identificación de cuellos de botella
Simulador de Procesos procesos de transformación, logística y comercialización	DWSIM, EMSO y SIAGRO	Modelar procesos físicos y químicos para simular, analizar y optimizar el rendimiento de sistemas complejos en un entorno virtual	Modelos matemáticos, algoritmos de resolución numérica, interfaces de usuario gráficas y, a menudo, en herramientas de visualización 3D o realidad virtual

Nota. Elaboración propia a partir de Rockwell Automation (s. f.) , AnyLogic (s. f.) y FlexSim Software Products, Inc. (s. f.)

2.2.4.2.4. Otros Tipos de Simuladores

Además de los simuladores de maquinaria y procesos, existen herramientas que complementan la formación agraria.

Los modelos de gemelos digitales, como DSSAT y AquaCrop, permiten prever el rendimiento, calcular necesidades hídricas y evaluar estrategias de manejo.

Por otro lado, simuladores de gestión adaptan la lógica de videojuegos como *Farming Simulator* para enseñar planificación de siembras, administración de recursos y toma de decisiones económicas en explotaciones rurales.

2.2.4.3. Situación Actual

El uso de simuladores en el sector agroforestal y agroalimentario se encuentra en una fase de expansión y diversificación, impulsada por los avances tecnológicos y la necesidad de una formación más especializada y segura.

La situación actual se caracteriza por la aplicación de simuladores en diversas tareas agrarias y en la enseñanza profesional (Cutini et al., 2023).

2.2.4.3.1. Simuladores aplicados a diversas tareas agrarias

El uso de simuladores en el sector agroforestal y agroalimentario ha crecido notablemente, impulsado por la tecnología y la demanda de formación especializada (Cutini et al., 2023).

Desde maquinaria agrícola (Chen et al., 2021) hasta gestión forestal e higiene alimentaria, permiten entrenar en entornos seguros, optimizar recursos y mejorar la sostenibilidad.

Se aplican en planificación de cultivos, agricultura de precisión y evaluación de rendimiento, consolidándose como herramientas clave para la eficiencia y la seguridad.

2.2.4.3.2. Simuladores aplicados a la enseñanza agraria

Los simuladores han transformado la enseñanza agraria al ofrecer entornos virtuales seguros y prácticos para adquirir habilidades técnicas (Cutini et al., 2023).

Desde maquinaria agrícola hasta gestión de cultivos y ganadería, permiten a los estudiantes practicar tareas complejas sin riesgos reales.

Plataformas como *TimberSkills* simulan procesos completos en sectores agrario, forestal y agroalimentario, incorporando métricas de evaluación personalizadas.

Estas herramientas fomentan el pensamiento crítico, la toma de decisiones estratégicas y la seguridad laboral, preparando a futuros profesionales para enfrentar los desafíos del campo con mayor eficiencia y precisión.

2.2.4.4. Perspectivas de Futuro

El futuro de los simuladores en la educación agraria, forestal y agroalimentaria estará marcado por tecnologías como la realidad aumentada (en lo sucesivo RA), GD, IA y simulación colaborativa:

- La RA permitirá guiar prácticas en campo, mientras los GD simularán decisiones en tiempo real (Chen et al., 2021).
- La IA y el aprendizaje automático adaptarán contenidos y ofrecerán retroalimentación personalizada (Ajayi-Ore, 2022).
- La simulación multijugador fomentará el trabajo en equipo. Además, los simuladores móviles democratizarán el acceso a la formación, beneficiando a estudiantes rurales y pequeñas explotaciones (Greig et al., 2024).

2.2.4.5. Conclusión

Los simuladores agrícolas representan una revolución silenciosa en el sector agrario. Su evolución tecnológica ha permitido mejorar la formación, la planificación y la eficiencia operativa. En el futuro, su integración con IA, sensores y plataformas digitales consolidará la agricultura inteligente como modelo dominante. La enseñanza agraria debe adaptarse para formar profesionales capaces de aprovechar estas herramientas.

El futuro de la simulación en los sectores agrario, forestal y agroalimentario se perfila como un ecosistema de aprendizaje altamente integrado e inteligente.

2.2.5. Agrobots

La robótica agraria ha crecido exponencialmente, situando a los **agrobots** como pieza clave para automatizar tareas, mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental (L. D. Chatterjee et al., 2025).

Su evolución, desde sistemas automatizados del siglo XX hasta robots inteligentes con IA y visión por computadora (Chen et al., 2021), abarca agricultura, silvicultura, agroindustria y gestión ambiental.

Existen agrobots para siembra de precisión, control de malas hierbas, cosecha, monitoreo de cultivos, plantación y poda forestal, así como para procesos agroindustriales y biodiversidad. Su expansión actual integra IA y aprendizaje automático, con aplicaciones también en la enseñanza agraria mediante simuladores y robots a escala (Figuras 20, 21 y 22).

El futuro apunta a equipos más pequeños, inteligentes y asequibles, integrados con GD y simulación colaborativa, consolidando un paradigma agrícola más productivo, sostenible y eficiente (Tabla nº 23).



Figura 20: Dino, el robot pionero en el deshierbe autónomo (Imagen tomada de Naío Technologies, s.f.)

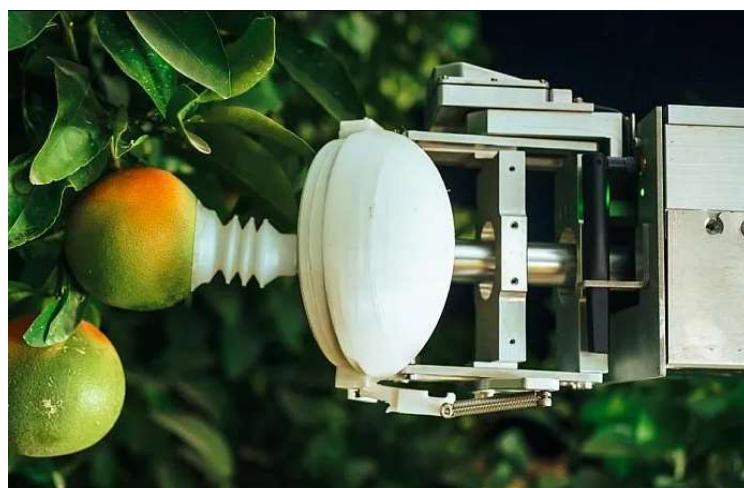


Figura 21: El robot autónomo de recolección de frutas de Nanovel, impulsado por IA, está diseñado para recolectar cítricos para el mercado fresco en zonas de follaje denso. (Imagen tomada de Nanovel, s.f.)



Figura 22: Agrobot ha desarrollado las Cosechadoras Serie E (Las primeras cosechadoras robóticas precomerciales para cosechar fresas delicadamente) (Imagen tomada de Agrobot, s.f.)

Tabla nº23: Principales marcas de agrobots y sus aplicaciones en los sectores agrario y forestal

Marca del Agrobot	Tecnologías utilizadas	Utilidades
Robotics Plus (Ej. Robo-Fruit™)	<ul style="list-style-type: none"> - Visión por computadora y IA: Identifica frutas, evalúa su madurez y determina la mejor manera de cosecharlas. - Robótica colaborativa y autónoma: Utiliza brazos robóticos de alta precisión para cosechar, garantizando un manejo delicado de la fruta. - Navegación GPS y sensores LIDAR: Permite el movimiento autónomo por huertos y terrenos, evitando obstáculos y trabajando de forma segura. 	<ul style="list-style-type: none"> - Agrícola: Cosecha automatizada de frutas (manzanas, kiwis). Tareas como polinización, poda y pulverización de precisión. Reduce la dependencia de la mano de obra y aumenta la eficiencia.
Naïo Technologies (Ej. Dino, Oz, Ted)	<ul style="list-style-type: none"> - Navegación autónoma: Utiliza GPS, cámaras y sensores para desplazarse por los campos sin necesidad de un operario. - Herramientas mecánicas: Incorpora herramientas de deshierbe y labranza para trabajar la tierra de forma autónoma. - Energía eléctrica: Funcionan con baterías, lo que reduce la huella de carbono y el ruido en el campo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Agrícola: Deshierbe mecánico de cultivos en hileras (zanahorias, cebollas). Labores de labranza superficial para airear el suelo y optimizar la siembra. - Viticultura: Deshierbe en viñedos.
Harvest CROO Robotics	<ul style="list-style-type: none"> - Visión por computadora avanzada: Identifica y evalúa la madurez de cada fresa en tiempo real. - Brazos robóticos: Utiliza múltiples brazos robóticos para cosechar fresas delicadamente y colocarlas en bandejas. - Sistema autónomo: Se mueve por los campos de fresas de forma independiente, trabajando 24/7. 	<ul style="list-style-type: none"> - Agrícola: Cosecha automatizada de fresas, una tarea que tradicionalmente requiere mucha mano de obra. Aumenta la velocidad de recolección y reduce el desperdicio.
AgroBot	<ul style="list-style-type: none"> - Visión por computadora y algoritmos: Localiza y clasifica la fruta, evaluando su estado de madurez. - Robótica: Utiliza un brazo robótico con una pinza especial para cosechar. - Plataforma modular: Diseñada para adaptarse a diferentes cultivos y tareas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Agrícola: Cosecha autónoma y selectiva de frutos rojos (fresas). Tareas de monitoreo del cultivo y recolección de datos. - Agroalimentario: Podría adaptarse para tareas de clasificación y empaquetado inicial.
Ecorobotics (Ej. Ara)	<ul style="list-style-type: none"> - Visión por computadora y pulverización ultraprecisa: Identifica malezas y aplica herbicidas de forma selectiva, planta por planta. - Navegación autónoma: Utiliza sistemas GPS y cámaras para guiarse por los campos, optimizando el recorrido. - IA: Aprende a reconocer nuevas malezas y cultivos con el tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Agrícola: Control de malezas en cultivos en hilera, reduciendo drásticamente el uso de herbicidas (hasta un 95%). Monitoreo de cultivos para detectar plagas.
Forestry Robotics (Ej. Silvertip)	<ul style="list-style-type: none"> - Robótica de alta precisión: Utiliza un brazo robótico para la plantación de árboles jóvenes. - Sensores y GPS: Se guía por terrenos complejos y registra la ubicación exacta de cada árbol plantado. - Automatización: Permite la siembra masiva de árboles en menos tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Forestal: Reforestación automatizada en terrenos difíciles. Siembra de plántulas de árboles jóvenes con una precisión y velocidad superiores a la plantación manual.

Elaboración propia a partir de Robotics Plus (s. f.) , Naïo Technologies (s. f.) , Harvest CROO Robotics (s. f.) , AgroBot (s. f.) , Ecorobotics (s. f.) y Forestry Robotics (s. f.)

2.2.5.1. Historia de los Agrobots

La historia de los agrobots refleja la transición de la ciencia ficción a una herramienta esencial en la agricultura moderna. Desde los primeros tractores del siglo XX hasta los sistemas autónomos

actuales, su evolución ha pasado por hitos clave: automatización básica en los años 50, incorporación de microprocesadores y visión por computadora en los 80 (Chatterjee et al., 2025) y, desde los 90, integración de IA y GPS de alta precisión (Chen et al., 2021).

Hoy realizan siembra de precisión, cosecha, fumigación selectiva, plantación forestal y procesos agroindustriales.

El aprendizaje automático les permite adaptarse al entorno.

El futuro apunta a GD, RA y simulación colaborativa, con aplicaciones también en la enseñanza agraria mediante robots a escala y simuladores, consolidando un modelo agrícola más eficiente, sostenible y tecnológicamente avanzado (Tecnología innovadora, 2023).

2.2.5.2. Evolución Temporal de los Avances Tecnológicos en cuanto a Agrobots

2.2.5.2.1. Agrobots Agrícolas

La evolución de los agrobots refleja el avance tecnológico agrícola, desde sistemas mecánicos básicos en los años 50 (Tecnología innovadora, 2023) hasta robots autónomos con IA y aprendizaje automático (Chatterjee et al., 2025). En los 80-90, microprocesadores y visión artificial permitieron la recolección de cultivos delicados (Chen et al., 2021). Desde 2000, el GPS de alta precisión impulsó la agricultura de precisión, optimizando siembra y fumigación selectiva.

Hoy, sensores y cámaras permiten detectar plagas y malezas, aplicando herbicidas de forma ultra-precisa o eliminándolas mecánicamente. Ejemplos incluyen Agrobot, Blue River Technology y Robotic Plus, que emplean visión artificial, GPS, brazos robóticos e IA para una agricultura más productiva, sostenible y eficiente.

2.2.5.2.2. Robots Forestales

La robótica forestal ha evolucionado desde la mecanización de la tala y el transporte de madera a mediados del siglo XX, con cosechadoras y autocargadores (Chen et al., 2021), hasta sistemas autónomos e inteligentes capaces de operar en terrenos irregulares. En los 80, la incorporación de sensores y control remoto mejoró la seguridad y eficiencia. En el siglo XXI, la IA, el LiDAR y la visión artificial permitieron drones y robots que monitorizan bosques, detectan plagas y evalúan riesgos de incendio (Chatterjee et al., 2025).

Hoy destacan robots para plantación y poda con GPS e IA, optimizando reforestación y calidad de la madera. Ejemplos como Dronster (España) y Chunk, Dixon y Rikko (Israel) muestran aplicaciones en tala, reforestación y monitoreo ambiental, contribuyendo a una gestión forestal más segura, eficiente y sostenible (Tabla 24; Figura 23).

Tabla nº24: Principales robots para tareas forestales específicas

Marca del Agrobot	Tecnologías utilizadas	Utilidades
Naïo Technologies (Ej. Oz)	<ul style="list-style-type: none"> - Navegación Autónoma: Sensores RTK-GNSS y cámaras 2D/3D que permiten al robot moverse de forma independiente y precisa entre las hileras de cultivos. - Herramientas interactivas: Puede acoplar herramientas de precisión para deshierbe, labranza ligera y otras tareas sin dañar los cultivos. - Interfaz de usuario: Aplicación intuitiva para programar y monitorear las misiones. 	<ul style="list-style-type: none"> - Agrícola: Labores de labranza y deshierbe en cultivos en hilera (hortalizas, viñedos). Prepara el suelo para la plantación y elimina las malas hierbas de forma mecánica, reduciendo el uso de herbicidas.
Robotics Plus (Ej. Robo-Fruit™)	<ul style="list-style-type: none"> - Visión por Computadora e IA: Utiliza cámaras y algoritmos para identificar ramas, yemas y frutas con gran precisión. - Robótica colaborativa: Brazos robóticos de alta precisión para realizar la poda de forma segura y eficiente, adaptándose a la estructura de cada árbol. - Sensores 3D: Capturan la forma del árbol para crear un modelo digital y planificar la mejor estrategia de poda. 	<ul style="list-style-type: none"> - Agrícola: Poda automatizada en huertos (manzanos, kiwis). Identifica la ubicación y el tipo de corte necesario para mejorar la calidad y el rendimiento de la fruta, optimizando el crecimiento del árbol.
FarmWise (Ej. Titan FTX)	<ul style="list-style-type: none"> - IA y Visión por Computadora: El robot escanea el campo en tiempo real, identificando cada planta de forma individual. - Robótica de alta precisión: Utiliza brazos robóticos con herramientas especializadas para podar o deshierbar. - Software de gestión: Ofrece un sistema de recolección de datos sobre la salud del cultivo y la eficiencia de la labor. 	<ul style="list-style-type: none"> - Agrícola: Deshierbe de precisión y poda selectiva en cultivos de hortalizas. El sistema puede distinguir entre el cultivo y la maleza para aplicar un tratamiento selectivo, o realizar labores de poda de forma automatizada.
Forestry Robotics (Ej. Silvertip)	<ul style="list-style-type: none"> - Robótica de alta precisión: Brazo robótico con una herramienta de plantación que coloca las plántulas en el suelo con la profundidad y el espaciado óptimos. - Sensores y GPS: Se guía por terrenos forestales complejos y registra la ubicación exacta de cada árbol plantado. - Automatización: Permite la siembra masiva de árboles en menos tiempo y con mayor precisión que los métodos manuales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Forestal: Reforestación automatizada en terrenos difíciles. Siembra de plántulas de árboles jóvenes con una precisión y velocidad superiores a la plantación manual, contribuyendo a la recuperación de bosques.

Nota. Elaboración propia a partir de Naïo Technologies (s. f.) , Robotics Plus (s. f.) , FarmWise (s. f.) y Forestry Robotics (s. f.)



Figura 23: Imagen del Agrobot Dronster, un robot multifuncional de origen español diseñado para operar en terrenos difíciles, especialmente en contextos forestales, agrícolas y de emergencia (Imagen tomada de Vallfirest, s.f.)

2.2.5.2.3. Robots de Procesos Agroindustriales

La robótica en procesos agroindustriales ha evolucionado desde la automatización básica de mediados del siglo XX, inspirada en la industria automotriz, hasta sistemas inteligentes con IA y aprendizaje automático (Chatterjee et al., 2025). En los 80-90, la visión artificial permitió clasificar y manipular alimentos con mayor precisión y seguridad (Chen et al., 2021). En el siglo XXI surgieron los robots colaborativos, más flexibles y accesibles, que democratizaron la automatización.

Hoy, la IA optimiza logística, inventarios y producción, ajustando parámetros en tiempo real para maximizar eficiencia y reducir desperdicios. Ejemplos como MARS, Tevel Aerobotics y Universal Robots muestran aplicaciones en clasificación, envasado, ordeño y control de calidad, mejorando higiene, trazabilidad y sostenibilidad.

2.2.5.2.4. Otros Tipos de Robots Agroambientales

Los robots agroambientales se enfocan en la sostenibilidad, salud del suelo, biodiversidad y gestión hídrica, impulsados por la miniaturización y la sensórica (Chatterjee et al., 2025).

Desde finales del siglo XX, la teledetección satelital y aérea sentó las bases del monitoreo ambiental. En el siglo XXI, drones con cámaras y sensores térmicos/hiperspectrales revolucionaron la detección temprana de plagas, enfermedades y erosión (Chen et al., 2021).

La robótica terrestre analiza suelo y agua, mientras robots acuáticos controlan la calidad hídrica. Nuevos sistemas eliminan especies invasoras y siembran flora nativa para restaurar hábitats.

La integración de drones, robots terrestres y IA convierte a estos equipos en agentes activos de gestión agroforestal sostenible, incluyendo monitoreo ambiental, recolección de residuos, agricultura vertical y co-bots colaborativos.

2.2.5.3. Situación Actual de los Robots Agroambientales

La robótica agroambiental es ya una realidad en explotaciones avanzadas, con agrobots que optimizan tareas agrícolas, mejoran la eficiencia y reducen el impacto ambiental (Saiz-Rubio & Rovira-Más, 2020).

Incluye sistemas para preparación y siembra precisa (Dot Power Platform), control de plagas con IA y visión artificial (Ecorobotix ARA; Lytridis & Pachidis, 2024), monitorización con drones y sensores (Abundant Robotics) y robótica ganadera como ordeño y alimentación automatizada (Lely). Su adopción impulsa la formación en proyectos prácticos, donde se enseña programación y operación de drones y robots (Chatterjee et al., 2025).

Este crecimiento sostenido y diversificado consolida a la robótica como pilar de una agricultura más productiva, sostenible y tecnológicamente avanzada.

2.2.5.4. Agrobots aplicados a la enseñanza agraria

La integración de agrobots en la enseñanza agraria es clave para preparar profesionales capaces de manejar tecnologías avanzadas (Chatterjee et al., 2025).

En los CIFP de Castilla y León se imparten módulos teóricos y prácticos sobre programación y operación de robots, incluyendo drones con cámaras multiespectrales para monitoreo de cultivos y robots terrestres de deshierbe y siembra (esto último de manera teórica y con demostraciones ocasionales).

Esta formación desarrolla habilidades técnicas en programación, análisis de datos y teledetección, así como capacidades de toma de decisiones basadas en información objetiva y resolución creativa de problemas. Así, se impulsa una agricultura más productiva, sostenible e innovadora, alineada con la transformación digital del sector.

2.2.5.5. Perspectivas de Futuro y conclusiones

Estas tendencias impulsarán una agricultura autónoma, sostenible y tecnológicamente avanzada, formando profesionales preparados para los retos de la agricultura inteligente.

La robótica agroambiental no es solo una tecnología emergente, sino una pieza clave en la revolución de la agricultura moderna. La integración de los agrobots en las explotaciones agrícolas está transformando las prácticas tradicionales, ofreciendo soluciones precisas, eficientes y, sobre todo, sostenibles. Estos sistemas automatizados van más allá de la mera mecanización; representan un cambio de paradigma hacia una gestión agrícola inteligente, donde cada acción, desde la siembra hasta la cosecha, se optimiza para maximizar el rendimiento y minimizar el impacto ambiental (Saiz-Rubio & Rovira-Más, 2020).

El uso de agrobots para tareas como el deshierbe selectivo, la pulverización localizada y el monitoreo continuo de cultivos está demostrando ser una estrategia eficaz para reducir drásticamente la dependencia de insumos químicos, como herbicidas y pesticidas, lo que a su vez protege la salud del suelo y la biodiversidad. Además, la robótica en la ganadería mejora el bienestar animal y la eficiencia operativa, como se observa en los robots de ordeño y los sistemas de alimentación automatizados (Saiz-Rubio & Rovira-Más, 2020).

En el ámbito de la enseñanza agraria, la adopción de agrobots es fundamental para preparar a la próxima generación de profesionales.

La formación en centros como los CIFP de Castilla y León se está adaptando para incluir módulos prácticos donde los estudiantes aprenden a programar, operar y analizar datos de estos robots. Esta capacitación no solo les proporciona habilidades técnicas cruciales, sino que también fomenta el pensamiento crítico y la capacidad de tomar decisiones basadas en datos, competencias esenciales para enfrentar los complejos desafíos de la seguridad alimentaria y la sostenibilidad.

2.2.6. Aplicaciones Informáticas

La transformación digital ha redefinido el sector agrícola, integrando herramientas informáticas para optimizar procesos, mejorar la toma de decisiones y aumentar la sostenibilidad (Yuan & Sun, 2024). Este documento analiza la evolución histórica, el estado actual y las perspectivas futuras de estas aplicaciones en áreas como la agricultura, la silvicultura, la agroindustria y la educación agraria.

2.2.6.1. Historia de las Aplicaciones Informáticas en Agricultura

La historia de las aplicaciones informáticas en la agricultura es una evolución paralela al desarrollo tecnológico general.

Sus inicios se remontan a la década de 1960, con los primeros usos de bases de datos para la gestión básica de cultivos y el seguimiento de inventarios.

En los años 80, con el avance de la computación, surgieron los primeros software de simulación agronómica, como el conocido DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer), que permitía modelar el crecimiento de los cultivos y predecir rendimientos.

La década de 1990 marcó la aparición de los Sistemas de Información Geográfica (GIS), que revolucionaron la gestión de las explotaciones al permitir el análisis de datos espaciales. En este periodo también se desarrollaron los primeros modelos climáticos computarizados.

Entre los años 2000 y 2010, la integración de tecnologías como los sensores, el GPS y las plataformas web permitió a los agricultores recopilar y analizar datos en tiempo real, sentando las bases de la agricultura de precisión.

Finalmente, desde 2015 hasta la actualidad, la adopción masiva de teléfonos inteligentes ha propiciado el desarrollo de aplicaciones móviles con interfaces intuitivas y accesibles. La IA ha comenzado a integrarse para el análisis de grandes volúmenes de datos (BD) y la toma de decisiones predictivas, dando origen a la era de la Agricultura 4.0 (Ayala et al., 2020).

2.2.6.2. Aplicaciones actuales en agricultura

En la actualidad, el mercado ofrece una amplia variedad de aplicaciones informáticas diseñadas para optimizar la gestión agrícola. Estas herramientas se clasifican según sus funcionalidades, que van

desde la planificación y el monitoreo hasta el análisis detallado de la producción. A continuación se presentan algunas de las más relevantes:

- Agroptima: Es una aplicación integral para la gestión de explotaciones agrícolas. Permite a los agricultores planificar y registrar las tareas del campo, controlar la maquinaria y el personal, y gestionar los costes de producción (Khan, 2025).
- Agricolum: Se enfoca en la digitalización del cuaderno de campo, simplificando el registro de fitosanitarios y fertilizantes. Su función principal es facilitar el cumplimiento de normativas, como las de la Política Agraria Común (PAC), y la trazabilidad de los productos.
- FieldView: Es una plataforma de análisis de datos de rendimiento. Recopila información de la maquinaria de cosecha para generar mapas detallados de productividad y analizar la variabilidad dentro de una parcela, lo que ayuda a optimizar la siembra y la fertilización.
- CropX: Esta aplicación combina sensores de suelo con una plataforma web para ofrecer recomendaciones de riego precisas. Mide la humedad, la temperatura y la conductividad eléctrica del suelo en tiempo real, lo que permite a los agricultores optimizar el consumo de agua.
- Prismab: Centrada en la gestión del riego, esta aplicación utiliza sensores y modelos climáticos para generar alertas y planificar los ciclos de riego de manera eficiente, lo que contribuye al ahorro de agua.
- SATIVUM: Esta plataforma, desarrollada por el ITACYL, utiliza imágenes satelitales, datos de suelo y clima para monitorizar cultivos en tiempo real y ofrecer recomendaciones de fertilización y riego (ITACyL, 2023). Su principal objetivo es optimizar el uso de insumos y mejorar la productividad de forma sostenible.

2.2.6.3. Aplicaciones en el mundo forestal

El sector forestal también se ha beneficiado de las aplicaciones informáticas, que permiten una gestión más precisa y sostenible de los recursos naturales. Estas herramientas facilitan desde el inventario de árboles hasta la planificación de la logística forestal.

- EOS Forest Monitoring: Esta plataforma utiliza imágenes satelitales para monitorear grandes extensiones de masas forestales. Permite detectar cambios en la cobertura vegetal, identificar deforestación y evaluar la salud de los bosques a gran escala, lo que es vital para la gestión ambiental y la conservación.

- Forest Metrix: Es una aplicación especializada en inventario forestal y arboricultura. Los usuarios pueden introducir datos de campo directamente en sus dispositivos móviles, como la altura y el diámetro de los árboles, para generar informes detallados y planificar las actividades de manejo.
- TRACT: Centrada en la logística y la contabilidad forestal, esta aplicación ayuda a gestionar el flujo de la madera desde la tala hasta su transporte y procesamiento. Permite llevar un control preciso de la producción y optimizar las rutas de transporte para reducir costes.
- Qforestry: Este software ofrece funciones de simulación y planificación. Permite a los profesionales forestales simular diferentes escenarios de corta de madera, calcular el volumen de árboles (cubicación) y generar planes de gestión a largo plazo, lo que mejora la toma de decisiones estratégicas.
- SIMANFOR (Sistema de Simulación de Alternativas de Manejo Forestal): es una plataforma digital que permite simular distintos escenarios de gestión forestal. Su objetivo es facilitar decisiones informadas y sostenibles en el manejo de ecosistemas forestales. Es una herramienta avanzada de simulación forestal diseñada para apoyar la toma de decisiones en la gestión sostenible de los bosques. SIMANFOR ha sido desarrollado por varios grupos de investigación (Grupo de Investigación GIR SMART Ecosystems de la Universidad de Valladolid, Unidad Mixta UVa-INIA 'Gestión Forestal Sostenible', Departamento de Producción Vegetal y Recursos Forestales (UVa, Campus de Palencia), CESEFOR (Soria), CIFOR-INIA (Madrid), Universidad de Huelva...)

2.2.6.4. Aplicaciones en procesos agroindustriales

La agroindustria utiliza aplicaciones informáticas para optimizar los procesos de transformación, logística y comercialización de los productos. Estas herramientas son clave para garantizar la calidad, la seguridad alimentaria y la eficiencia en la cadena de suministro.

- SIAGRO: Es un software de simulación de procesos agroalimentarios. Permite modelar el flujo de trabajo en una planta de procesamiento, identificar cuellos de botella y optimizar el uso de recursos, como la energía y el agua.
- DWSIM / EMSO: Son herramientas de modelado de procesos térmicos y químicos. Se utilizan en la agroindustria para simular y optimizar procesos complejos como la pasteurización, la fermentación o la destilación, mejorando la eficiencia y la calidad de los productos.
- Hispatec CampoGest: Este software ofrece una gestión integral de fincas y cultivos intensivos. Permite controlar los tratamientos fitosanitarios, el abonado, la mano de obra y la trazabilidad de los productos, lo que es esencial en la agricultura industrial.

- Agroinnova: Es un programa que fomenta el desarrollo de proyectos de innovación tecnológica en el sector agroalimentario. A través de este programa, se han creado diversas aplicaciones móviles para la trazabilidad, la gestión de fincas y el control de calidad de productos locales.
- AINIA: Utiliza la IA generativa para el diseño de nuevos alimentos y la optimización de procesos. AINIA ayuda a las empresas a innovar en la formulación de productos y a implementar sistemas de trazabilidad avanzados para garantizar la seguridad alimentaria.

2.2.6.5. Aplicaciones en el ámbito agroambiental

Las aplicaciones agroambientales están diseñadas para ayudar a los agricultores a gestionar los recursos naturales de manera sostenible y a mitigar los efectos del cambio climático. Estas herramientas se basan en la recopilación y el análisis de datos geoespaciales y climáticos.

- Agroinformática FAO: Esta plataforma de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) ofrece una gran cantidad de datos geoespaciales y herramientas de análisis para monitorear el uso de la tierra, la seguridad alimentaria y los recursos hídricos a escala global. Es una herramienta clave para la toma de decisiones estratégicas en el ámbito agroambiental.
- Agrawdata: Es un software integral de gestión agrícola 360º. Se centra en la sostenibilidad, ayudando a los agricultores a gestionar el cuaderno de campo, a optimizar los insumos y a evaluar el impacto ambiental de sus actividades.
- Manna Irrigation Intelligence: Esta aplicación ofrece planificación de riego utilizando datos satelitales y climáticos, lo que elimina la necesidad de instalar sensores físicos en el campo. Proporciona recomendaciones precisas para el riego, lo que contribuye al ahorro de agua y energía.
- Agroclimática: Es una plataforma que proporciona predicciones meteorológicas y análisis climático para la agricultura. Los agricultores pueden acceder a pronósticos detallados, mapas de riesgo de plagas y alertas sobre eventos climáticos extremos, lo que les permite tomar decisiones preventivas y proteger sus cultivos.

2.2.6.6. Aplicaciones en la enseñanza agraria

La digitalización ha llegado a la educación agraria, con aplicaciones y metodologías que transforman la forma en que se forman los futuros profesionales del sector. Estas herramientas se basan en el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) para ofrecer una formación más práctica e interactiva.

- Agromática: Es una metodología educativa que utiliza las TIC y la simulación para la enseñanza de la agricultura. A través de plataformas interactivas, los estudiantes aprenden a gestionar cultivos, a tomar decisiones agronómicas y a utilizar herramientas digitales para la planificación.
- Soldamatic: Aunque no es una aplicación estrictamente agraria, este simulador de soldadura con RA es un ejemplo de cómo la tecnología se aplica en la formación técnica en los centros de FP. Permite a los estudiantes practicar soldadura en un entorno virtual seguro, lo que es relevante para la reparación de maquinaria agrícola.
- LSyM: Es una empresa que desarrolla simuladores de maquinaria agrícola y forestal para la formación profesional. Sus productos permiten a los estudiantes practicar la operación de tractores, cosechadoras y otros equipos pesados sin los riesgos y costos asociados al uso de maquinaria real (Cutini et al., 2023).
- Plataforma Agroinformática FAO: Esta plataforma no solo es una fuente de datos, sino también un recurso para la formación en análisis de datos geoespaciales. Los estudiantes pueden utilizarla para desarrollar sus habilidades en el manejo de información para la gestión de los recursos naturales.
- Agricultura Digital CEPAL: La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) ha desarrollado recursos educativos sobre tecnologías 4.0 aplicadas a la docencia. Estos materiales ayudan a los educadores a integrar temas como el IoT, la IA y la robótica en el currículo agrario.

2.2.6.7. Perspectivas de Futuro

El futuro de las aplicaciones informáticas en el sector agroambiental se dirige hacia una integración total de tecnologías emergentes. Las perspectivas se centran en la Agricultura 5.0, que busca un equilibrio entre la tecnología, la productividad y la sostenibilidad, poniendo al ser humano en el centro de las decisiones.

- Agricultura 5.0: Se espera una integración total de la IA, el IoT Internet de las Cosas y los GD. Los agrónomos podrán gestionar explotaciones enteras a través de réplicas virtuales que simularán escenarios productivos en tiempo real, optimizando cada proceso de manera autónoma (Chen et al., 2021).
- Educación Personalizada: Las aplicaciones educativas del futuro utilizarán la IA para crear rutas formativas adaptadas al perfil, las habilidades y el ritmo de aprendizaje de cada estudiante. Esto permitirá una formación más eficiente y personalizada, maximizando el potencial de cada alumno.

- Apps Colaborativas: El desarrollo de entornos multiusuario en línea permitirá a los profesionales agrarios colaborar en la planificación y la gestión de proyectos. Esto romperá las barreras geográficas y fomentará el trabajo en equipo, esencial en una economía globalizada.
- BDy Blockchain: La integración de estas tecnologías garantizará la trazabilidad, la seguridad alimentaria y la transparencia en toda la cadena de valor. Los consumidores podrán acceder a información detallada sobre el origen de los productos, mientras que los agricultores podrán optimizar sus procesos basándose en datos fiables.
- Aplicaciones Móviles Descentralizadas: El desarrollo de aplicaciones móviles que funcionen sin una conexión constante a internet permitirá la formación y la gestión en zonas rurales con infraestructura limitada. Esto democratizará el acceso a la tecnología y reducirá la brecha digital en el sector.

2.2.6.8. Conclusión

Las aplicaciones informáticas han transformado radicalmente la agricultura en todos sus niveles. Desde la gestión de cultivos hasta la formación técnica, su evolución ha propiciado una agricultura más eficiente, sostenible y resiliente.

La digitalización ha permitido optimizar el uso de recursos, mejorar la toma de decisiones y aumentar la productividad. El futuro apunta hacia una integración total de tecnologías emergentes, donde la IA, la conectividad y la educación digital serán pilares fundamentales para una agricultura 5.0

La transformación digital ha redefinido el paradigma agrícola, integrando herramientas informáticas que permiten optimizar procesos, mejorar la toma de decisiones y aumentar la sostenibilidad.

2.3. Agricultura de Precisión

La Agricultura 5.0 representa una revolución en el sector agrícola mediante la integración de tecnologías avanzadas como el IoT, BD, IA, y robótica. Este documento explora la evolución de la agricultura desde sus primeras etapas hasta la actual Agricultura 5.0, destacando los desafíos globales y las tecnologías clave que están transformando la producción de alimentos hacia un enfoque más eficiente, sostenible y resiliente.

2.3.1. Introducción

En la era actual, caracterizada por un vertiginoso avance tecnológico, la agricultura ha experimentado una transformación significativa. La incorporación de la innovación tecnológica a las prácticas agrícolas tradicionales ha dado origen a la Agricultura 4.0, que redefine la manera en que

cultivamos nuestros alimentos. El objetivo es analizar la evolución de la agricultura, el contexto global y las tecnologías clave que impulsan esta transformación.

2.3.2. Evolución de la Agricultura

– Agricultura 1.0: Origen y Evolución de las Primeras Prácticas Agrícolas

La Agricultura 1.0 marca el inicio de la transición de sociedades nómadas a comunidades sedentarias, caracterizada por prácticas básicas y rudimentarias. Esta etapa se basaba en la caza y recolección de alimentos, la domesticación de plantas y animales, y el uso de herramientas simples como azadas y hoces.

– Agricultura 2.0: La Revolución Industrial y la Modernización Agrícola

La Agricultura 2.0 representa una fase decisiva marcada por la incorporación de la Revolución Industrial en el sector agrícola. Este periodo se caracteriza por la introducción de maquinaria como tractores y sembradoras, y la aplicación de fertilizantes y pesticidas químicos, lo que permitió un aumento considerable en la eficiencia y capacidad de producción.

– Agricultura 3.0: Avances hacia la Sostenibilidad y la Precisión

La Agricultura 3.0 pone un fuerte énfasis en prácticas sostenibles y la producción orgánica, utilizando tecnologías de información y comunicación (TIC) para una gestión más eficiente de los recursos agrícolas. La implementación de prácticas de agricultura de precisión y técnicas de riego más eficientes y sostenibles son características clave de esta etapa.

– Hacia una Agricultura 4.0 e incluso 5.0 (con un enfoque centrado en: Sostenibilidad ambiental, eficiencia productiva, trazabilidad total, adaptación dinámica al entorno y bienestar social y seguridad alimentaria)

La Agricultura 4.0 está transformando el sector agrícola mediante la integración de tecnologías digitales avanzadas y procesos automatizados. La IA, sensores avanzados y robótica están configurando un futuro donde la producción alimentaria se vuelve más inteligente y precisa, mejorando la eficiencia y la sostenibilidad.

2.3.3. Contexto Global

– Crecimiento de la Población

La población mundial ha superado los 8 mil millones de personas y se espera que alcance aproximadamente 9.7 mil millones para 2050, lo que implica una demanda creciente de alimentos y representa un desafío significativo para los sistemas agrícolas actuales.

– **Desafíos Ambientales**

El cambio climático, la degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad y la contaminación por el uso excesivo de pesticidas y fertilizantes son problemas críticos que amenazan la sostenibilidad de la agricultura.

– **Necesidad de Sostenibilidad**

La Agricultura 4.0 se centra en prácticas sostenibles que minimizan el impacto ambiental, incluyendo la reducción del uso de insumos químicos, la conservación del agua y la promoción de la biodiversidad (FAO, 2020).

– **Tecnologías Avanzadas**

La integración de tecnologías como IoT, BD, IA y robótica permite a los agricultores monitorear y gestionar sus cultivos de manera más precisa y eficiente, optimizando el uso de recursos y mejorando la productividad sin comprometer la salud del ecosistema.

– **Seguridad Alimentaria**

La Agricultura 4.0 busca no solo aumentar la producción, sino también garantizar la calidad y seguridad de los alimentos, permitiendo rastrear los productos desde el campo hasta la mesa.

2.3.4. Tecnologías Clave

– **IoT**

Sensores y dispositivos conectados recopilan datos en tiempo real sobre condiciones del suelo, clima, estado de las plantas y más, permitiendo un monitoreo preciso y la automatización de procesos.

– **BD**

El análisis de grandes volúmenes de datos provenientes de sensores, maquinaria y drones facilita la toma de decisiones informadas para optimizar la producción.

– **Drones y Satélites**

Se utilizan para monitorear campos, generar mapas de alta resolución y aplicar insumos de manera precisa, como fertilizantes o pesticidas, reduciendo el desperdicio.

– **IA y Machine Learning**

Herramientas que analizan datos para predecir rendimientos, detectar enfermedades de los cultivos y optimizar el uso de recursos (Saikanth, Supriya, Singh, Rai, Bana, Sachan & Singh, 2023).

– **Robótica**

Robots automatizan tareas como siembra, cosecha o control de plagas, reduciendo costes laborales y aumentando la eficiencia operativa.

– **Agricultura de Precisión**

Técnica que integra varias de estas tecnologías para gestionar cultivos de manera más eficiente, utilizando datos en tiempo real, sensores y análisis detallados para optimizar el uso de agua, fertilizantes y pesticidas.

– **Conclusión**

La Agricultura 4.0 está transformando el sector agrícola mediante la integración de tecnologías avanzadas que mejoran la eficiencia, sostenibilidad y resiliencia de la producción alimentaria. Este enfoque innovador no solo aborda los desafíos globales de seguridad alimentaria, sino que también promueve prácticas agrícolas más responsables y conscientes del medio ambiente. La combinación de tecnología avanzada y prácticas agrícolas innovadoras está sentando las bases para un futuro más eficiente, preciso y resiliente en la producción de alimentos.

3. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO, HIPÓTESIS

3.1. Aspectos contextuales

En las últimas décadas, el sector agrario ha experimentado una transformación significativa impulsada por el desarrollo tecnológico, especialmente en el ámbito de la agricultura de precisión.

Esta revolución, a menudo referida como “Agricultura 4.0”, implica la integración de tecnologías digitales y automatización para optimizar la producción, mejorar la sostenibilidad y aumentar la eficiencia. Castilla y León, una comunidad autónoma con una arraigada tradición agraria y forestal, se encuentra en un punto de inflexión respecto a la actualización de sus métodos formativos en centros de capacitación agraria y forestal.

Estos centros, gestionados por la Junta de Castilla y León, han sido históricamente pilares fundamentales en la transmisión de conocimientos técnicos y prácticos a generaciones de trabajadores del sector (Junta de Castilla y León, 2023). No obstante, el vertiginoso avance de la tecnología exige una adaptación urgente de sus infraestructuras y metodologías educativas. La introducción de tractores inteligentes, drones equipados con cámaras multiespectrales, redes sensóricas, simuladores, agrobots y aplicaciones informáticas plantea un nuevo paradigma formativo. La convergencia de estas tecnologías no solo mejora la eficiencia agraria, sino que potencia la toma de decisiones, optimiza recursos naturales y abre posibilidades formativas más atractivas para los jóvenes rurales (Pereira & Souza, 2020).

Este contexto se ve reforzado por las directrices europeas recogidas en la Estrategia Horizonte Europa 2030, que promueve la digitalización del sector primario, el desarrollo sostenible y la resiliencia ante retos como el cambio climático. De ahí la imperiosa necesidad de que los futuros profesionales dispongan de competencias digitales, analíticas y operativas que estén alineadas con este nuevo escenario productivo. La formación en estas tecnologías es esencial para garantizar que los profesionales del sector estén preparados para gestionar las herramientas del futuro y contribuir a una agricultura más productiva y respetuosa con el medio ambiente.

La formación en tecnologías avanzadas es crucial para preparar a los estudiantes para el futuro del sector. A continuación, se detallan algunas de las herramientas clave y su impacto en la enseñanza:

- Tractores inteligentes y automatización: Los tractores modernos integran sistemas de navegación por satélite (GNSS), telemetría, automatización de tareas y motores más eficientes. Estas tecnologías permiten una agricultura más sostenible, reduciendo el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ (Universitat Carlemany, 2023). En los CIFP, el uso de estos equipos en prácticas permite a los estudiantes familiarizarse con la optimización de rutas, la siembra de

precisión y la telemonitorización del rendimiento, mejorando la productividad y reduciendo el impacto ambiental.

- Drones en la agricultura de precisión: Los drones son herramientas clave para monitorear cultivos, aplicar tratamientos fitosanitarios de forma selectiva, mapear parcelas y detectar estrés hídrico. Equipados con cámaras multiespectrales, recopilan datos detallados sobre la salud de los cultivos, ayudando a los agricultores a tomar decisiones informadas (Erickson & Fausti, 2021). La formación en esta área es vital para que los estudiantes aprendan a pilotar estos dispositivos y a analizar los datos que recopilan para identificar problemas en los cultivos. Por ejemplo, el DJI Agras T10 permite la aplicación precisa de pesticidas, reduciendo residuos y mejorando la sostenibilidad.
- Redes de sensores agrícolas (IoT): Los sensores agrícolas miden variables como la humedad del suelo, la temperatura, la radiación solar y la calidad del aire en tiempo real. Estos datos se integran en plataformas digitales para optimizar el riego, la fertilización y el manejo de los cultivos. La formación en esta área es fundamental para que los estudiantes aprendan a gestionar y analizar grandes volúmenes de datos (BD). Por ejemplo, en la Escuela de Viñalta se prevé utilizar una red sensórica avanzada para monitorear parámetros edafoclimáticos en tiempo real, proporcionando a los alumnos una experiencia práctica que esperemos se pueda evaluar.
- Simuladores: Aprendizaje seguro y eficiente: Los simuladores son herramientas educativas que permiten a los estudiantes practicar en entornos virtuales, reduciendo riesgos y costos (Pereira & Souza, 2020). Por ejemplo, los simuladores de maquinaria forestal reproducen la operatividad de cosechadoras y procesadores, mientras que tecnologías como Soldamatic utilizan la RA para enseñar soldadura técnica. Estos simuladores no solo mejoran la formación técnica, sino que también promueven el aprendizaje autónomo y el desarrollo de habilidades críticas en un entorno controlado.
- Agrobots: la robótica en el campo: Los agrobots automatizan tareas como la siembra, el deshierbe y la cosecha. Ejemplos como el Ecorobotix, que reduce el uso de herbicidas en un 90%, y el SmartCore, que optimiza la recolección de muestras de suelo, demuestran el potencial de la robótica en la agricultura para mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental (Universitat Carlemany, 2023). La formación en esta área es esencial para que los futuros profesionales entiendan cómo programar, operar y mantener estas tecnologías.
- Aplicaciones digitales y agricultura de precisión: Aplicaciones como Agroptima, FieldView y SATIVUM facilitan la gestión de cultivos, el análisis de datos y la toma de decisiones. SATIVUM, desarrollada por el Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León, utiliza imágenes satelitales,

datos de suelo y clima para monitorear cultivos y optimizar recursos. La capacitación en el uso de estas herramientas es esencial para que los estudiantes adquieran habilidades en la gestión digital de explotaciones agrícolas. La agricultura de precisión integra tecnologías como el IoT, BDe IA para gestionar los cultivos de manera más eficiente (Erickson & Fausti, 2021).

De esta manera la incorporación de tecnologías avanzadas en los CIFP de Castilla y León se espera que transforme la enseñanza agraria, preparando a los estudiantes para enfrentar los desafíos del sector. Los simuladores, drones y agrobots permitirán una formación práctica y segura, mientras que las aplicaciones informáticas mejorarán la gestión de datos y la toma de decisiones. Además, estas tecnologías fomentarán la inclusión de colectivos con dificultades físicas o sociales, mejorando la empleabilidad juvenil y promoviendo el arraigo en zonas rurales.

El futuro de la agricultura está marcado por la digitalización y la automatización. Tecnologías como los tractores eléctricos, los drones autónomos y las redes de sensores avanzados prometen una agricultura más sostenible y eficiente. La integración de la IA y los GD permitirá simular escenarios productivos reales, optimizando recursos y mejorando la toma de decisiones.

En conclusión, la modernización de la formación agraria en Castilla y León mediante la incorporación de tecnologías avanzadas es crucial. Estas herramientas no solo mejorarán la capacitación de los estudiantes, sino que también actuarán como motores de desarrollo rural y cohesión territorial. La digitalización y la agricultura de precisión representan el futuro del sector, ofreciendo soluciones sostenibles y eficientes para enfrentar los desafíos globales.

En las últimas décadas, el sector agrario ha experimentado una transformación significativa impulsada por el desarrollo tecnológico, especialmente en el ámbito de la agricultura de precisión.

Castilla y León, comunidad autónoma con una vocación agraria tradicional, se encuentra en un punto de inflexión respecto a la actualización de sus métodos formativos en centros de capacitación agraria y forestal.

Estos centros, gestionados por la Junta de Castilla y León, han sido pilares fundamentales en la transmisión de conocimientos técnicos y prácticos a generaciones de trabajadores del sector.

Sin embargo, el avance de la tecnología exige una adaptación urgente de las infraestructuras y metodologías educativas. La introducción de tractores inteligentes, drones equipados con cámaras multiespectrales, redes sensóricas, simuladores, agrobots y aplicaciones informáticas plantea un nuevo paradigma formativo.

La convergencia de estas tecnologías no solo mejora la eficiencia agraria, sino que potencia la toma de decisiones, optimiza recursos naturales y abre posibilidades formativas más atractivas para los jóvenes rurales (Pereira & Souza, 2020).

Este contexto se ve reforzado por las directrices europeas recogidas en la Estrategia Horizonte Europa 2030, que promueve la digitalización del sector primario, el desarrollo sostenible y la resiliencia ante retos como el cambio climático. De ahí la importancia de que los futuros profesionales dispongan de competencias digitales, analíticas y operativas alineadas con el nuevo escenario productivo.

3.2. Delimitación del estudio

El presente estudio se centrará en el diseño y valoración de una red tecnológica aplicada a la formación agraria y forestal en los Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) que dependen de la Dirección General de Desarrollo Rural de la Junta de Castilla y León. Esta delimitación geográfica y administrativa es fundamental para asegurar la viabilidad y la relevancia del proyecto, ya que se enfoca en un contexto específico y con una estructura de gestión homogénea (Junta de Castilla y León, 2023). Al concentrar el análisis en estos centros, se puede evaluar de manera más precisa cómo la integración de tecnologías avanzadas puede impactar en los currículos, las metodologías de enseñanza y las competencias adquiridas por los estudiantes.

Para el propósito de esta investigación, se considerará que los CIFP de Castilla y León ostentan una representatividad territorial adecuada, cubriendo las principales áreas agrícolas y forestales de la comunidad autónoma. Asimismo, se parte del supuesto de que su infraestructura actual, aunque susceptible de mejoras, es suficiente para albergar y gestionar la implementación de las tecnologías propuestas. Por último, se asume un interés institucional en la innovación educativa y la modernización del sector, lo cual es coherente con las políticas europeas y nacionales que promueven la digitalización del sector primario. Esta premisa es crucial, ya que el apoyo institucional es un factor determinante para el éxito de cualquier proyecto de innovación tecnológica a gran escala.

Las tecnologías objeto de este estudio han sido seleccionadas por su potencial transformador y su relevancia en la agricultura de precisión y la agricultura 4.0. Cada una de ellas representa un pilar fundamental en la modernización del sector agrario y forestal. A continuación, se detallan las tecnologías específicas que se analizarán:

- Tractores de última generación, dotados de sistemas de autoguiado, conectividad IoT y telemetría: Estos equipos son esenciales para la optimización de las labores agrícolas. El autoguiado permite una mayor precisión en la siembra y la fertilización, reduciendo

solapamientos y el consumo de insumos (Universitat Carlemany, 2023). La conectividad IoT y la telemetría posibilitan la monitorización remota del rendimiento, el consumo de combustible y el estado de la maquinaria, lo que facilita la toma de decisiones basada en datos.

- Drones con cámaras multiespectrales para teledetección agronómica: Los drones son herramientas versátiles que permiten la recolección de datos aéreos de alta resolución. Las cámaras multiespectrales capturan información sobre el estado de la vegetación, el estrés hídrico y la presencia de plagas, lo que permite a los agricultores intervenir de manera selectiva y eficiente (Pereira & Souza, 2020). En el ámbito formativo, el uso de drones prepara a los estudiantes para analizar e interpretar estos datos, una habilidad cada vez más demandada en el mercado laboral.
- Redes de sensores para medición de parámetros edafoclimáticos: La implementación de sensores en el campo proporciona datos en tiempo real sobre variables cruciales como la humedad del suelo, la temperatura, la radiación solar y la salinidad. Esta información es vital para la gestión del riego y la fertilización de manera optimizada (Erickson & Fausti, 2021). El estudio valorará cómo estas redes pueden ser integradas en la formación práctica, permitiendo a los estudiantes interactuar directamente con el BD generado por la explotación agrícola.
- Simuladores virtuales de maquinaria agrícola: Los simuladores ofrecen un entorno de aprendizaje seguro y controlado, donde los estudiantes pueden practicar la operación de maquinaria compleja sin los riesgos ni los costes asociados al uso de equipos reales. Estos simuladores no solo mejoran las habilidades de manejo de los equipos, sino que también promueven el aprendizaje de protocolos de seguridad y la optimización de los procesos (Pereira & Souza, 2020). La investigación explorará la efectividad de estas herramientas para la adquisición de competencias técnicas y operativas.
- Agrobots con capacidad de realizar labores de precisión: La robótica agrícola, a través de los agrobots, representa la vanguardia de la automatización en el campo. Estos robots pueden realizar tareas como la siembra, el deshierbe mecánico o la recolección de muestras de suelo con una precisión inalcanzable para la maquinaria tradicional. El estudio evaluará cómo la inclusión de estas tecnologías puede preparar a los estudiantes para el futuro de la agricultura, donde la robótica jugará un papel cada vez más relevante.
- Software y aplicaciones de gestión agrícola: La digitalización del campo se apoya en el uso de software de gestión agrícola (Farm Management Software) y aplicaciones móviles que consolidan los datos de las diferentes tecnologías. Estas herramientas permiten planificar tareas, monitorear el rendimiento de los cultivos, gestionar la trazabilidad y optimizar los recursos. El análisis se

centrará en la integración de estas plataformas en el currículo, para que los estudiantes adquieran habilidades en la toma de decisiones asistida por datos.

Esta delimitación exhaustiva asegura que el estudio no solo sea relevante, sino también factible, al centrarse en un conjunto de tecnologías y un ámbito geográfico y administrativo claramente definidos. El objetivo final es ofrecer una propuesta concreta y viable para la modernización de la formación agraria en Castilla y León, alineada con las necesidades actuales y futuras del sector.

3.3. Justificación e importancia

El presente trabajo de investigación se justifica por una necesidad real y urgente: la actualización tecnológica de los centros de capacitación agraria y forestal en Castilla y León. Esta modernización no es solo una cuestión de innovación educativa, sino que se perfila como un motor de desarrollo rural y un elemento fundamental para la cohesión territorial. En un contexto de despoblación, envejecimiento de la población rural y falta de relevo generacional, la mejora de la oferta formativa se vuelve una estrategia clave para atraer y retener a jóvenes talentos en el sector primario. Al ofrecer una educación de vanguardia, estos centros pueden convertirse en focos de dinamismo social y económico, revirtiendo, al menos parcialmente, la tendencia demográfica negativa que afecta a la región. Se busca demostrar que el trabajo en el campo puede ser una carrera profesional atractiva, tecnológicamente avanzada y con un futuro prometedor.

Actualmente, la formación agraria en la región presenta carencias significativas en cuanto a contenidos digitales y recursos innovadores. Los métodos tradicionales, basados en la teoría y la práctica con equipos a menudo obsoletos, no preparan adecuadamente a los estudiantes para los desafíos del mercado laboral moderno. La incorporación de tecnologías avanzadas como simuladores virtuales, drones y agrobots permitiría a los centros simular escenarios productivos reales, anticipar decisiones y evaluar resultados sin comprometer recursos ni poner en riesgo la seguridad de los alumnos (Rodríguez Pech & Chan Chi, 2023). Esta aproximación pedagógica, que combina lo práctico con lo analítico, se alinea con el concepto de "aprender haciendo y comprendiendo", un pilar fundamental en la educación profesional del siglo XXI. Se capacitaría a los futuros profesionales no solo en la operación de la maquinaria, sino también en el análisis de los datos que esta genera para una toma de decisiones más informada.

Más allá de la mejora directa de las competencias técnicas, la capacitación en tecnologías avanzadas podría tener un impacto social profundo. Al digitalizar el aprendizaje y automatizar ciertas tareas, la formación agraria podría favorecer la inclusión de colectivos con dificultades físicas o sociales, haciéndola más accesible. Por ejemplo, los simuladores o el control de drones pueden ser operados por personas con movilidad reducida, abriendo un abanico de oportunidades laborales que antes no

existían. Esta nueva oferta formativa mejoraría significativamente la empleabilidad juvenil y promovería el arraigo en zonas rurales que sufren despoblación, al demostrar que el sector primario ofrece carreras profesionales atractivas y tecnológicamente avanzadas. Se trata de una oportunidad para romper con la imagen tradicional y a menudo desfasada del trabajo en el campo, posicionando a la agricultura y la silvicultura como sectores punteros en innovación, resiliencia y sostenibilidad.

Desde un punto de vista económico, la inversión en tecnología en los CIFP se justifica en términos de eficiencia, retorno social y mejora en la calidad educativa. La formación en agricultura de precisión reduce el consumo de insumos, optimiza la producción y mejora la sostenibilidad, lo que se traduce en un claro beneficio económico para las futuras explotaciones (Gallardo-Cobos & Sánchez-Zamora, 2024). La brecha entre la demanda profesional y la oferta formativa es evidente. Según un informe del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2024), el 73% de las explotaciones medianas en España consideran prioritario formar a sus trabajadores en tecnologías de precisión, lo que subraya la necesidad de que los centros de formación profesional respondan a esta demanda del mercado. La inversión en estos recursos tecnológicos no debe verse como un gasto, sino como una inversión estratégica en el capital humano del sector. Un trabajador cualificado en tecnologías avanzadas es más productivo, más eficiente y puede contribuir de forma más efectiva a los objetivos de sostenibilidad y rentabilidad de la empresa.

En definitiva, este trabajo se propone como un modelo replicable para otros territorios y como una base sólida para futuras políticas públicas en formación agroforestal. Su carácter interdisciplinar, al vincular la tecnología, la formación, la economía y el desarrollo territorial, lo convierte en una propuesta innovadora con un impacto estructural. Este estudio no solo busca diagnosticar una necesidad, sino también ofrecer un camino claro y viable para la transformación del sector, asegurando que Castilla y León se mantenga a la vanguardia de la agricultura y la silvicultura en el contexto europeo. La propuesta de red tecnológica busca crear sinergias entre los diferentes centros, permitiendo que el conocimiento y los recursos se compartan de forma eficiente, maximizando así el impacto de la inversión.

3.4. Diagnóstico tecnológico de los centros

El diagnóstico tecnológico ofrece la línea base desde la que se diseña e implementa la red tecnológica propuesta. De forma transversal, todos los centros comparten un patrón de obsolescencia en su parque de maquinaria (tractores y aperos sin electrónica embarcada ni compatibilidad ISOBUS/ISOXML), ausencia generalizada de redes sensóricas y una integración muy limitada de software técnico en la docencia. Solo dos centros disponen de GPS de guiado (Viñalta y La Santa Espina), existe un simulador de soldadura antiguo compartido entre los tres centros

forestales, y únicamente se han identificado dos drones simples y descatalogados (Burgos y La Santa Espina). A continuación se detalla el estado por centro.

3.4.1. CIFP Viñalta (Palencia)

- Situación de partida: parque de tractores y aperos envejecido, sin autoguiado, telemetría ni compatibilidad con agricultura de precisión. El mantenimiento absorbe recursos y limita la disponibilidad para prácticas.
- Tecnologías disponibles: es uno de los dos centros con GPS de guiado. No obstante, el hardware/software asociado es de generaciones anteriores, con conectividad limitada y escasa integración con plataformas de análisis de datos.
- Simulación y robótica: no dispone de simuladores de maquinaria actualizados. El simulador de soldadura compartido entre centros forestales no está adscrito a Viñalta, por lo que el acceso es eventual. No hay agrobots disponibles.
- Teledetección: carece de drones operativos (ni multiespectrales ni de tratamiento). Esto impide prácticas de fotogrametría, índices vegetativos y planificación de vuelos automatizados.
- Sensórica y software: no hay red sensórica agroclimática/edáfica. El uso de aplicaciones (GIS, gestión de fincas, telemetría) es básico y no se articula con flujos de datos reales.

Limitaciones clave: brecha entre currículo y práctica digital; imposibilidad de entrenar competencias de Agricultura 4.0 sin datos ni simulación; dependencia de maquinaria obsoleta.

3.4.2. CIFP La Santa Espina (Valladolid)

- Situación de partida: maquinaria agrícola obsoleta, sin autoguiado ni conectividad.
- Tecnologías disponibles: dispone de GPS de guiado (junto con Viñalta), con limitaciones de generación y de integración de datos.
- Drones: cuenta con un dron simple y descatalogado. Útil para demostraciones básicas, pero insuficiente para teledetección multiespectral, térmica o tratamientos.
- Simulación y robótica: no dispone de simuladores de maquinaria actualizados. El simulador de soldadura antiguo pertenece a la red de centros forestales; el acceso es puntual. No hay agrobots.
- Sensórica y software: sin red de sensores. Uso elemental de software GIS, gestión agronómica y plataformas de datos, sin flujos de campo a aula.

Limitaciones clave: capacidad muy restringida para prácticas de agricultura de precisión y para la integración datos–decisión; dependencia de demostraciones teóricas.

3.4.3. CIFP Almazán (Soria)

- Situación de partida: maquinaria envejecida y heterogénea, sin electrónica embarcada ni compatibilidad con aperos inteligentes.
- Tecnologías disponibles: no dispone de GPS de guiado, ni de drones operativos.
- Simulación y robótica: sin simuladores de maquinaria actualizados; el simulador de soldadura compartido no cubre las necesidades y presenta obsolescencia de software. No hay agrobots.
- Sensórica y software: ausencia total de red sensórica y de integración de datos en tiempo real. El uso de software técnico es puntual y no estructurado en el currículo.

Limitaciones clave: imposibilidad de reproducir escenarios de Agricultura 4.0; prácticas condicionadas por la seguridad y el coste del uso de maquinaria antigua.

3.4.4. CIFP Príncipe Felipe (Albilllos, Burgos)

- Situación de partida: parque de maquinaria obsoleto, sin sistemas de guiado ni telemetría.
- Drones: cuenta con un dron simple y descatalogado. No admite sensores multiespectrales/térmicos ni planificación avanzada de vuelos.
- Tecnologías disponibles: no hay GPS de guiado operativo.
- Simulación y robótica: sin simuladores actualizados; acceso ocasional al simulador de soldadura antiguo de la red forestal. No dispone de agrobots.
- Sensórica y software: ausencia de red de sensores y de tablero de visualización docente. Uso básico de aplicaciones (ofimática y GIS elemental) sin conexión a datos de campo.

Limitaciones clave: gran dependencia de teoría y demostración; baja exposición del alumnado a flujos de trabajo digitales y decisiones basadas en datos.

3.4.5. CIFP de Ávila (Ávila)

- Situación de partida: maquinaria agrícola y forestal anticuada; disponibilidad irregular de aperos en buen estado operativo.
- Tecnologías disponibles: no hay GPS de guiado. No se identifican drones ni cámaras multiespectrales.

- Simulación y robótica: sin simuladores de maquinaria actualizados; el simulador de soldadura compartido entre los centros forestales no está asignado aquí, por lo que el acceso es esporádico y logísticamente costoso. No hay agrobots.
- Sensórica y software: no existe red sensórica. El uso de software especializado (QGIS, plataformas de gestión de fincas, analítica) es incipiente y no se apoya en datos reales.

Limitaciones clave: baja capacidad para prácticas de precisión, falta de datos y de entornos virtuales de aprendizaje; elevada brecha con las demandas del sector.

3.4.6. CIFP de Coca (Segovia)

- Situación de partida: maquinaria forestal envejecida (procesadoras y autocargadores no digitales o de generaciones antiguas), con costes de mantenimiento y limitaciones de seguridad y trazabilidad.
- Tecnologías disponibles: no hay GPS de guiado ni drones multiespectrales propios para inventario forestal o evaluación de riesgos.
- Simulación y robótica: forma parte de los tres centros forestales que comparten un simulador de soldadura antiguo, con limitaciones de software, ergonomía y evaluación. No dispone de simuladores forestales modernos (entorno inmersivo, métricas, escenarios). No hay robots forestales o agrobots de apoyo (p. ej., replanteo/plantación).
- Sensórica y software: sin red sensórica forestal (microclima, humedad de combustible, estaciones). Uso básico de aplicaciones de cartografía, sin integración sistemática de datos de campo.

Limitaciones clave: dificultad para entrenar protocolos de seguridad y operación en entornos complejos; falta de datos para gestión basada en evidencias; limitada exposición a flujos LiDAR/teledetección.

3.4.7. CIFP de Almázcara (León)

- Situación de partida: parque de maquinaria forestal amortizado, con limitaciones de precisión operativa, consumo y seguridad.
- Tecnologías disponibles: no se dispone de GPS de guiado ni de drones propios para inventario, seguimiento de plagas o prevención de incendios.
- Simulación y robótica: comparte el simulador de soldadura antiguo entre los tres centros forestales. No se cuenta con simuladores forestales avanzados ni con sistemas de evaluación

objetiva del desempeño. No hay robots para plantación/poda ni plataformas de replanteo autónomo.

- Sensórica y software: ausencia de red sensórica forestal y de integración con SIG para la docencia. El uso de software (planificación, cubicación, evaluación de riesgos) es básico y no se alimenta de datos reales.

Limitaciones clave: prácticas limitadas a maquinaria real obsoleta y a casos teóricos; falta de entornos seguros para entrenar decisiones críticas; nula disponibilidad de datos en tiempo real.

3.4.8. Síntesis y necesidades transversales

Habiendo observado:

- Obsolescencia generalizada del parque móvil y de los simuladores disponibles, con un único simulador forestal antiguo compartido entre los tres centros forestales (Coca, Almázcara y Almazán), insuficiente para la demanda actual.
- Brecha digital en tecnologías clave de Agricultura y Selvicultura 4.0: solo Viñalta y La Santa Espina disponen de GPS; únicamente hay dos drones simples y descatalogados (Burgos y La Santa Espina); no existen drones multiespectrales/ térmicos ni de tratamiento disponibles para prácticas curriculares.
- Ausencia de redes sensóricas en todos los centros, lo que impide capturar datos agroclimáticos/edáficos/forestales y cerrar el ciclo datos–decisión en la formación.
- Uso básico y no integrado de software (GIS, gestión agronómica, analítica), sin flujos de datos reales ni tableros docentes.
- Déficit de seguridad, trazabilidad y evaluación objetiva en prácticas, por falta de simulación inmersiva y telemetría.

Se han detectado las siguientes necesidades prioritarias:

- Renovación de tractores y aperos con estándares de precisión y conectividad; Dotación de GPS, drones (multiespectrales y de tratamiento), simuladores actualizados y agrobots docentes.
- Despliegue de redes sensóricas y plataforma de visualización/analítica.
- Plan de formación docente vinculado a equipamiento y a metodologías de aprendizaje basadas en datos y simulación.

Este diagnóstico fundamenta la propuesta de red tecnológica y el posible cronograma de inversiones (en nuestro caso se depende de presupuestos cambiantes), así como el modelo pedagógico centrado

en aprendizaje práctico, análisis de datos y seguridad operacional, orientado a cerrar la brecha entre la situación actual y las competencias exigidas por la Agricultura y Selvicultura 4.0.

4. OBJETIVOS

En el contexto del avance tecnológico y la urgente transformación digital del sector agroforestal, este estudio se enfoca en un conjunto de objetivos estratégicos que buscan modernizar la formación profesional en Castilla y León. El objetivo general es diseñar, implementar y evaluar una red tecnológica integrada en los centros de capacitación agraria y forestal de la Junta de Castilla y León, que incorpore tecnologías de vanguardia como tractores inteligentes, drones, sensores, simuladores y agrobots. Este enfoque holístico tiene como fin fortalecer la formación profesional, mejorar el desempeño técnico del alumnado y articular metodologías pedagógicas innovadoras basadas en el uso de herramientas inteligentes y conectadas (Comisión Europea, 2021).

Para alcanzar esta meta, se han marcado una serie de objetivos específicos que guían el desarrollo de la investigación. El primero es la identificación de las necesidades formativas a través de un diagnóstico técnico-pedagógico que permita detectar los déficits actuales y las demandas del sector. Esto conduce a la selección e integración de tecnologías con criterios técnicos y didácticos claros, así como al diseño de una arquitectura de red modular y escalable. Posteriormente, se elaborará un modelo pedagógico innovador basado en el aprendizaje por descubrimiento y la resolución de problemas (Gallardo-Cobos & Sánchez-Zamora, 2024), seguido de una valoración económica detallada. Finalmente, se medirá el impacto social y formativo de la red mediante indicadores cualitativos y cuantitativos (Arrieta Cohen, 2022) y se generará una propuesta de replicabilidad que facilite la adaptación del modelo en otros centros.

4.1. Objetivo general

En el marco del avance tecnológico y la profunda transformación digital que experimenta el sector agroforestal a nivel global, el presente trabajo tiene como objetivo general y rector diseñar, implementar y evaluar una red tecnológica integrada en los Centros de Formación Profesional de la Junta de Castilla y León. Esta red, cuidadosamente concebida, no se limita a la mera adquisición de equipamiento, sino que articula un conjunto de tecnologías de vanguardia que operan de manera sinérgica. Dicho ecosistema incluirá tractores de última generación equipados con sistemas de autoguiado y conectividad IoT, sistemas de teledetección con drones para el monitoreo de cultivos, redes de sensores para la medición de parámetros edafoclimáticos, simuladores virtuales de maquinaria agrícola y forestal, agrobots para la automatización de tareas de precisión y, finalmente, aplicaciones informáticas de gestión avanzada (Comisión Europea, 2021). Este diseño se orienta, de manera fundamental, hacia el fortalecimiento de la formación profesional, la mejora del desempeño técnico del alumnado y la articulación de metodologías pedagógicas innovadoras que trasciendan la enseñanza tradicional, basándose en el uso de herramientas inteligentes y conectadas.

La finalidad última de este estudio es construir un modelo formativo que sea no solo replicable y sostenible, sino también económicamente viable, permitiendo así modernizar el aprendizaje agrario y forestal en la región. Este modelo busca responder de manera efectiva a las exigencias del mercado laboral, cada vez más demandante de competencias digitales y analíticas, a los desafíos ecológicos globales, como la gestión eficiente del agua y la reducción de la huella de carbono, y a los marcos normativos europeos, como la Estrategia Horizonte Europa 2030. La integración de estas tecnologías no solo mejorará la eficiencia en las prácticas agrícolas, sino que también inculcará en los estudiantes una mentalidad de sostenibilidad y resiliencia.

Asimismo, el objetivo se alinea estratégicamente con el Plan de Transformación Digital de Castilla y León y con las políticas de retención poblacional en el medio rural. Se busca demostrar que la profesionalización del sector agrario a través de la tecnología es una vía para generar oportunidades, empleo de calidad y arraigo en las zonas que más sufren la despoblación (Junta de Castilla y León, 2023). Al proporcionar una formación puntera, estos centros de capacitación se convierten en un elemento clave para revitalizar el tejido social y económico del medio rural, atrayendo a nuevas generaciones interesadas en un sector que es, ahora más que nunca, sinónimo de innovación y futuro.

Este enfoque holístico permitirá a los futuros profesionales adquirir un conjunto de habilidades que van más allá de lo meramente operativo. Los estudiantes no solo aprenderán a manejar la maquinaria, sino que también desarrollarán competencias de análisis de datos, toma de decisiones estratégicas y gestión de la complejidad. La red tecnológica funcionará como un laboratorio vivo donde la teoría y la práctica se fusionan, permitiendo a los alumnos experimentar de primera mano los beneficios y desafíos de la agricultura de precisión. La evaluación de este modelo no solo se centrará en los resultados académicos, sino también en su impacto en la empleabilidad y la percepción del sector por parte de la sociedad, validando así la inversión como una apuesta por el futuro del campo castellano y leonés.

4.2. Objetivos específicos

El sector agroforestal, pilar económico y social de Castilla y León, se encuentra en un punto de inflexión. La denominada Agricultura 4.0 ha reconfigurado las prácticas tradicionales, integrando tecnologías avanzadas como la IA, el IoT y la robótica para optimizar la producción, mejorar la sostenibilidad y asegurar la resiliencia frente a desafíos globales como el cambio climático y la escasez de recursos (Castillo Díaz, Blaas Nacle, & Laínez Andrés, 2025). En este contexto, la formación profesional se erige como un elemento crítico para garantizar que los futuros trabajadores del campo estén preparados para manejar estas innovaciones. A pesar de su vocación

agraria, Castilla y León enfrenta el reto de modernizar sus Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP), adaptando sus infraestructuras y currículos a las exigencias del nuevo panorama tecnológico.

La presente investigación aborda esta necesidad al proponer un modelo de red tecnológica integral para los CIFP de la Junta de Castilla y León. Este proyecto busca no solo diseñar la implementación de herramientas como tractores inteligentes, drones, sensores, simuladores y agrobots, sino también evaluar su impacto formativo y social (Rodríguez Pech & Chan Chi, 2023). La modernización de estos centros es fundamental para cerrar la brecha entre la oferta educativa y la demanda del mercado laboral, que según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2024), demanda cada vez más competencias digitales en el sector. En definitiva, este estudio se presenta como una propuesta innovadora para fortalecer el sector, atraer talento joven al medio rural y consolidar un modelo formativo alineado con el futuro del sector primario.

Para alcanzar el objetivo general, se han formulado una serie de objetivos específicos, cada uno de los cuales representa una fase crítica en el desarrollo de la investigación y la implementación del modelo. Estos objetivos actúan como hitos que garantizan la coherencia y la viabilidad del proyecto.

4.2.1. Identificación de necesidades formativas

El primer y más fundamental paso para lograr una modernización efectiva de la formación agraria es llevar a cabo un diagnóstico técnico-pedagógico exhaustivo en los Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) de Castilla y León. Este análisis va más allá de una simple auditoría de equipamiento; su propósito es obtener una comprensión profunda de las deficiencias actuales y las oportunidades de mejora. Se busca detectar los déficits tecnológicos actuales en términos de infraestructura y recursos didácticos, así como evaluar las carencias en las competencias digitales del alumnado y del cuerpo docente (Pereira & Souza, 2020). La brecha entre los conocimientos actuales de los estudiantes y las demandas del sector agroforestal, que evoluciona rápidamente hacia la digitalización y la automatización, es un área crítica a explorar. Se determinará si los currículos actuales están realmente preparando a los futuros profesionales para trabajar con tecnologías como tractores inteligentes, drones y software de gestión agronómica.

Este diagnóstico se realizará mediante una metodología mixta que combinará la recolección de datos cuantitativos con información cualitativa. Por un lado, se emplearán encuestas y cuestionarios estructurados dirigidos a estudiantes, docentes y directores de centros para recopilar datos sobre el acceso a la tecnología, el nivel de familiaridad con las herramientas digitales y las percepciones sobre la calidad de la formación actual. Por otro lado, se utilizarán entrevistas semiestructuradas y grupos focales con profesionales del sector agroalimentario de la región para obtener una visión más

detallada de las competencias que realmente se demandan en el mercado laboral (Rodríguez Pech & Chan Chi, 2023). Este enfoque dual permitirá obtener una imagen clara y multidimensional de la situación, validando los datos cuantitativos con las experiencias y opiniones cualitativas.

El objetivo de este diagnóstico es múltiple. Primero, busca detectar los déficits tecnológicos existentes en los CIFP. Se evaluará el estado actual de la maquinaria agrícola y forestal, los laboratorios, las aulas y la infraestructura de conectividad. Este análisis proporcionará la base empírica para la posterior selección e integración de tecnologías. Segundo, se centrará en la identificación de las necesidades de competencias digitales. No basta con tener la tecnología; es esencial que el alumnado y el profesorado estén capacitados para utilizarla de manera efectiva. Se evaluará el nivel de alfabetización digital, el conocimiento de software de gestión y la capacidad de análisis de datos.

Finalmente, el diagnóstico permitirá determinar el nivel de adecuación curricular respecto a las demandas del sector. Se analizarán los programas de estudio vigentes para identificar áreas donde la formación puede ser actualizada para incluir módulos sobre agricultura de precisión, teledetección, robótica agrícola o BD. Este proceso de realineación curricular es fundamental para asegurar que los graduados de los CIFP no solo posean conocimientos teóricos, sino también las habilidades prácticas que les permitan integrarse de forma exitosa en un mercado laboral en constante evolución (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2024).

La información recopilada en esta fase inicial es la piedra angular del proyecto. Sentará las bases para una selección e integración de tecnologías que no sea arbitraria, sino que responda a una necesidad real y demostrada del sector. De esta manera, se garantizará que el modelo propuesto sea pertinente, eficaz y que maximice el retorno de la inversión, tanto a nivel económico como social.

4.2.2 Selección e integración de tecnologías

Una vez que se ha completado el diagnóstico de necesidades formativas, el siguiente paso crítico en el desarrollo de este estudio es la selección e integración de las tecnologías que conformarán la red en los Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP). Este proceso no es trivial, ya que la elección debe basarse en criterios técnicos, operativos y didácticos rigurosos para garantizar la pertinencia, la eficacia y la sostenibilidad a largo plazo del proyecto. No se trata simplemente de adquirir la última tecnología del mercado, sino de elegir aquellas herramientas que mejor se adapten a los objetivos pedagógicos y a las demandas reales del sector agroforestal (Del Castillo Coba, 2021).

Se definirán criterios específicos para cada tipo de tecnología, asegurando que la selección sea coherente con la visión de la Agricultura 4.0. Por ejemplo, para los tractores de última generación, se

priorizarán aquellos que estén equipados con sistemas de autoguiado de alta precisión (GNSS), conectividad IoT para la transmisión de datos en tiempo real y telemetría para la monitorización remota de su rendimiento y consumo. Estos equipos permitirán a los estudiantes no solo operar la maquinaria, sino también comprender los principios de la optimización de recursos y la toma de decisiones basada en datos.

En el caso de los drones, la selección se centrará en modelos equipados con cámaras multiespectrales. Estas cámaras son fundamentales para la teledetección agronómica, ya que permiten capturar información sobre el estado de la vegetación que es invisible al ojo humano, como el índice de estrés hídrico o la densidad de la clorofila. Se elegirán drones que ofrezcan una autonomía de vuelo suficiente y un software de procesamiento de imágenes intuitivo, para que los estudiantes puedan practicar el mapeo de parcelas, el seguimiento de cultivos y la aplicación de tratamientos fitosanitarios de forma selectiva.

Para las redes de sensores, la elección se basará en la robustez, la fiabilidad y la capacidad de interconexión. Se implementarán sensores para medir parámetros edafoclimáticos cruciales como la humedad del suelo, la temperatura, la radiación solar y la calidad del aire. La red debe ser inalámbrica y compatible con una plataforma de gestión centralizada que permita a los estudiantes visualizar, analizar e interpretar los datos en tiempo real. Esta experiencia práctica es vital para el aprendizaje del BDy para la optimización de recursos como el riego y la fertilización (Erickson & Fausti, 2021).

La selección de los simuladores virtuales de maquinaria agrícola y forestal se hará teniendo en cuenta su realismo, su capacidad para replicar diferentes escenarios (clima, tipo de terreno, averías) y su versatilidad. Estos simuladores son una herramienta didáctica invaluable que permite a los estudiantes practicar maniobras complejas y protocolos de seguridad sin los riesgos y los costos asociados al uso de equipos reales. Además, facilitan un aprendizaje autónomo y repetible (Rodríguez Pech & Chan Chi, 2023).

En cuanto a los agrobots, se priorizarán aquellos diseñados para tareas de precisión como el deshierbe mecánico, la siembra o la recolección de muestras de suelo. Se buscarán modelos que no solo sean eficientes, sino que también sean didácticos, permitiendo a los alumnos entender los principios de la robótica, la programación y la IA en un contexto agrícola.

Finalmente, se seleccionará un software de gestión y análisis agronómico que actúe como el cerebro de la red. Este software debe ser capaz de integrar los datos provenientes de todas las demás tecnologías (tractores, drones, sensores) para ofrecer una visión completa y analítica de la explotación. Se buscarán aplicaciones que permitan la planificación de tareas, la creación de mapas

de rendimiento y la toma de decisiones estratégicas, preparando a los estudiantes para la gestión moderna del campo (CIPFP Canastell, 2023).

Una vez seleccionadas las tecnologías, se desarrollará un plan de integración física que abordará la infraestructura, la conectividad (por ejemplo, redes inalámbricas de largo alcance) y la compatibilidad entre los dispositivos. Se diseñará una arquitectura de interconexión que permita un flujo continuo y seguro de datos entre el campo, el laboratorio y el aula, creando un verdadero ecosistema de aprendizaje digital. Este enfoque meticuloso en la selección y la integración garantizará que la red no solo sea tecnológicamente avanzada, sino también una herramienta pedagógica coherente y efectiva.

Por tanto esta selección abarcará:

- Tractores con autoguiaido y conectividad IoT.
- Drones con cámaras multiespectrales para seguimiento de cultivos y de tratamiento de cultivos..
- Sensores ambientales conectados para recolección de datos edafoclimáticos.
- Simuladores virtuales para prácticas de maquinaria forestal, agrícola y soldadura.
- Agrobots para tareas específicas de cultivo y mantenimiento.
- Software de análisis y gestión agronómica.

Se desarrollará un plan de integración física (infraestructura, conectividad, compatibilidad) y un diseño de interconexión de dispositivos que permita un flujo continuo de datos entre campo, laboratorio y aula (CIPFP Canastell, 2023).

4.2.3 Diseño de la red tecnológica

Es necesario diseñar una estructura tecnológica que sea flexible y capaz de ajustarse a distintos contextos educativos. Esta estructura debe estar compuesta por módulos independientes que puedan integrarse o modificarse según las necesidades específicas de cada entorno. Para lograrlo, se propone el uso de tecnologías inalámbricas que faciliten la comunicación entre dispositivos, junto con servidores que pueden estar alojados localmente o en la nube, dependiendo de los recursos disponibles y los requisitos de seguridad.

Una vez que se han seleccionado las tecnologías de manera rigurosa, el siguiente paso fundamental es el diseño de la red tecnológica que permitirá su interconexión y funcionamiento coherente. Este objetivo, crucial para la viabilidad del proyecto, se basa en la creación de una arquitectura modular y escalable, lo que garantiza que la red pueda adaptarse a diferentes entornos formativos, independientemente del tamaño del centro o de la especialidad agroforestal (. La modularidad es

una característica esencial, ya que permite que la red crezca o se modifique de manera flexible a medida que surjan nuevas tecnologías o cambien las necesidades pedagógicas.

La arquitectura de la red estará basada en una combinación de tecnologías de comunicación para asegurar una conectividad robusta y fiable. Se emplearán sistemas de comunicación inalámbrica de largo alcance, como redes LoRaWAN o 5G, para conectar los sensores y los agrobots en el campo con los servidores del centro. Para la conexión de dispositivos en el aula y los laboratorios, se utilizarán redes Wi-Fi de alta velocidad. La red se apoyará en una infraestructura de servidores locales o en la nube, donde se almacenarán, procesarán y analizarán los grandes volúmenes de datos generados por los sensores, los drones y la maquinaria. Esta dualidad de servidores garantiza tanto la privacidad de los datos como la accesibilidad remota a la información.

El diseño también contemplará el desarrollo de interfaces de usuario simplificadas. La complejidad de las tecnologías de la Agricultura 4.0 puede ser una barrera para el aprendizaje, por lo que es vital que los estudiantes y docentes puedan interactuar con la red a través de plataformas intuitivas y fáciles de usar. Estas interfaces permitirán a los alumnos visualizar datos en tiempo real, controlar simuladores y drones, y gestionar las tareas agrícolas desde un panel de control centralizado, facilitando un aprendizaje más dinámico y participativo.

Finalmente, el diseño de la red incluirá la elaboración de protocolos de mantenimiento técnico. Se crearán esquemas de instalación, planos técnicos y toda la documentación de soporte necesaria para una implementación exitosa y sostenible en el tiempo. Estos protocolos detallarán las rutinas de calibración de los sensores, las actualizaciones de software de los agrobots y los planes de copia de seguridad de los datos, asegurando que la red funcione de manera óptima y que la inversión en tecnología esté protegida a largo plazo.

4.2.4 Modelo pedagógico innovador

El diseño y la implementación de una red tecnológica avanzada en los Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) de Castilla y León no puede limitarse a la simple adquisición de equipos. Para que la inversión tenga un impacto real y duradero, es imperativo diseñar un modelo pedagógico innovador que articule la tecnología, la práctica y la teoría de forma coherente e integrada. Este modelo didáctico adaptativo se configura como la columna vertebral del proyecto, garantizando que las herramientas tecnológicas se conviertan en verdaderos catalizadores del aprendizaje significativo. La meta es pasar de un enfoque de enseñanza tradicional, centrado en la transmisión de conocimientos, a un modelo centrado en el alumno, donde el aprendizaje es un proceso activo, constructivo y contextualizado.

Este modelo pedagógico se estructura en torno a una serie de estrategias didácticas que aprovechan al máximo el potencial de la red tecnológica. En primer lugar, se emplearán actividades de aprendizaje con simuladores virtuales para permitir a los estudiantes practicar la operación de maquinaria agrícola y forestal compleja en un entorno seguro y controlado. Los simuladores no solo reducen los riesgos de accidentes y los costes operativos, sino que también permiten la repetición de tareas hasta alcanzar la maestría, así como la simulación de escenarios adversos (condiciones climáticas extremas, averías inesperadas) que serían difíciles de replicar en el campo (Rodríguez Pech & Chan Chi, 2023). Esta práctica intensiva fomenta la adquisición de habilidades técnicas, la toma de decisiones bajo presión y el desarrollo de la memoria muscular.

En segundo lugar, se implementarán recorridos de campo con drones y sistemas de captura de datos. Esta estrategia didáctica va más allá del simple vuelo; los estudiantes aprenderán a planificar misiones de vuelo, a calibrar las cámaras multiespectrales y a analizar los datos obtenidos. A través de ejercicios prácticos, interpretarán los índices de vegetación (como el NDVI) para identificar zonas de estrés hídrico o nutricional, lo que les permitirá aplicar tratamientos de manera precisa y selectiva. Esta experiencia les dota de un conocimiento profundo de la agricultura de precisión y del papel que juega el análisis de datos en la optimización de los cultivos.

En tercer lugar, se diseñarán prácticas en tiempo real con tractores inteligentes y agrobots. Estas actividades permitirán a los alumnos interactuar directamente con la tecnología en el entorno real de la explotación agraria del centro. Aprenderán a configurar los sistemas de autoguiado, a programar tareas para los agrobots y a interpretar los datos de telemetría que la maquinaria envía a la plataforma de gestión. Este enfoque hands-on es crucial para consolidar los conocimientos teóricos y desarrollar una comprensión práctica de la automatización agrícola.

Una de las piedras angulares de este modelo será el uso de ejercicios de interpretación y análisis de datos en plataformas digitales. La red tecnológica generará un flujo constante de información (BD) proveniente de sensores, drones y maquinaria. Los estudiantes aprenderán a utilizar software de gestión agronómica para procesar, visualizar y analizar estos datos, lo que les permitirá tomar decisiones informadas sobre el riego, la fertilización o la protección de los cultivos. Esta competencia analítica es cada vez más valorada en el mercado laboral y prepara a los alumnos para una gestión moderna y eficiente de las explotaciones.

Según lo expresado por expertos en el campo (Gallardo-Cobos & Sánchez-Zamora, 2024), se empleará un enfoque metodológico basado en el aprendizaje por descubrimiento, la resolución de problemas y el trabajo colaborativo. El objetivo es fomentar no solo habilidades técnicas, sino también el pensamiento crítico y la autonomía en el alumnado. El modelo pedagógico propuesto

busca capacitar a los estudiantes para que no sean meros operadores de tecnología, sino profesionales capaces de innovar, adaptarse a los cambios y solucionar los complejos problemas que plantea la agricultura del siglo XXI. El trabajo en equipo en la planificación de misiones con drones o en el análisis de datos fortalecerá sus habilidades de comunicación y cooperación.

En definitiva, este modelo pedagógico transformará a los CIFP en laboratorios vivientes donde la teoría y la práctica se fusionan. Al integrar las tecnologías de manera didáctica y coherente, se garantizará que los estudiantes no solo adquieran conocimientos, sino que también desarrollen las competencias, la mentalidad y las habilidades necesarias para ser líderes en el futuro del sector agroforestal. La evaluación del modelo se centrará en medir la adquisición de estas competencias, demostrando así el valor y el impacto de la red tecnológica en la calidad de la formación.

De esta manera se procederá a diseñar un modelo didáctico adaptativo que articule tecnología, práctica y teoría de forma integrada.

Este modelo incluirá:

- Actividades de aprendizaje con simuladores.
- Recorridos de campo con drones y sistemas de captura de datos.
- Prácticas en tiempo real con tractores inteligentes y agrobots.
- Ejercicios de interpretación y análisis de datos en plataformas digitales.

4.2.5 Valoración económica

El diseño e implementación de una red tecnológica avanzada en la formación profesional agraria, aunque vital para la modernización del sector, no puede considerarse viable sin una valoración económica rigurosa y detallada. Este objetivo específico, por tanto, se centrará en establecer un estudio económico comparativo que contemple los diversos aspectos financieros del proyecto. Este análisis no solo justificará la inversión inicial, sino que también sentará las bases para la sostenibilidad y escalabilidad del modelo a largo plazo. Se busca trascender la simple presentación de costos y demostrar el retorno de la inversión (ROI), tanto en términos económicos como, de manera más importante, en términos sociales y educativos.

El estudio se iniciará con la evaluación de los costes de adquisición, instalación y mantenimiento de todos los dispositivos tecnológicos seleccionados. Esta fase requerirá una investigación exhaustiva del mercado para obtener cotizaciones precisas de tractores inteligentes, drones con cámaras multiespectrales, redes de sensores, simuladores, agrobots y software de gestión. Se considerarán no solo los precios de compra, sino también los costos de instalación, calibración, formación del personal y las licencias de software recurrentes. Un análisis detallado de los gastos de

mantenimiento (reparaciones, actualizaciones, consumibles) será fundamental para proyectar los costos operativos anuales de la red.

Además de los costos directos, un componente crucial de esta valoración será la estimación del retorno educativo, lo que se puede medir a través de un ratio coste/competencia desarrollada. Este análisis comparará la inversión en la red tecnológica con el valor añadido que esta genera en las habilidades y el conocimiento de los estudiantes. Se evaluará cómo la formación práctica con estas herramientas reduce los errores en el campo, mejora la toma de decisiones y, en última instancia, incrementa la empleabilidad de los graduados. Se cuantificará, en la medida de lo posible, la mejora en las competencias digitales, el pensamiento crítico y la autonomía del alumnado, elementos que tienen un valor tangible en el mercado laboral (Gallardo-Cobos & Sánchez-Zamora, 2024).

La valoración económica también explorará posibles vías de financiación externa, lo cual es vital para la viabilidad del proyecto. Se investigarán las oportunidades de acceder a fondos europeos, como los provenientes del programa Horizonte Europa o los Fondos Estructurales y de Inversión (FEDER), que priorizan proyectos de innovación y digitalización en el medio rural. Asimismo, se considerarán convenios de colaboración con empresas del sector tecnológico y agroalimentario, que podrían estar interesadas en cofinanciar el proyecto a cambio de participar en la formación o en la validación de sus productos. Este análisis de financiación externa permitirá diseñar un plan financiero sólido que minimice la carga presupuestaria para la Junta de Castilla y León.

Finalmente, se realizarán proyecciones de sostenibilidad a medio y largo plazo. Se simularán escenarios económicos para determinar la viabilidad del modelo a cinco y diez años, considerando factores como la depreciación de los equipos, el coste de las actualizaciones tecnológicas y el impacto de la red en la productividad y eficiencia de las explotaciones agrícolas de los propios centros de formación. Según un informe del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2024), este tipo de análisis se complementará con simulaciones de costes y un estudio de escalabilidad a otros centros, garantizando que la propuesta no solo sea un caso de éxito aislado, sino un modelo replicable que pueda extenderse a toda la comunidad autónoma. Este enfoque financiero integral dotará al proyecto de la solidez necesaria para justificar su implementación y asegurar su continuidad.

Se pretende establecer un estudio económico comparativo que contemple:

- Costes de adquisición, instalación y mantenimiento de los dispositivos.
- Estimación de retorno educativo (ratio coste/competencia desarrollada).
- Posibles vías de financiación externa (fondos europeos, convenios con empresas).

- Proyecciones de sostenibilidad a medio y largo plazo.

Según estableció el MAPA en el año 2024 “*Este análisis será complementado por simulaciones de costes y estudio de escalabilidad a otros centros*”.

4.2.6 Evaluación del impacto social y formativo

Según estableció Arrieta Cohen en el año 2022 se debe “*Desarrollar una batería de indicadores para medir la eficacia formativa, el impacto social en el medio rural y la percepción de la comunidad educativa. Se realizarán grupos focales, entrevistas cualitativas, encuestas de satisfacción y análisis comparativo de rendimiento académico. Este objetivo busca captar el valor transformador de la red tecnológica, tanto en términos de innovación como de inclusión*”.

La culminación del proyecto de modernización de la formación agraria no reside únicamente en la instalación de una red tecnológica avanzada, sino en la evaluación rigurosa de su impacto social y formativo. Este objetivo específico es crucial para validar la pertinencia y la eficacia de la inversión. Se busca ir más allá de la mera constatación de la funcionalidad de los equipos y adentrarse en la medición del valor transformador que la red genera tanto en la comunidad educativa como en el entorno rural. La evaluación servirá para justificar la inversión, demostrar el valor público del proyecto y sentar las bases para su mejora continua y su replicabilidad. Para ello, se desarrollará una batería de indicadores que permita medir la eficacia formativa, el impacto social y la percepción de los actores involucrados.

En primer lugar, la eficacia formativa será evaluada a través de una serie de indicadores que cuantifiquen la adquisición de competencias. Se realizarán evaluaciones pre y post-intervención para medir el progreso del alumnado en el manejo de las nuevas tecnologías, desde la operación básica de los simuladores y drones hasta la interpretación avanzada de datos agronómicos. Se utilizarán pruebas de rendimiento, rúbricas de evaluación de competencias prácticas y análisis de los proyectos finales desarrollados por los estudiantes. La efectividad de la formación se medirá comparando el rendimiento de los alumnos que utilicen la red tecnológica con el de aquellos que sigan una formación tradicional, si la hubiere. Además, se analizarán los índices de titulación, la tasa de éxito en el mercado laboral y la satisfacción de los egresados con la formación recibida.

En segundo lugar, se medirá el impacto social en el medio rural, un componente esencial para demostrar la relevancia del proyecto en la lucha contra la despoblación. La evaluación buscará responder a preguntas clave: ¿Ha mejorado la percepción de los jóvenes sobre el sector agrario como una opción de carrera atractiva y moderna? ¿Ha influido la red tecnológica en la decisión de los jóvenes de quedarse en el medio rural? Se desarrollarán indicadores para medir el grado de arraigo de los egresados, su contribución a la innovación en sus comunidades y la percepción de los

habitantes del entorno sobre el papel de los CIFP como dinamizadores rurales. Según Arrieta Cohen (2022), la medición del impacto social requiere de metodologías cualitativas que capturen la riqueza de las experiencias personales y comunitarias.

Para este fin, se emplearán grupos focales con estudiantes, docentes, familias y representantes del sector para explorar en profundidad las percepciones, expectativas y experiencias en torno a la red tecnológica. Estas sesiones permitirán identificar los beneficios intangibles del proyecto, como el aumento de la motivación, el fomento del pensamiento crítico y la mejora de la autoestima del alumnado. Asimismo, se realizarán entrevistas cualitativas a profesionales del sector que hayan contratado a egresados de los centros para conocer su opinión sobre la calidad de la formación y las competencias adquiridas. Esta retroalimentación directa del mercado laboral es vital para validar la pertinencia del modelo.

Complementando los métodos cualitativos, se realizarán encuestas de satisfacción que recogerán la opinión de la comunidad educativa (alumnos, docentes, directores) sobre la usabilidad de la tecnología, la efectividad del modelo pedagógico y el apoyo institucional. El análisis comparativo de rendimiento académico, como sugirió el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2024), se llevará a cabo para contrastar los resultados de los estudiantes formados con la red tecnológica frente a los de cohortes anteriores, identificando mejoras en la adquisición de conocimientos teóricos y prácticos.

En definitiva, este objetivo de evaluación busca captar el valor transformador de la red tecnológica. No solo se trata de medir lo que se aprende, sino de comprender cómo la tecnología puede actuar como un motor de innovación social y de inclusión. La evaluación medirá si la red reduce las barreras para colectivos con dificultades físicas o sociales, mejorando su acceso al empleo y su calidad de vida. Los resultados de este análisis serán cruciales para la toma de decisiones futuras, la asignación de recursos y la extensión del modelo a otros centros, garantizando que el proyecto sea una inversión inteligente, eficaz y con un impacto positivo y duradero en la sociedad.

4.2.7 Propuesta de replicabilidad

El éxito de la red tecnológica en los Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) de Castilla y León no se medirá únicamente por su impacto local, sino por su capacidad de ser un modelo de referencia.

Por lo tanto se pretende generar una guía técnica y pedagógica exhaustiva que permita la replicabilidad y la adaptación del modelo a otros centros de formación agraria, tanto dentro de Castilla y León como en otras comunidades autónomas.

Esta propuesta busca transformar el proyecto en un estándar de buenas prácticas, asegurando que el conocimiento y la experiencia adquiridos no se queden confinados a un solo territorio, sino que sirvan como base para una modernización más amplia del sector agroforestal a nivel nacional.

La futura guía, por tanto, sería el compendio de todo el trabajo realizado, desde el diagnóstico inicial hasta las lecciones aprendidas durante la implementación y la evaluación.

Esta guía se estructurará en varios componentes clave para facilitar su transferencia.

- El primero será un manual técnico de instalación detallado.
- En segundo lugar, se propone elaborar un paquete didáctico para docentes. Este paquete podría ser un recurso pedagógico completo que incluiría planes de lecciones, actividades prácticas, ejercicios de evaluación y estudios de caso basados en la red tecnológica. En él se proporcionarían orientaciones sobre cómo integrar las diferentes herramientas en el currículum, desde el uso de los simuladores para enseñar protocolos de seguridad hasta la interpretación de datos de los drones para la planificación de la siembra. El objetivo sería capacitar a los educadores para que puedan aprovechar al máximo el potencial de la red, transformando su rol de meros transmisores de información a facilitadores del aprendizaje por descubrimiento y la resolución de problemas (Gallardo-Cobos & Sánchez-Zamora, 2024).
- En tercer lugar, la guía se propone que incluya indicadores de adaptación territorial. Se reconocería que cada centro de formación y cada región tienen sus particularidades (tipo de cultivo, clima, especialización forestal, etc.). Por ello, se propondrían una serie de variables y criterios que permitirían a cada centro adaptar el modelo a sus necesidades específicas. Por ejemplo, se sugerirían diferentes configuraciones de sensores para viñedos frente a cultivos de cereales, o se recomendarían distintos tipos de agrobots en función de las tareas agrícolas más comunes en la zona. Esta flexibilidad es crucial para que el modelo sea viable y pertinente en cualquier contexto agroforestal.
- Finalmente, la propuesta de replicabilidad abordaría las estrategias de sostenibilidad. Se incluiría una sección detallada sobre cómo financiar y mantener la red a largo plazo. Se presentarían modelos de financiación probados, incluyendo la gestión de fondos europeos y la creación de convenios de colaboración con empresas del sector. Se ofrecerían recomendaciones para la creación de un plan de mantenimiento preventivo y predictivo, así como para la actualización periódica del software y hardware.

La guía haría especial hincapié en la importancia de crear una cultura de innovación continua y de formación permanente entre el personal, garantizando así la longevidad del proyecto.

Se contemplaría la creación de un anexo documental con recursos gráficos, esquemas y fichas técnicas que faciliten aún más la transferencia del modelo (ver Anexo I). Este anexo contendría diagramas de flujo de datos, listas de proveedores recomendados y ejemplos de currículos adaptados.

La propuesta de replicabilidad es, en esencia, la manifestación final del compromiso de este estudio con la modernización estructural del sector agroforestal, proporcionando una hoja de ruta clara y completa para que otros territorios puedan seguir el mismo camino. El resultado final será la creación de una red nacional de centros de formación agraria de vanguardia, unificada por una visión compartida de futuro y una metodología probada de innovación.

Por tanto se pretende generar una guía técnica y pedagógica que permita la adaptación del modelo diseñado a otros centros de formación agraria en Castilla y León y otras comunidades autónomas. Esta propuesta incluirá:

- Manual técnico de instalación.
- Paquete didáctico para docentes.
- Indicadores de adaptación territorial.
- Estrategias de sostenibilidad.

Se contempla la creación de un anexo documental con recursos gráficos, esquemas y fichas técnicas que faciliten la transferencia del modelo.

5. MATERIALES Y MÉTODOLOGÍA

Este trabajo se basa en una metodología llamada investigación-acción, que combina teoría y práctica para mejorar una situación concreta. En este caso, se trata de diseñar una red tecnológica adaptada a la formación profesional en los sectores agrario y forestal. Esta metodología permite avanzar paso a paso: primero se analiza la situación, luego se diseña la solución, se pone en marcha y finalmente se evalúa cómo ha funcionado.

El proyecto se desarrolla en colaboración con los Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) que dependen de la Junta de Castilla y León, lo que garantiza que las propuestas estén conectadas con la realidad educativa.

En la primera fase, se estudian las necesidades de los centros y se identifican los problemas tecnológicos. Para ello, se utilizan entrevistas y observaciones que ayudan a entender cómo ven los docentes y estudiantes la situación actual.

Después, se diseña la red tecnológica utilizando principios de ingeniería. Esto incluye elegir los dispositivos adecuados, definir cómo se conectarán entre sí y establecer normas para que todo funcione correctamente.

Por último, se pretende evaluar el impacto del proyecto. Se propone combinar encuestas (para obtener datos numéricos) con entrevistas y grupos de discusión (para recoger opiniones más profundas). Los resultados se analizarán con programas informáticos que permitan sacar conclusiones claras.

Gracias a esta mezcla de métodos, se obtiene una visión completa del proyecto: tanto desde el punto de vista técnico como educativo y social.

5.1 Hardware y Software

La evolución tecnológica en el ámbito agrario exige una infraestructura sólida, actualizada y versátil. En el marco del presente trabajo, se analiza el conjunto de equipos tecnológicos y recursos software implementados en los Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) dependientes de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural de Castilla y León, como base para la consolidación de una red tecnológica aplicada a la enseñanza agroforestal.

La evolución tecnológica en el ámbito agrario exige una infraestructura sólida, actualizada y versátil. En el marco del presente trabajo, se analiza el conjunto de equipos tecnológicos y recursos software implementados en los Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) dependientes de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural de Castilla y León, como base para la consolidación de una red tecnológica aplicada a la enseñanza agroforestal. Esta selección de

hardware y software no es arbitraria, sino que responde a un diagnóstico previo de necesidades y a los objetivos formativos del estudio.

El hardware de la red se compone de un conjunto de dispositivos interconectados que actúan como la espina dorsal del modelo pedagógico. Se incluyen tractores de última generación con sistemas GPS de alta precisión y telemetría, drones equipados con cámaras multiespectrales para el análisis detallado de cultivos, y redes de sensores para la monitorización ambiental en tiempo real. Además, se integran simuladores virtuales de maquinaria agrícola y forestal para prácticas seguras y repetibles, y agrobots para tareas de precisión.

El software, por su parte, abarca desde aplicaciones de gestión agronómica hasta plataformas de análisis de datos y entornos virtuales de aprendizaje. La integración de estos componentes permite crear un ecosistema digital que refleja las demandas del mercado laboral actual y prepara a los estudiantes para el futuro de la agricultura, dotándolos de las habilidades necesarias para una gestión eficiente, sostenible y tecnológicamente avanzada.

5.1.1 Tractores de última generación

Uno de los pilares fundamentales para la modernización de la formación profesional agraria en Castilla y León ha sido el desarrollo del Convenio de Maquinaria Agrícola, suscrito con diversas marcas líderes del sector. Este acuerdo, con una vigencia de cuatro años a partir del 27 de septiembre de 2024, ha permitido dotar a los seis Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) agrarios con tractores de última generación durante un periodo de seis meses al año. Estos equipos incorporan innovaciones tecnológicas esenciales para la agricultura de precisión, como sistemas de conectividad RTK (Real-Time Kinematic), que ofrecen una precisión centimétrica para las labores de campo. Esta tecnología permite a los alumnos realizar tareas como la siembra o la aplicación de insumos con una exactitud sin precedentes, optimizando recursos y minimizando el impacto ambiental (CIPFP Canastell, 2023). Además, los tractores están equipados con tecnología ISOBUS, lo que garantiza la compatibilidad universal entre el tractor y los aperos, un estándar crucial en la maquinaria moderna que facilita la gestión y el control de los equipos desde una única interfaz en la cabina.

Los modelos cedidos por las casas comerciales –John Deere, New Holland, Case, Fendt, Massey Ferguson, Valtra, Claas, Deutz-Fahr y McCormick– se seleccionaron considerando su cuota de mercado y su penetración en las explotaciones reales de Castilla y León. Esta elección estratégica asegura que la formación recibida por los estudiantes sea directamente aplicable a la realidad del sector en la región, incrementando su empleabilidad. Como se detalla en el convenio, cada centro ha podido acceder a un tractor junto con un apero ISOBUS, lo que posibilita la realización de prácticas

avanzadas en agricultura de precisión, incluyendo el control automático de la dosificación de fertilizantes, el trazado de rutas óptimas y la gestión agronómica de datos en tiempo real. Este enfoque práctico y tecnificado responde a la alta demanda de personal cualificado en el manejo de maquinaria eficiente y digitalizada que existe en el mercado laboral.

El alumnado de los CIFP realiza prácticas intensivas que abarcan la conducción de los equipos, la calibración de los aperos ISOBUS, la programación de las labores y la evaluación del rendimiento de campo. Estas actividades se llevan a cabo utilizando las interfaces conectadas de los tractores y software técnico, lo que fortalece sus habilidades digitales y analíticas. Para garantizar la excelencia en la formación, el convenio estipula que técnicos especialistas de cada marca imparten instrucciones esenciales al profesorado de los CIFP. Esta formación específica asegura que los docentes, a su vez, puedan transmitir los conocimientos más actualizados al conjunto del alumnado. La experiencia con estos equipos no solo fortalece la empleabilidad del alumnado, sino que también fomenta su adaptabilidad a entornos agrícolas profesionalizados y tecnológicamente avanzados, contribuyendo a la formación de una nueva generación de agricultores y técnicos competentes y preparados para los desafíos del futuro del sector primario.

El Convenio de Maquinaria Agrícola entre la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural de la Junta de Castilla y León y las empresas titulares de las marcas comerciales se formalizó con el objetivo de establecer un marco de colaboración para la óptima formación en el uso de equipos agrícolas modernos. El documento, firmado en Valladolid el 27 de septiembre de 2024, responde a una necesidad acuciante: la modernización de la cualificación de los profesionales del sector. La Consejería, a través de su Dirección General de Desarrollo Rural, ostenta la competencia en la mejora de la cualificación del personal del sector agrario y alimentario, y ha reconocido la importancia de que la formación reglada se adapte a las exigencias tecnológicas del mercado (Junta de Castilla y León, 2024).

El convenio se fundamenta en una serie de manifiestos clave. Se reconoce que los CIFP gestionan explotaciones agrarias que requieren maquinaria y equipos modernos para impartir conocimientos prácticos de calidad. Además, se subraya que la formación profesional agraria exige una capacitación rigurosa en el manejo de máquinas eficientes, de bajo consumo y baja emisión de gases de efecto invernadero, equipadas con tecnologías de agricultura inteligente como software SIG, GPS, conectividad y robótica. Las partes firmantes del convenio coinciden en que el mercado laboral tiene una alta demanda de personal con formación en mecánica y digitalización, lo que a su vez incrementa las oportunidades de acceso al mercado laboral para los estudiantes formados en estas áreas. La formación en nuevas tecnologías se presenta, por tanto, como una herramienta para lograr un sector agrícola más productivo, competitivo y eficiente.

El objeto principal del acuerdo es establecer un marco de colaboración para el adecuado desarrollo de actividades formativas teórico-prácticas sobre el funcionamiento y manejo de maquinaria y equipos agrícolas dotados de los últimos avances tecnológicos. El ámbito de aplicación se circunscribe a los seis CIFP con orientación agrícola, cuyas explotaciones agrarias servirán como base para las prácticas. Los modelos de tractor y las potencias cedidas se corresponden con la representatividad de las marcas en el mercado regional, basándose en el número de inscripciones en el Registro Oficial de Maquinaria Agrícola (ROMA) de la Consejería.

Las empresas titulares de las marcas comerciales se comprometen a:

- Poner a disposición de los CIFP la maquinaria establecida en el Anexo I, durante los períodos lectivos acordados.
- Garantizar que la maquinaria sea de la última tecnología, esté matriculada y cuente con los seguros reglamentarios.
- Proporcionar los aperos agrícolas necesarios (abonadora, sembradora o pulverizador) con tecnología ISOBUS.
- Realizar el correcto mantenimiento y, en caso de deterioro u obsolescencia, sustituir la maquinaria.
- Ofrecer formación esencial al profesorado de los CIFP a través de técnicos especialistas.
- Posibilitar la realización de prácticas y el acceso a contratos laborales para los alumnos de los ciclos formativos.

Por su parte, la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural se compromete a:

- Poner a disposición de las empresas las instalaciones, medios y explotaciones agrarias de los CIFP.
- Asegurar el correcto uso y resguardo de la maquinaria cedida.
- Proveer el combustible necesario.
- Tener suscrito un seguro de responsabilidad civil para cubrir posibles perjuicios.
- Compensar a las empresas con una aportación económica total máxima de 359.180,06 €, distribuida en cuatro anualidades para cubrir la depreciación, los costos fijos y variables.
- Certificar la realización de las actuaciones y elaborar una memoria económica.
- Ceder los datos de contacto de profesores y alumnos a las empresas, siempre y cuando estos den su consentimiento.

Para el seguimiento, vigilancia y control del cumplimiento del convenio, se ha constituido una Comisión de Seguimiento integrada por representantes de la Consejería y de cada una de las marcas firmantes. Esta comisión se reunirá para resolver incidencias, y en caso de incumplimiento, se podrán aplicar las cláusulas de resolución. La duración inicial del convenio es de cuatro años, con la posibilidad de una prórroga por un periodo adicional de hasta cuatro años.

La distribución de los tractores y los costes asociados por anualidad y marca, lo que sirve como base para la planificación y gestión económica del proyecto de modernización ha sido recogida en el convenio. En el Anexo I se recoge una distribución equitativa y estratégica de los equipos entre los centros de Ávila, Almázcara, Segovia, La Santa Espina, Viñalta y Almazcara. La tabla de la anualidad muestra qué marca (Fendt, John Deere, Claas, New Holland, Deutz, Massey, Valtra, Case o McCormick) y qué tipo de tractor (indicado por su potencia en kW) se asigna a cada CIFP en los años 2024, 2025, 2026 y 2027. Esto garantiza una rotación y un acceso equilibrado a la tecnología para todos los estudiantes de la red de centros agrarios. La segunda tabla, de importes por marca, desglosa el coste total del convenio a lo largo de los cuatro años, con una suma total que asciende a 359.180,06 €, distribuidos en las anualidades 2024, 2025, 2026 y 2027, con un desglose anual por cada una de las marcas participantes.

5.1.2 Drones con cámaras multiespectrales y de tratamientos

La modernización de la red de Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural de Castilla y León ha incorporado una tecnología que ha revolucionado la manera en que se observa y se gestiona el campo: los drones. La dotación de drones representa un salto cualitativo en el trabajo de observación aérea, teledetección y control de parcelas, transformando la formación profesional en una experiencia de aprendizaje de vanguardia. Esta iniciativa no solo prepara a los estudiantes para el futuro de la agricultura de precisión, sino que también los equipa con herramientas esenciales para la sostenibilidad y la eficiencia del sector .

La implementación de esta tecnología se ha realizado de forma escalonada, adaptándose a las diferentes necesidades y niveles de formación. En una primera fase, cada uno de los ocho centros ha recibido un modelo DJI Mini. Este equipo está destinado a la formación básica, permitiendo a los estudiantes familiarizarse con la navegación de vehículos aéreos no tripulados (UAV) en un entorno seguro y controlado. Las prácticas iniciales se centran en la captura de imágenes aéreas, la elaboración de mapas simples y la comprensión de las normativas de vuelo. Esta base es fundamental para que el alumnado adquiera la confianza y las habilidades operativas necesarias antes de pasar a equipos más complejos y especializados (Fogel et al., 2017).

El verdadero potencial de la teledetección agrícola se desbloquea con la adquisición del DJI Mavic, equipado con una cámara multiespectral. Este dron es capaz de obtener imágenes en distintas bandas del espectro electromagnético, como el visible (RGB), el infrarrojo cercano y el infrarrojo de onda corta. Estas bandas son esenciales para el cálculo de índices de vegetación como el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada). La capacidad de analizar el espectro de luz reflejada por las plantas permite a los estudiantes realizar diagnósticos avanzados sobre el estado de los cultivos. Por ejemplo, pueden identificar zonas con estrés hídrico antes de que los síntomas sean visibles a simple vista, diagnosticar enfermedades vegetales o plagas en sus etapas iniciales, y monitorear el desarrollo fenológico de las plantas a lo largo de su ciclo de crecimiento. Esta formación refuerza la capacidad de los estudiantes para tomar decisiones agronómicas informadas y proactivas, lo que maximiza el rendimiento y minimiza las pérdidas (Kuri, 2023).

El alcance de la formación con drones se amplía aún más con la inclusión del DJI Agras T10, un dron de tratamiento fitosanitario y siembra aérea. Este equipo, con un depósito para pulverización, ha sido integrado en el módulo de agricultura de precisión para simular trabajos reales de aplicación de productos fitosanitarios o la siembra de precisión en zonas de difícil acceso. Su uso en el entorno formativo permite a los estudiantes aprender las mejores prácticas de aplicación, como la dosificación precisa y la pulverización localizada, lo que optimiza el uso de los productos y reduce el impacto ambiental. Esta herramienta también permite la realización de prácticas seguras y eficientes en el aula y en el campo, ya que los alumnos pueden experimentar con diferentes escenarios y protocolos sin el riesgo asociado a la maquinaria tradicional.

La formación con drones no se limita a la operación de los equipos, sino que se extiende al procesamiento y análisis de los datos que estos recogen. Los drones se han de vincular con herramientas GIS (Sistemas de Información Geográfica) como QGIS, que ya se utiliza en los centros. Este software permite a los estudiantes procesar las imágenes capturadas para generar ortomapas de alta resolución, modelos digitales de elevación y zonificaciones productivas. Los ortomapas proporcionan una visión detallada y geo-referenciada de las parcelas, mientras que los modelos digitales de elevación son cruciales para entender la topografía del terreno y su impacto en la gestión del agua y la erosión. La zonificación productiva, por su parte, permite dividir una parcela en zonas homogéneas para aplicar tratamientos específicos a cada área, lo que optimiza el rendimiento y la eficiencia de los recursos.

Este enfoque integral refuerza la formación en la interpretación de datos, la toma de decisiones agronómicas y la conectividad entre las herramientas de campo y laboratorio. Los estudiantes aprenden a manejar todo el ciclo de la agricultura de precisión, desde la planificación del vuelo del dron y la captura de datos hasta el procesamiento de la información en el ordenador y la posterior

toma de decisiones en el campo. Esta interconexión entre la tecnología aérea y las aplicaciones informáticas es la clave para una gestión agrícola moderna y eficiente. Al dominar estas herramientas, los futuros profesionales de Castilla y León estarán preparados para liderar la transformación digital del sector, contribuyendo a una agricultura más productiva, sostenible y rentable.

Para complementar la visión pedagógica, es fundamental entender las capacidades técnicas de cada uno de los modelos de drones adquiridos, ya que cada uno cumple una función específica dentro del plan formativo.

– **DJI Mini: Fundamentos y Manejo Básico**

El DJI Mini, con su diseño compacto y ligero (generalmente por debajo de los 250 gramos), es la herramienta ideal para la formación de iniciación. Su principal característica es la facilidad de uso y la seguridad, lo que lo convierte en un dron perfecto para que los estudiantes aprendan los principios básicos de vuelo y pilotaje sin los riesgos asociados a equipos más grandes. Aunque su cámara es de alta resolución para la captura de fotografías y vídeos, su uso en la formación se centra en la navegación, la realización de vuelos programados y la toma de imágenes aéreas para la elaboración de ortomapas sencillos. Su autonomía de vuelo, de aproximadamente 30 minutos, es más que suficiente para las prácticas iniciales de cada clase, permitiendo una experiencia de aprendizaje práctica y eficiente.

– **DJI Mavic Multispectral: Análisis Avanzado y Teledetección**

El DJI Mavic adquirido para la formación está especialmente configurado para la agricultura de precisión. Su característica técnica más relevante es la cámara multiespectral integrada. Esta cámara no se limita a capturar el espectro visible (RGB), sino que incluye sensores que registran la reflectancia en bandas de luz invisibles para el ojo humano, como el infrarrojo cercano (NIR). La combinación de estas bandas permite el cálculo de índices de vegetación, como el NDVI, que miden la salud de la planta. Con una resolución de 2.0 MP en cada una de las cinco cámaras espectrales y una cámara RGB de 12 MP, este dron ofrece una alta precisión en la obtención de datos. Su diseño plegable y su peso moderado (alrededor de 1,4 kg) lo hacen fácil de transportar y desplegar, y su autonomía de vuelo de casi 30 minutos es ideal para la cartografía de parcelas de tamaño medio, permitiendo a los estudiantes obtener datos detallados para su posterior análisis en software GIS.

– **DJI Agras T10: Aplicación de Precisión y Automatización**

El DJI Agras T10 es un dron agrícola de alta capacidad, diseñado para la aplicación de tratamientos fitosanitarios y la siembra de precisión. Sus características técnicas son robustas, destacando un

tanque de pulverización de 10 litros y un sistema de rociado con un ancho de trabajo de hasta 7 metros. Esto le permite cubrir hasta 6,7 hectáreas por hora, lo que lo convierte en una herramienta altamente eficiente para simular labores de campo a gran escala. El dron cuenta con un sistema de radar esférico que le permite detectar obstáculos en todas las direcciones, garantizando un vuelo seguro y sin colisiones en terrenos complejos. Además, su sistema de posicionamiento RTK (Real-Time Kinematic) proporciona una precisión centimétrica en las operaciones, lo que es crucial para la aplicación localizada y la reducción del desperdicio de productos. Los estudiantes de los CIFP se familiarizarán con la planificación de rutas de vuelo, la calibración del caudal de pulverización y la gestión de la aplicación de productos a través de su mando de control avanzado, lo que les proporcionará una experiencia de formación completa en el uso de la robótica aérea para la gestión agronómica.

5.1.3 Sensores ambientales

La modernización de la formación profesional agraria en Castilla y León alcanza una nueva dimensión con la implementación de una red de sensores ambientales en el Centro Integrado de Formación Profesional (CIFP) de Viñalta, en Palencia. Este proyecto, concebido como una iniciativa piloto con potencial de ser replicado en toda la red de centros de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, sitúa a Viñalta como un laboratorio de innovación donde la teoría se fusiona con la práctica a través de la monitorización en tiempo real del entorno agrario (Junta de Castilla y León, 2025).

La instalación de esta red sensórica avanzada, llevada a cabo en colaboración con la empresa Qampo, responde a la necesidad de dotar a los alumnos de las tecnologías más modernas para el desarrollo de su aprendizaje. El objetivo es que los futuros profesionales del sector sean capaces de analizar datos y tomar decisiones de manejo agronómico fundamentadas en la información, un pilar fundamental para incrementar la eficiencia, la competitividad y la sostenibilidad de las explotaciones (Junta de Castilla y León, 2025). La red de sensores de Viñalta está diseñada para recoger una amplia gama de datos edafoclimáticos, proporcionando una visión holística del microclima y el estado del suelo de las parcelas del centro.

– Monitoreo Completo del Entorno Agronómico

La red sensórica de Viñalta integra una variedad de dispositivos para la medición de parámetros críticos. La estación meteorológica profesional, automática e inalámbrica, es el cerebro de este sistema. A diferencia de las estaciones públicas que a menudo están situadas a kilómetros de distancia, este equipo genera una referencia climática a pie de cultivo, capturando el microclima específico de la finca. Entre los sensores que componen esta estación se encuentran:

- Pluviómetro de cubeta basculante: Permite un registro preciso de las lluvias (desde 0,2 mm), lo que es crucial para cuantificar las precipitaciones efectivas, calcular acumulados y analizar la distribución del agua a lo largo del tiempo. Esta información es vital para la planificación del riego.
- Sensor combinado de temperatura y humedad relativa: Mide el rango de temperatura del aire y la humedad, lo que posibilita el cálculo de indicadores agronómicos clave como el punto de rocío, el déficit de presión de vapor (DPV) y la acumulación térmica. Estos datos son esenciales para entender las condiciones de crecimiento de los cultivos y predecir posibles riesgos.
- Anemómetro de copa y veleta direccional: Registra la velocidad y la dirección del viento. Esta información es fundamental para la planificación de tratamientos fitosanitarios, ya que ayuda a controlar la deriva del producto, garantizando una aplicación más segura y eficiente.
- Sensor de radiación solar: Mide la radiación global, lo que permite a los estudiantes estimar la evapotranspiración de referencia (ET0) y, en consecuencia, ajustar los calendarios de riego en función de la demanda hídrica de los cultivos.

La red de Viñalta también incluye estaciones de suelo inalámbricas, adaptadas tanto para cultivos hortícolas como para leñosos. Estas estaciones monitorizan con precisión el estado hídrico del perfil del suelo, con sensores de humedad volumétrica, temperatura y conductividad eléctrica (CE) instalados a diferentes profundidades. Los datos obtenidos permiten a los estudiantes conocer el nivel de humedad útil, detectar el estrés hídrico de las plantas antes de que los síntomas sean visibles y evaluar la dinámica de infiltración del agua tras un riego. La combinación de estos datos con la información del pluviómetro y los caudalímetros permite a los alumnos analizar automáticamente los patrones de humedad y salinidad, facilitando la toma de decisiones sobre la duración y frecuencia óptimas del riego (Junta de Castilla y León, 2025).

Para los cultivos en sustrato, como los viveros, se ha incorporado una estación de lisimetría. Esta herramienta automatiza la medición del balance hídrico completo, registrando el volumen de riego aplicado, el volumen drenado, y la conductividad eléctrica y el pH del agua de entrada y salida. Estos datos son cruciales para el manejo de soluciones nutritivas, permitiendo a los estudiantes identificar problemas de acumulación de sales y optimizar el uso de fertilizantes en cultivos hidropónicos o en macetas.

Finalmente, la red de Viñalta se complementa con sensores específicos para la predicción de enfermedades fúngicas, como el sensor de humectación de hoja. Este dispositivo mide el porcentaje de superficie foliar húmeda, lo que ayuda a identificar ventanas de infección por hongos. Combinado

con los datos de temperatura y humedad ambiental, los estudiantes pueden utilizar modelos predictivos para anticiparse a condiciones de riesgo, ajustar calendarios de tratamientos y reducir el uso innecesario de fungicidas.

– **Características Técnicas de la Tecnología Qampo**

La red de sensores implementada en el CIFP de Viñalta se basa en la tecnología de Qampo, que ofrece una solución modular y escalable para la telegestión de cultivos. El corazón del sistema son los data loggers, dispositivos que recopilan y transmiten los datos de los sensores.

- **Qbic Lite:** Este registrador de datos de 1 o 2 canales es ideal para aplicaciones sencillas y económicas. Funciona con batería recargable y un panel solar integrado, garantizando una autonomía total. Su conectividad es a través de un módem GPRS/3G/4G, y los datos se transmiten a una plataforma web segura en la nube. Su grado de protección IP67 lo hace resistente a las inclemencias del tiempo, y es compatible con una variedad de sensores a través de opciones de entrada como pulso, 4-20mA, y SDI12.
- **Qbic 4 o 8 canales:** Este modelo más avanzado ofrece una mayor capacidad para la conexión de sensores (4 u 8 canales), lo que permite una monitorización más exhaustiva. Comparte las características de autonomía (batería y panel solar) y conectividad (GPRS/3G/4G) del Qbic Lite, pero su mayor número de canales lo hace adecuado para estaciones más complejas, como la estación meteorológica profesional o las estaciones de suelo que requieren múltiples sensores a diferentes profundidades.
- **Qbic T:** La versión más completa de los data loggers de Qampo, con hasta 10 canales de entrada. Este modelo está diseñado para instalaciones de alta densidad de sensores, como las estaciones de lisimetría o proyectos de investigación que requieren una gran cantidad de datos. Al igual que los modelos anteriores, cuenta con un panel solar y batería integrada, protección IP67 y acceso remoto a través de una plataforma web y una aplicación móvil.

Los sensores que se conectan a estos data loggers también son parte de la oferta de Qampo. Las estaciones climáticas de la empresa incluyen una serie de sensores específicos. El pluviómetro tiene una alta precisión, capaz de registrar hasta 0.2 mm de lluvia. El anemómetro de copa y la veleta direccional miden la velocidad del viento hasta 30 m/s y la orientación en 360°, con una precisión de 22.5°. El sensor de radiación solar tiene un rango de 0 a 1500 W/m², con una precisión de ±7.5 W/m², lo que permite calcular la evapotranspiración de manera fiable. Los sensores de suelo de Qampo, basados en tecnologías como FDR (Frequency Domain Reflectometry), miden el contenido de agua volumétrica, la temperatura y la conductividad eléctrica del suelo en un amplio rango, proporcionando información detallada sobre el estado hídrico y nutricional del terreno.

– **Integración y Valor Pedagógico de la Red Sensórica**

Todos los datos de los sensores de Viñalta se cargan en una plataforma web de gestión agronómica. Esta plataforma, con su interfaz intuitiva, permite la visualización en tiempo real de los datos, la generación de informes automáticos y la programación de alertas personalizadas. Los estudiantes pueden acceder a los datos desde la nube, correlacionando los parámetros edafoclimáticos con información geoespacial.

El valor pedagógico de esta red de sensores es inmenso. Los estudiantes realizarán prácticas en modelado de riego, aprendiendo a calcular la demanda hídrica de los cultivos en función de la evapotranspiración y los niveles de humedad del suelo. También podrán optimizar la fertilización, ajustando las dosis de nutrientes basándose en el análisis de la conductividad eléctrica del suelo. Además, la capacidad de generar alertas tempranas de estrés vegetal y de enfermedades permite a los alumnos comprender de manera práctica la importancia de la monitorización continua para una gestión proactiva.

En conclusión, la instalación de la red de sensores de Qampo en el CIFP de Viñalta es un paso fundamental en la digitalización de la formación agraria en Castilla y León. El proyecto convierte el centro en un espacio de aprendizaje dinámico y conectado, donde los estudiantes no solo aprenden a manejar la tecnología, sino que también desarrollan una comprensión profunda de las interacciones entre el cultivo y su entorno. Esta iniciativa, con su enfoque práctico y su potencial de réplica, asegura que la formación profesional agraria se mantenga a la vanguardia de la innovación, preparando a una nueva generación de profesionales capacitados para liderar el sector hacia un futuro más eficiente y sostenible.

5.1.4 Simuladores

La formación profesional, en especial en áreas tan prácticas como la agricultura y la gestión forestal, enfrenta el desafío de conciliar la enseñanza de habilidades técnicas complejas con la necesidad de garantizar la seguridad del alumnado y la eficiencia económica de los programas educativos. Los Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural de Castilla y León han abordado este reto a través de una inversión estratégica en tecnologías de simulación, lo que marca un antes y un después en la pedagogía de la formación agraria y forestal. Estos simuladores no solo replican entornos de trabajo reales, sino que también ofrecen un entorno seguro, controlado y económicamente viable para el desarrollo de competencias (Rodríguez Pech & Chan Chi, 2023).

La implementación de esta tecnología es el resultado de una cuidadosa planificación y colaboración con entidades clave. En el ámbito forestal, el proyecto se ha materializado gracias a la encomienda

de gestión a la Sociedad Pública de Infraestructuras y Medio Ambiente de Castilla y León (Somacyl). Este acuerdo ha permitido dotar a los tres CIFP forestales –Almazán (Soria), Almázcara (León) y Coca (Segovia)– con un simulador de maquinaria forestal de última generación. Este equipo reproduce la operatividad de cosechadoras, autocargadores y procesadores, herramientas esenciales en el sector. A través de este simulador, los alumnos que cursan ciclos como el de Grado Medio en Aprovechamiento y Conservación del Medio Natural o el de Grado Superior en Gestión Forestal y del Medio Natural, pueden adquirir y perfeccionar habilidades de manejo en un entorno virtual.

La instrucción en un simulador de maquinaria forestal ofrece ventajas invaluables. En primer lugar, la seguridad. Los estudiantes pueden enfrentarse a escenarios complejos y peligrosos, como la tala de árboles o la manipulación de cargas pesadas, sin el riesgo inherente a la maquinaria real. Esto reduce significativamente la probabilidad de accidentes y permite una curva de aprendizaje más rápida y menos estresante. En segundo lugar, permite una evaluación detallada de los tiempos de operación y una optimización de los procedimientos técnicos. El software del simulador registra métricas precisas sobre la eficiencia, el consumo de combustible virtual y la calidad del trabajo realizado, lo que permite a los instructores identificar áreas de mejora y proporcionar una retroalimentación personalizada. Este enfoque formativo, que se complementa con prácticas reales en campo con maquinaria facilitada por el Somacyl, asegura que los futuros profesionales no solo sean técnicamente competentes, sino también eficientes y conscientes de la seguridad en su trabajo diario.

Además de la maquinaria forestal, la Consejería ha llevado a cabo una licitación para la adquisición de tres simuladores de soldadura con RA para los CIFP agrarios. Esta inversión responde a la necesidad de que los técnicos agrarios adquieran destrezas en el mantenimiento y la reparación de maquinaria y aperos, donde la soldadura es una habilidad fundamental. El simulador, como el modelo Soldamatic, utiliza la RA para enseñar procesos de soldadura como MIG/MAG, TIG y electrodo. . Este tipo de tecnología presenta múltiples beneficios. La seguridad es, de nuevo, la principal ventaja, ya que elimina los riesgos de quemaduras, exposición a humos tóxicos o radiación. La herramienta reduce los costes de material, ya que no se consume metal, gas ni electrodos durante las prácticas, lo que hace que la formación sea económicamente más sostenible.

La implementación de este simulador de soldadura también tiene un profundo impacto social y formativo. Como se detalla en el expediente de contratación, esta tecnología permite que la ratio de alumnos por profesor sea más alta, ya que el docente puede supervisar el progreso de múltiples estudiantes de forma segura. Además, los simuladores de soldadura mejoran la accesibilidad formativa para el alumnado con necesidades especiales, ya que el entorno virtual puede adaptarse para compensar limitaciones físicas o cognitivas, garantizando una educación más inclusiva y

equitativa (CIPFP Canastell, 2023). La experiencia del alumnado se fortalece con informes de progreso, métricas de desempeño y rutas de mejora que se generan automáticamente, lo que alinea la formación con los estándares formativos europeos y aumenta las oportunidades laborales de los egresados (Junta de Castilla y León, 2025).

La interconexión de estos simuladores con un software de evaluación es una característica clave. Este software genera informes de progreso detallados, métricas de desempeño y planes de mejora individualizados para cada estudiante. Los datos recopilados permiten a los docentes realizar un seguimiento preciso de la evolución de las habilidades del alumnado, desde los tiempos de operación y la eficiencia en las maniobras hasta la calidad de las soldaduras. Esta información objetiva y cuantificable no solo facilita la evaluación, sino que también sirve como una herramienta de autoevaluación para los alumnos, permitiéndoles identificar sus puntos débiles y trabajar en su mejora de manera autónoma.

En conclusión, la implementación de simuladores en los CIFP de Castilla y León representa un salto cualitativo en la formación profesional agraria y forestal. La colaboración con entidades como el Somacyl y la Universidad de Valladolid ha permitido dotar a los centros de una tecnología que no solo reproduce las condiciones de trabajo reales, sino que también eleva los estándares de seguridad, optimiza los recursos y promueve una formación más inclusiva y rigurosa. Estos simuladores son, en esencia, la manifestación de un compromiso con una educación que prepara a los futuros profesionales para los desafíos técnicos y económicos del sector con las herramientas más avanzadas.

5.1.5 Agrobots

El sector agrícola se encuentra inmerso en una profunda transformación, impulsada por las crecientes demandas de un mercado cada vez más exigente. Los consumidores solicitan no solo una mayor cantidad de productos, sino también una calidad superior, precios más bajos y, sobre todo, una producción más sostenible (Agrotecnología, 2020). Este escenario, sumado a las nuevas exigencias sanitarias, ha impulsado al sector a buscar soluciones innovadoras que superen los procesos manuales y rudimentarios que han prevalecido durante décadas. En este contexto, la robótica agrícola se ha posicionado como una de las alternativas más prometedoras para enfrentar los retos actuales y futuros del sector primario.

La introducción de robots en la agricultura no es una mera cuestión de innovación, sino una respuesta directa a múltiples necesidades. Las tareas del campo son, por naturaleza, repetitivas, físicamente demandantes y a menudo tediosas, lo que las hace candidatas ideales para la automatización. Procesos como el laboreo, la siembra, el control de plagas y malas hierbas, y la

cosecha, pueden ser optimizados mediante la robótica, lo que proporciona a los agricultores una serie de ventajas significativas (Agrotecnología, 2020).

Una de las principales ventajas es el aumento de la productividad agrícola. La precisión y dedicación que ofrecen los robots, equipados con avanzados sistemas de posicionamiento global (GPS) y sensores, permiten una optimización de cada hectárea cultivada. Además, la automatización de tareas libera al agricultor para que pueda dedicarse a otras gestiones o labores que requieran una toma de decisiones más estratégica (Del Castillo Coba, 2021). La robótica también aborda la carencia de mano de obra, un problema crónico en el sector. Al reducir la dependencia del trabajo manual intensivo y, a menudo, riesgoso, los robots ofrecen una solución a la escasez de trabajadores.

La integración de la robótica también contribuye a la profesionalización del sector. La gestión y el mantenimiento de estas tecnologías requieren nuevas habilidades y conocimientos. Esto da lugar a la creación de nuevos puestos de trabajo especializados en soporte técnico y, a su vez, exige a los trabajadores agrícolas existentes adquirir nuevas competencias en el manejo y reparación de sistemas automatizados (Shkiliova, Fundora Piñeyro & Jarre Cedeño, 2017).

Otro beneficio crucial es el ahorro de insumos y la reducción del impacto ecológico. Los robots, al trabajar con gran cantidad de sensores, son capaces de analizar las necesidades nutricionales, hídricas o sanitarias de los cultivos de forma precisa y localizada. Esto permite ajustar las dosis de agroquímicos o de riego de manera inteligente, reduciendo el desperdicio de recursos y minimizando la contaminación del suelo y del agua. Esta capacidad de agricultura de precisión no solo mejora la eficiencia económica, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental del sector.

– **Tipos y Aplicaciones de los Robots Agrícolas**

La clasificación más extendida de los robots agrícolas se realiza en función del medio en el que trabajan. En este sentido, se distinguen dos categorías principales: robots terrestres y robots aéreos.

Los robots aéreos, más conocidos como drones, han experimentado un desarrollo exponencial en los últimos años. Equipados con cámaras de alta resolución y sensores, pueden capturar imágenes y datos de forma rápida y eficiente para evaluar el estado de los cultivos y del terreno. Su capacidad para volar a baja altura permite obtener mapas térmicos y de vegetación que ayudan a identificar necesidades específicas de cada porción del terreno, facilitando una toma de decisiones más informada. Las aplicaciones de los drones incluyen desde la monitorización de cosechas hasta la aplicación precisa y selectiva de herbicidas y pesticidas (Bejerano, 2021). Un ejemplo notable es el desarrollo de drones recolectores de fruta, como los que está desarrollando la empresa Tevel Aerobotics Technologies.

Por su parte, los robots agrícolas terrestres se caracterizan por su gran versatilidad, ya que pueden operar tanto en invernaderos como en campos abiertos. Las aplicaciones más comunes de estos robots son el laboreo, la fumigación, la recolección y el reconocimiento de terrenos. La robótica terrestre ha dado lugar a soluciones innovadoras para tareas específicas.

- Control de malezas: Existen robots que utilizan sistemas mecánicos, como el VITIROVER accionado por energía solar, o sistemas de visión artificial para distinguir entre cultivos y malas hierbas, como el robot Titan FT-35 de Farm Wise. Otras tecnologías emergentes incluyen el desherbado mediante descargas eléctricas o microdosis de herbicidas.
- Navegación en el campo: Robots como el PROSPERO actúan como micro-agricultores autónomos que siembran semillas con precisión, mientras que el MAGNUM es un tractor sin cabina que se controla de forma remota y puede percibir obstáculos para cambiar su ruta. El robot LADYBIRD es capaz de analizar los nutrientes de las plantas y detectar plagas, optimizando así el uso de insumos.
- Cosechado: Esta es una de las áreas de mayor desarrollo. Existen proyectos y robots en funcionamiento para la recolección de espárragos, manzanas, fresas y pimientos. Empresas como FF Robotics y Abundant Robotics han desarrollado plataformas de cosecha que simulan la mano humana con alta precisión, reduciendo los daños a la fruta y aumentando la eficiencia.
- Monitoreo y producción en invernadero: El proyecto europeo VineRobot, liderado por la Universidad de La Rioja, es un ejemplo de robot terrestre que analiza viñedos para proporcionar información detallada sobre el estado sanitario y de maduración. En el ámbito de los invernaderos, empresas como Iron Ox han creado granjas autónomas donde robots como Angus se encargan de todas las labores de cultivo en entornos hidropónicos.

– Conclusiones y Perspectivas de Futuro

El sector agroalimentario de Castilla y León, al igual que a nivel global, se enfrenta a una transformación impulsada por las exigencias de un mercado que demanda mayor cantidad, mejor calidad y, sobre todo, una producción más sostenible y con menor impacto ambiental (Agrotecnología, 2020). Este escenario, sumado a la necesidad de reducir la dependencia de la mano de obra manual y minimizar el contacto humano con los alimentos, ha abierto la puerta a la agricultura inteligente y, en particular, a la robótica agrícola. Si bien los Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural ya están inmersos en un proceso de modernización con la inclusión de tecnologías como tractores

inteligentes y drones, la integración de la robótica en la formación se perfila como el siguiente paso estratégico para asegurar la pertinencia y la excelencia de la educación.

La inclusión de robots agrícolas en los CIFP de la región ofrecería múltiples beneficios que se alinean directamente con los objetivos de la Consejería. En primer lugar, abordaría la escasez de mano de obra cualificada en el medio rural. La robótica no solo automatiza tareas repetitivas y físicamente demandantes, sino que también crea nuevos puestos de trabajo especializados en el mantenimiento, la reparación y la operación de estos equipos (Velasco Cruz, 2020). La formación en este campo prepararía a los estudiantes para roles de alta cualificación, contribuyendo a la profesionalización del sector y, en última instancia, a la fijación de población en el medio rural.

Además, el uso de robots en el entorno formativo permitiría a los estudiantes dominar las prácticas de la agricultura de precisión. Los robots, equipados con sensores y sistemas de visión, son capaces de analizar las necesidades específicas de cada planta o porción de terreno, lo que facilita el ahorro de insumos como agua y agroquímicos y la reducción del impacto ecológico. Al familiarizarse con estas tecnologías, los futuros profesionales aprenderían a optimizar la producción de manera sostenible, cumpliendo con las normativas medioambientales y las exigencias del mercado (Del Castillo Coba, 2021).

Aunque la inversión en robots terrestres para tareas como el desherbado mecánico o la siembra podría ser una consideración futura, el uso de drones, que ya se contempla en la modernización de los CIFP, representa la puerta de entrada a la robótica agrícola. Los drones, clasificados como robots aéreos, ofrecen la posibilidad de realizar un seguimiento detallado de los cultivos, evaluar daños, y aplicar tratamientos de manera precisa. Ampliar la formación en el manejo avanzado de estas tecnologías sentaría las bases para la futura integración de otros tipos de robots, preparando a los alumnos para un sector que, como demuestran las tendencias, se dirige inexorablemente hacia la automatización (Agrotecnología, 2020). En este sentido, la inversión en drones no es solo una mejora tecnológica, sino una inversión en el futuro de la robótica agrícola en la formación profesional de Castilla y León.

Aunque la robótica en la agricultura se encuentra mayormente en una fase de prototipo avanzado, su integración dentro de la agricultura de precisión está en constante crecimiento. Esta etapa puede entenderse dentro del marco del *Technology Readiness Level (TRL)*, una escala que mide el grado de madurez de una tecnología, donde los robots agrícolas se sitúan entre los niveles TRL 6 y TRL 7. Esto indica que ya existen prototipos funcionales que han sido probados en entornos reales o relevantes, pero aún no se han adoptado de forma masiva ni comercializado ampliamente. Los datos de la industria de maquinaria europea indican que entre el 70 % y el 80 % del equipamiento agrícola

vendido ya cuenta con tecnología de precisión. Sin embargo, la adopción de los robots sigue siendo lenta debido a diversas barreras como el coste, la formación técnica requerida y la adaptación a distintos tipos de cultivos.

Una de las principales preocupaciones es la reducción de la dependencia del factor humano, que, si bien es una ventaja en términos de productividad, podría llevar a la despoblación rural. Además, la implementación de robots exige un aumento de los niveles de seguridad en las explotaciones para evitar accidentes. También existe un potencial choque de paradigmas entre la agricultura tradicional-ecológica y la agricultura robotizada. A pesar de estas barreras, la evolución tecnológica y la creciente inversión de países como China, Estados Unidos y España indican que la integración completa de la robótica en la agricultura es solo cuestión de tiempo. El futuro del sector agrícola se perfila hacia una especialización y un desarrollo tecnológico que serán determinantes para la sostenibilidad y competitividad de las empresas

Aunque la inversión en robótica agrícola no ha sido directa en este periodo, los centros trabajan con modelos de agrobots experimentales en colaboración con universidades y centros tecnológicos. Se emplean unidades de demostración que realizan labores de deshierbe mecánico, siembra de precisión y reconocimiento de cultivos mediante visión artificial.

El uso de agrobots se integra como elemento conceptual en clases de automatización, programación agraria y robótica aplicada. El alumnado analiza la lógica de funcionamiento, sensores de navegación y protocolos de interacción con otras herramientas de campo. Se prevé ampliar esta dotación en futuras fases del proyecto.

5.1.6 Aplicaciones informáticas

La infraestructura tecnológica de vanguardia en los Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural de la Junta de Castilla y León no se sustenta únicamente en el hardware de campo. Su verdadera fuerza reside en la integración de un ecosistema de aplicaciones informáticas especializadas que actúan como el cerebro del proyecto, transformando los datos brutos en conocimiento aplicable y preparando al alumnado para la gestión digital del sector agrario. Esta estrategia formativa, conocida como Ciberagricultura, busca dotar a los futuros profesionales no solo de habilidades operativas, sino de competencias analíticas y de toma de decisiones basadas en la información, un pilar fundamental de la agricultura del siglo XXI (Rodríguez Pech & Chan Chi, 2023).

La formación en estas herramientas digitales ha sido un esfuerzo colaborativo y multidisciplinar. Todos los centros han recibido formación especializada, impartida por expertos de la Universidad de Valladolid y del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACyL). Este enfoque garantiza que

el profesorado y el alumnado accedan a un conocimiento de primera mano y a las últimas innovaciones en el ámbito de la investigación y el desarrollo agrario.

– **Software para el Análisis Geoespacial y la Planificación Agronómica**

Uno de los pilares de la formación en aplicaciones informáticas es el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La herramienta central en este campo es QGIS, un software de código abierto que se utiliza para la generación de mapas agronómicos, la zonificación de parcelas, el análisis de rendimiento de cultivos y la planificación de las labores de campo. Con QGIS, los estudiantes aprenden a procesar los datos de ubicación (GPS) y a superponer capas de información sobre el suelo, la topografía o el rendimiento histórico, lo que les permite identificar áreas problemáticas o de alto potencial en una explotación. Esta habilidad es crítica para la agricultura de precisión, ya que facilita la personalización de los tratamientos y la optimización de los recursos.

En cuanto al manejo de datos geoespaciales, la red tecnológica de los CIPF se complementa con software específico para el procesamiento de la información obtenida a través de drones y sensores. Este software permite la visualización y el análisis de las imágenes multiespectrales capturadas por los vehículos aéreos no tripulados (UAV) y de los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas. Los estudiantes aprenden a generar índices de vigor vegetativo (como el NDVI), a detectar estrés hídrico o nutricional, y a crear mapas de prescripción que se pueden cargar directamente en los tractores inteligentes para la aplicación variable de insumos.

La formación se enriquece con el uso de SATIVUM, una aplicación desarrollada por el ITACyL que proporciona acceso a un vasto conjunto de datos. SATIVUM integra imágenes de satélite, datos históricos de cultivos de la región, predicciones fenológicas (el ciclo de desarrollo de las plantas) y análisis de vigor vegetativo. Esta herramienta se convierte en un recurso invaluable para que los alumnos comprendan el comportamiento de los cultivos a lo largo del tiempo y tomen decisiones basadas en un historial de datos robusto y localmente relevante.

– **Software para la Gestión Forestal y Agraria**

Además de las herramientas geoespaciales, la formación incluye el uso de aplicaciones diseñadas para la gestión integrada de las explotaciones. En el ámbito forestal, el software SIMANFOR, desarrollado por la Universidad de Valladolid entre otras entidades, es una plataforma digital que permite a los estudiantes simular distintos escenarios de gestión forestal. Mediante esta herramienta, pueden analizar el impacto de diferentes tipos de podas, talas o tratamientos en la productividad y la sostenibilidad del bosque a largo plazo. SIMANFOR proporciona un entorno de

aprendizaje seguro donde se pueden experimentar las consecuencias de las decisiones de gestión sin incurrir en riesgos económicos o ecológicos.

Para la gestión de las explotaciones agrícolas, se emplean suites de gestión agraria líderes en el mercado, como Agroptima, FieldView y FarmTrace. Estas aplicaciones enseñan al alumnado la planificación de las actividades agrícolas, desde la siembra hasta la cosecha, la gestión de los cuadernos de campo de forma digital, el análisis de costes de producción y la simulación de decisiones empresariales. La capacitación en estas herramientas es fundamental para que los futuros agricultores no solo sean eficientes en el campo, sino también gestores competentes de sus explotaciones. El uso de estos programas prepara a los estudiantes para el mundo real, donde la rentabilidad y la sostenibilidad dependen de una gestión financiera y operativa rigurosa.

Un aspecto crucial de la red tecnológica es la vinculación de todo el software con los dispositivos de campo. Por ejemplo, los datos de rendimiento de los tractores se transfieren automáticamente a las aplicaciones de gestión, y los mapas de prescripción creados con QGIS o SATIVUM se cargan directamente en los equipos. Esta interconexión crea un entorno digital cohesionado y funcional donde el flujo de información es continuo y bidireccional. Este ecosistema digital permite que los alumnos comprendan el ciclo completo de la agricultura de precisión, desde la toma de datos en el campo hasta la toma de decisiones estratégicas en el aula.

En resumen, la inversión en aplicaciones informáticas en los CIFP de Castilla y León representa un paso decisivo hacia una formación que prepara a los estudiantes para ser profesionales del siglo XXI. El uso de herramientas como QGIS, SATIVUM, SIMANFOR, Agroptima, FieldView y FarmTrace les dota de competencias en el análisis de datos, la gestión digital y la planificación estratégica, convirtiendo los centros de formación en auténticos laboratorios de innovación agraria.

5.1.7 Análisis de alternativas y justificación de la elección tecnológica

La selección de las tecnologías que conforman la red tecnológica propuesta no ha sido arbitraria, sino el resultado de un proceso sistemático de análisis de alternativas, evaluación de prestaciones y toma de decisiones fundamentada en criterios técnicos, pedagógicos, económicos y estratégicos. Este proceso ha buscado garantizar que cada equipo o sistema adquirido responda de forma óptima a las necesidades detectadas en el diagnóstico tecnológico (apartado 3.4) y se alinee con los objetivos de modernización de la formación profesional agraria y forestal en Castilla y León.

5.1.7.1 Metodología de selección

Para cada categoría tecnológica se definieron especificaciones mínimas y deseables, considerando:

- Criterios técnicos: prestaciones, fiabilidad, compatibilidad con otros sistemas, escalabilidad y facilidad de mantenimiento.
- Criterios pedagógicos: adecuación a los objetivos formativos, facilidad de uso por alumnado y profesorado, seguridad en la operación y capacidad de generar datos para análisis didáctico.
- Criterios económicos: coste de adquisición y operación, disponibilidad de repuestos, licencias y soporte técnico.
- Criterios estratégicos: alineación con la Agricultura y Selvicultura 4.0, con la normativa vigente y con las líneas de innovación de la Junta de Castilla y León.

Se emplearon diferentes vías de adquisición:

- Convenios con fabricantes: ofreciendo la adhesión a todas las marcas representativas del mercado.
- Contratación pública abierta: con pliegos que recogían las especificaciones técnicas consensuadas.
- Selección consensuada: en el caso de tecnologías compartidas entre centros, con participación de equipos directivos y técnicos.
- Asesoramiento externo: de especialistas del ITACyL, Universidad de Valladolid y SOMACyL.

5.1.7.2 Análisis por tecnología

- Se ofreció la adhesión al convenio a todas las marcas representativas del mercado, garantizando la libre concurrencia. La elección final se basó en:
 - Compatibilidad con sistemas de guiado y agricultura de precisión.
 - Facilidad de integración con aperos inteligentes.
 - Fiabilidad y soporte posventa.
 - Condiciones económicas y de mantenimiento. El resultado fue un convenio con nueve casas comerciales, que permitió dotar a los centros de unidades modernas y homogéneas en prestaciones clave.
- Simulador forestal La selección se realizó de forma consensuada por los tres centros forestales (Almazán, Almázcara y Coca) y el SOMACyL. Se evaluaron varios modelos atendiendo a:
 - Realismo de la simulación (entorno gráfico, física de la máquina).
 - Métricas de evaluación del desempeño del alumno.

- Posibilidad de actualización de software y escenarios.
 - Soporte técnico y formación asociada. El modelo elegido ofrecía el mejor equilibrio entre realismo, capacidad de evaluación y coste total de propiedad.
- Drones: La adquisición se realizó mediante contratación abierta, con pliegos elaborados a partir de:
- Interés y necesidades recogidas entre el profesorado.
 - Asesoramiento técnico del ITACyL y la Universidad de Valladolid. Se definieron requisitos como autonomía mínima, capacidad de carga útil, compatibilidad con sensores multiespectrales y facilidad de uso en entornos docentes.
 - Se seleccionaron:
 - Ocho drones simples para entrenamiento en cada Centro.
 - Un dron multiespectral para prácticas de teledetección y análisis de cultivos.
 - Un dron de tratamiento para formación en aplicaciones localizadas.
- Red sensórica: El proceso siguió la misma lógica que en los drones: contratación abierta, especificaciones técnicas consensuadas con profesorado y asesoramiento externo. Los criterios incluyeron:
- Robustez y resistencia a condiciones de campo.
 - Tipos de sensores (humedad, temperatura, conductividad, etc.).
 - Conectividad y compatibilidad con plataformas de visualización y análisis.
 - Escalabilidad para ampliar la red en el futuro.
- Simulador de soldadura (Soldamatic): Se optó por este modelo tras un proceso de contratación pública, valorando:
- Realismo y precisión en la simulación de procesos de soldadura.
 - Capacidad de registrar y evaluar el desempeño.
 - Seguridad y reducción de consumibles en prácticas.
 - Soporte técnico y actualizaciones.
- Aplicaciones informáticas Dada la existencia de un importante desarrollo de aplicaciones libres por parte de organismos públicos (ITACyL con Sativum, Universidad de Valladolid con SIMANFOR, entre otras), se decidió:

- Priorizar el uso de estas herramientas por su coste cero, soporte institucional y adecuación a la docencia.
- Integrarlas en la formación para familiarizar al alumnado con plataformas de uso real en el sector.
- Mantener abierta la posibilidad de evaluar en el futuro soluciones comerciales de pago si aportan funcionalidades adicionales relevantes.

Por lo tanto la elección de cada tecnología ha respondido a un equilibrio entre calidad técnica, viabilidad económica, adecuación pedagógica y alineación estratégica.

El proceso ha garantizado la transparencia (mediante convenios abiertos y contratación pública), la pertinencia (con participación activa de profesorado y técnicos especializados) y la sostenibilidad (optando por soluciones escalables y con soporte garantizado).

Se entiende que de esta manera quedan justificadas las decisiones adoptadas estableciéndose un marco metodológico replicable para futuras incorporaciones tecnológicas en la red de CIPF agrarios y forestales de Castilla y León.

5.2 Integración de la Red Tecnológica

La integración de la red tecnológica en los Centros Integrados de Formación Profesional (CIPF) de Castilla y León representa un paso decisivo para consolidar un modelo formativo que combine el aprendizaje teórico con la aplicación práctica de tecnologías de vanguardia en el sector agrario. Este proceso no solo persigue mejorar la calidad de la enseñanza, sino también optimizar los procesos productivos y de gestión agrícola, alineándose con las demandas de sostenibilidad, eficiencia y digitalización que marcan la pauta en la agricultura contemporánea (Fogel et al., 2017).

En el contexto de la agricultura de precisión, la red tecnológica se configura como un sistema interconectado que integra sensores, maquinaria inteligente, plataformas digitales y sistemas de comunicación. Dichos elementos permiten capturar, procesar y analizar datos en tiempo real sobre parámetros edafoclimáticos, estado de los cultivos, consumo de insumos y rendimiento productivo (Envira, s. f.). Esta información constituye la base para la toma de decisiones más informadas y sostenibles, tanto en el entorno formativo como en explotaciones reales vinculadas a los centros.

La implementación de esta red implica coordinar diversos subsistemas:

- Infraestructura física: ubicación estratégica de dispositivos como estaciones meteorológicas, sensores de humedad, cámaras multiespectrales y controladores de riego, considerando cobertura de señal, acceso energético y condiciones de seguridad.

- Comunicación y transmisión de datos: uso combinado de tecnologías como LoRaWAN, Wi-Fi, 4G/5G o satelital, garantizando la continuidad y seguridad de la información transferida.
- Plataformas de gestión y visualización: integración de software especializado que centraliza los datos y ofrece interfaces adaptadas para docentes, alumnado y técnicos, facilitando la interpretación y uso pedagógico de la información.
- Interoperabilidad y estándares: empleo de protocolos abiertos (p. ej., ISOBUS, MQTT) que aseguren la compatibilidad entre equipos de diferentes fabricantes y la escalabilidad futura de la red.

Desde el punto de vista educativo, la red tecnológica ofrece un recurso excepcional para el aprendizaje basado en la práctica y en proyectos. Los estudiantes pueden participar en el montaje, calibración y mantenimiento de sistemas, así como en el análisis de datos obtenidos de entornos reales o simulados. Esto les permite adquirir competencias técnicas, digitales y analíticas, fundamentales para su futura inserción laboral (Rodríguez Pech & Chan Chi, 2023).

En términos de impacto sectorial, la integración de estas redes en los CIFP genera un efecto multiplicador. Por un lado, prepara a profesionales cualificados capaces de operar y gestionar tecnologías complejas. Por otro, actúa como catalizador para que las innovaciones tecnológicas se transfieran al tejido productivo agrario, especialmente en entornos rurales de Castilla y León, contribuyendo al desarrollo económico y a la cohesión territorial.

Asimismo, la red tecnológica facilita la conexión con iniciativas de investigación y desarrollo, así como con empresas proveedoras de soluciones agrícolas inteligentes. Esto abre la puerta a proyectos colaborativos y a la incorporación de avances como la IA, los GD o el análisis predictivo, que permitirán anticipar problemas y optimizar recursos.

En síntesis, la integración de la red tecnológica en los CIFP de Castilla y León no es un fin en sí mismo, sino una estrategia para modernizar la enseñanza agraria, impulsar la innovación aplicada y favorecer un modelo de agricultura sostenible, eficiente y socialmente responsable. Este enfoque sitúa a la formación profesional agraria en la vanguardia de la transformación digital del sector, reforzando su papel como motor de cambio y como garante de la competitividad futura.

5.2.1 Ubicación de los Equipos

La ubicación estratégica de los equipos constituye un factor determinante para garantizar la eficiencia y funcionalidad de la red tecnológica en los Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) de Castilla y León. En el contexto de la agricultura de precisión, la colocación óptima de sensores, estaciones meteorológicas, repetidores de señal, controladores y dispositivos de captación

de datos condiciona tanto la calidad de la información como la operatividad del sistema. Un emplazamiento inadecuado puede generar pérdidas de cobertura, errores en la toma de datos o interferencias, reduciendo así el valor pedagógico y productivo de la red (Envira, s. f.).

Para su correcta ubicación, es necesario considerar criterios técnicos, ambientales y pedagógicos. Desde la perspectiva técnica, la instalación debe maximizar la cobertura de comunicación, asegurando líneas de transmisión libres de obstáculos entre nodos y minimizando zonas de sombra. Esto implica evaluar la orografía, la vegetación, la distancia a puntos de acceso eléctrico y la conectividad con redes de datos como LoRaWAN, 4G/5G o Wi-Fi (Fogel et al., 2017).

En cuanto a las condiciones ambientales, resulta esencial garantizar que los equipos — especialmente los sensores agroclimáticos — se sitúen en lugares representativos del microclima y suelo que se desea monitorizar. Las estaciones meteorológicas, por ejemplo, deben colocarse en áreas abiertas, alejadas de edificios o masas arbóreas que distorsionen las mediciones de viento, radiación y temperatura. Los sensores de humedad de suelo, por su parte, han de instalarse en parcelas con cultivos representativos de la explotación o del programa docente, a diferentes profundidades y con protección contra daños mecánicos o faunísticos.

El criterio pedagógico demanda que parte del equipamiento esté ubicado de forma accesible para el alumnado, permitiendo su observación, manipulación y mantenimiento supervisado. Esto favorece el aprendizaje práctico de instalación, calibración y diagnóstico de averías. No obstante, para salvaguardar el correcto funcionamiento del sistema, los equipos críticos o de alta precisión deben emplazarse en zonas controladas, evitando manipulaciones no autorizadas.

La planificación de la ubicación debe realizarse a partir de un estudio previo del entorno que incluya:

- Análisis topográfico y de cobertura de señal, identificando posibles zonas de interferencia.
- Evaluación de accesibilidad, tanto para instalación como para mantenimiento periódico.
- Estudio de riesgos ambientales (inundaciones, heladas, exposición solar extrema) que puedan afectar a la vida útil de los dispositivos.

En los CIFP con explotaciones agrícolas de gran extensión, la solución óptima suele implicar la creación de mapas de ubicación georreferenciada de todos los nodos y equipos, integrados en un sistema de información geográfica (SIG) que permita su seguimiento y gestión. Este enfoque no solo optimiza la red tecnológica, sino que además aporta material formativo para prácticas de cartografía y gestión de datos espaciales.

En definitiva, la ubicación de los equipos no es un acto arbitrario, sino el resultado de un proceso metodológico que combina requisitos técnicos, exigencias de medición, criterios de seguridad y

oportunidades didácticas. Su correcta planificación y ejecución aseguran que la red tecnológica de los CIFP funcione como un laboratorio vivo para la formación en agricultura digital, alineado con las tendencias de sostenibilidad y eficiencia en el sector.

5.2.2 Montaje en el Campo

El **montaje en el campo** es la fase operativa en la que se materializa la planificación previa de la red tecnológica, llevando los equipos desde el entorno de laboratorio o almacén hasta su emplazamiento definitivo en las parcelas de ensayo o producción de los Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) de Castilla y León. Esta etapa no solo exige precisión técnica, sino también coordinación logística y un estricto cumplimiento de protocolos de seguridad y calidad, con el objetivo de garantizar la correcta instalación, calibración y funcionamiento de todos los dispositivos (Envira, s. f.).

El proceso comienza con la preparación de materiales y herramientas, que incluye la verificación de que todos los componentes (tractores, sensores, drones, estaciones meteorológicas, controladores, repetidores de señal, simuladores) están completos, actualizados en su firmware y libres de defectos. La documentación técnica de cada equipo debe revisarse previamente para ajustar la configuración a las condiciones de campo y a los objetivos pedagógicos definidos (Fogel et al., 2017).

Durante la instalación, la secuencia de montaje se desarrolla siguiendo un orden lógico que optimiza recursos y tiempos:

1. Despliegue de infraestructuras base, como mástiles, soportes o cajas técnicas, asegurando su fijación y resistencia a las condiciones climáticas locales.
2. Instalación de sensores y nodos de comunicación, priorizando su alineación y orientación para maximizar la precisión de las mediciones y la conectividad.
3. Conexiones eléctricas y energéticas, que pueden incluir acometidas fijas, paneles solares o baterías portátiles, dimensionadas según el consumo estimado y con protecciones frente a sobretensiones o descargas.
4. Enlace con la red de datos, verificando parámetros de señal, latencia y redundancia de la comunicación para evitar pérdidas de información.

El montaje requiere también la ejecución de calibraciones iniciales, que consisten en ajustar la respuesta de los sensores a valores de referencia medidos *in situ*. Por ejemplo, en estaciones meteorológicas se contrastan los termohigrómetros con instrumentos patrón, mientras que en sondas de humedad del suelo se realiza la correspondencia entre lecturas eléctricas y contenido gravimétrico real.

En el contexto docente, la fase de montaje se aprovecha para que el alumnado participe en prácticas supervisadas de ensamblaje, conexión, configuración y puesta en servicio de equipos. Esta experiencia fomenta habilidades técnicas y de trabajo en equipo, al tiempo que refuerza la comprensión de las especificaciones y normativas aplicables.

Es esencial contemplar la seguridad laboral y la prevención de riesgos durante el montaje, empleando equipos de protección individual (EPI) adecuados, señalizando áreas de trabajo y evitando la manipulación no autorizada de maquinaria o sistemas eléctricos.

Finalmente, cada instalación debe documentarse en un registro técnico que incluya fotografías, coordenadas geográficas, esquemas de conexión y ajustes iniciales. Este registro permitirá el seguimiento posterior, la resolución ágil de incidencias y la replicabilidad de buenas prácticas en futuras ampliaciones de la red.

En suma, el montaje en el campo de la red tecnológica es un proceso meticuloso que conecta la teoría con la práctica, asegurando que la infraestructura instalada cumpla los requisitos operativos y pedagógicos, y que sirva como plataforma para la innovación y la formación en agricultura de precisión en Castilla y León.

5.2.3 Pruebas y Puesta en Funcionamiento

La fase de pruebas y puesta en funcionamiento constituye el momento clave para verificar que la red tecnológica instalada en los Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) de Castilla y León cumple con los objetivos técnicos, operativos y pedagógicos establecidos. Tras la ubicación y el montaje en campo, esta etapa asegura que cada componente —sensores, sistemas de comunicación, maquinaria inteligente, estaciones meteorológicas, drones, agrobots y plataformas digitales— funciona de manera coordinada, fiable y segura (Envira, s. f.).

El proceso comienza con las pruebas de aceptación en fábrica (*Factory Acceptance Test, FAT*) y en sitio (*Site Acceptance Test, SAT*). Las FAT se realizan antes del envío, comprobando que los equipos cumplen las especificaciones de diseño y software. Las SAT, efectuadas en la instalación definitiva, verifican el rendimiento bajo condiciones reales de uso, evaluando aspectos como exactitud de mediciones, estabilidad de comunicaciones, autonomía energética y compatibilidad con el resto del sistema (Fogel et al., 2017).

Durante esta fase, se ejecutan protocolos de verificación funcional, que incluyen:

- Comprobación de calibraciones: contraste de los datos obtenidos por sensores (p. ej., humedad del suelo, temperatura, radiación solar) con instrumentos patrón.

- Ensayos de conectividad: medición de intensidad de señal, tiempos de respuesta y estabilidad en la transmisión de datos en distintos escenarios.
- Simulaciones operativas: uso controlado de maquinaria y drones para validar telemetría, navegación y sistemas de seguridad.
- Pruebas de integración: verificación del flujo de datos desde la captura hasta la visualización en plataformas y paneles de control.

Un elemento esencial es la verificación de la seguridad. Se comprueban sistemas de protección eléctrica, estabilidad mecánica y resguardo físico de componentes sensibles. En entornos formativos, se refuerzan las medidas de prevención de riesgos laborales para el alumnado, estableciendo protocolos de acceso y manipulación segura.

La puesta en funcionamiento implica activar todos los subsistemas de manera sincronizada y validarlos en una operación continua durante un periodo determinado. Esta “marcha blanca” permite detectar incidencias tempranas y ajustar parámetros operativos. También se generan informes técnicos de validación, que documentan resultados de las pruebas, incidencias detectadas y acciones correctivas.

En el plano pedagógico, esta fase se aprovecha para que los estudiantes participen en actividades de diagnóstico y resolución de problemas, desarrollando competencias en análisis de datos, mantenimiento y optimización de sistemas tecnológicos agrícolas.

Finalmente, una vez que el sistema ha superado todas las pruebas, se formaliza el acta de puesta en servicio, que certifica su operatividad y su integración en las actividades formativas y productivas de los CIFP. Este hito marca la transición de la red tecnológica desde un proyecto de instalación hacia un laboratorio vivo, preparado para la innovación, la enseñanza y la transferencia tecnológica al sector agrario.

5.2.4 Visualización de Datos

La visualización de datos es la interfaz viva entre la red tecnológica de los Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) de Castilla y León y sus usuarios —profesorado, alumnado y técnicos—. No se trata únicamente de “mostrar” información, sino de transformar datos complejos en conocimiento accionable, facilitando la toma de decisiones tanto en el plano operativo como formativo (Sastoque, Narváez & Garnica, 2016).

El objetivo principal es garantizar que la información procedente de sensores, drones, estaciones meteorológicas y sistemas automatizados se presente de forma clara, intuitiva y contextualizada. Esto requiere un diseño que integre principios de usabilidad, accesibilidad y estética de la

información, asegurando que incluso usuarios con distintos niveles de alfabetización digital puedan interpretar y actuar sobre los datos.

– **Elementos clave del sistema de visualización**

- Plataforma unificada: Paneles de control (*dashboards*) accesibles vía web y dispositivos móviles, integrando en tiempo real indicadores como humedad del suelo, temperatura, estado de cultivos o rendimiento energético.
- Representaciones gráficas dinámicas: Gráficos de líneas para series temporales, diagramas circulares para distribución de recursos y mapas de calor para georreferenciación de parámetros agronómicos.
- Alertas visuales: Sistemas de codificación por colores (verde, amarillo, rojo) y notificaciones contextuales para advertir sobre riesgos como heladas, estrés hídrico o fallos de maquinaria.
- Capas de información geoespacial: Integración con SIG para mostrar datos sobre mapas, permitiendo filtrar por parcela, tipo de cultivo o variable monitorizada.
- Compatibilidad multimodal: Adaptación de visualizaciones para entornos de formación presencial, plataformas e-learning y aplicaciones de RA en campo.

– **Flujo de procesamiento y visualización**

1. Recepción y preprocesado: Consolidación de datos procedentes de fuentes heterogéneas mediante protocolos estandarizados (p. ej., MQTT, API REST).
2. Normalización y validación: Conversión a formatos comunes y filtrado de anomalías o datos erróneos.
3. Renderizado interactivo: Uso de librerías especializadas (D3.js, Plotly) para generar representaciones dinámicas con posibilidad de interacción (zoom, filtrado, comparación histórica).
4. Distribución multicanal: Entrega de visualizaciones en plataformas de aula, aplicaciones móviles y sistemas de proyección en talleres y laboratorios.

– **Consideraciones pedagógicas**

En el contexto educativo, la visualización de datos no solo es un recurso de consulta, sino una herramienta didáctica. El alumnado puede:

- Analizar tendencias y correlacionar variables ambientales con resultados productivos.
- Identificar patrones que anticipen plagas o deficiencias nutricionales.

- Probar hipótesis y simular escenarios para optimización de recursos.

La incorporación de la visualización en la práctica docente fomenta el desarrollo de competencias digitales, pensamiento crítico y capacidad de análisis estadístico. Asimismo, permite que los estudiantes participen en la mejora continua de los sistemas, aportando retroalimentación sobre la claridad y utilidad de las representaciones.

– **Seguridad y accesibilidad**

Se implementan protocolos de control de acceso para proteger datos sensibles, así como herramientas de lectura fácil, contraste visual adaptado y compatibilidad con lectores de pantalla para garantizar la accesibilidad universal, siguiendo las pautas WCAG 2.1.

6 RESULTADOS

Se pretende exponer el contexto inicial para la futura interpretación de los resultados obtenidos en el despliegue de la red tecnológica en los Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) de Castilla y León.

Dado que el proyecto se encuentra en fase de implementación, la infraestructura instalada hasta la fecha está conformada únicamente por tractores de última generación y un simulador forestal, lo que condiciona el alcance de la evidencia empírica disponible. Esta circunstancia no limita la importancia del análisis preliminar: al contrario, permite establecer una línea base sobre la que evaluar, a medio y largo plazo, la efectividad global de la red.

En este estado inicial, la medición de resultados se orienta a comprender cómo los primeros equipos incorporados inciden en la calidad formativa, la adopción tecnológica y la generación de valor para el entorno. La introducción de tractores de última generación en un contexto educativo ha supuesto la posibilidad de replicar prácticas de campo bajo estándares de eficiencia, seguridad y precisión propios del sector agrario avanzado. Por su parte, el simulador forestal ha habilitado un entorno de entrenamiento controlado, que permite adquirir y reforzar competencias sin los riesgos ni costes asociados a la actividad en terreno real.

Metodológicamente, la evaluación se fundamenta en un enfoque mixto que combina datos cuantitativos (registros de uso, métricas de rendimiento, tiempos de operación, incidencias) con insumos cualitativos (observaciones de docentes, encuestas a estudiantes y percepciones del personal técnico). La triangulación de estas fuentes garantiza que la interpretación de resultados se apoye en una visión amplia y precisa de la situación actual (Hernández Sampieri, Fernández Collado & Baptista Lucio, 2014).

La relevancia de este análisis preliminar radica en que los equipos ya instalados cumplen una doble función:

- Como recursos de aprendizaje, contribuyen al desarrollo de competencias técnicas avanzadas, esenciales en el mercado laboral agroforestal.
- Como nodos tecnológicos de la futura red, actúan como referencia para la integración de nuevos dispositivos y sistemas, sirviendo de banco de pruebas para validar protocolos de uso, mantenimiento y seguridad.

Este primer estadio de implementación también ofrece información valiosa sobre la capacidad de adopción tecnológica de los centros, la eficiencia en la puesta en marcha de los equipos y el grado de implicación de los distintos actores del proceso formativo. Asimismo, permite anticipar ajustes

necesarios en infraestructura, formación del profesorado y estrategias de vinculación con el sector productivo.

En definitiva, esta introducción a los resultados busca situar al lector frente a un escenario realista y verificable, que refleje los avances tangibles alcanzados hasta la fecha y establezca un punto de referencia robusto para las evaluaciones futuras. La lectura que se propone debe entenderse como un análisis de un momento concreto dentro de un proceso dinámico, en el que los indicadores actuales se irán enriqueciendo con nuevas dimensiones a medida que la red tecnológica alcance su pleno funcionamiento.

6.1 Valoración económica

El análisis económico inicial de la red tecnológica en fase de implementación en los Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) de Castilla y León permite sentar las bases para evaluar su viabilidad, sostenibilidad y retorno esperado de la inversión. En esta etapa, los recursos desplegados incluyen una combinación de equipamiento de última generación, dispositivos de sensorización agrícola, sistemas de monitorización y simulación, así como inversiones en formación, soporte técnico y servicios asociados. Este inventario no solo refleja el coste monetario directo, sino también el compromiso institucional con la innovación y la mejora de la capacitación técnica en el sector agrario (Fogel et al., 2017).

Desde la perspectiva presupuestaria, la valoración debe contemplar tanto la adquisición de activos físicos como los costes recurrentes de operación y mantenimiento. La compra de un simulador de soldadura virtual, cuyo precio base de licitación con IVA asciende a 90.713,70 €, ha supuesto en este caso un gasto equivalente a un tercio del valor total, adaptado a las necesidades del proyecto. A ello se suma la adquisición de dispositivos específicos para agricultura de precisión, como medidores de radiación solar, paquetes de sensores de suelo para diferentes profundidades, monitores de riego, estaciones meteorológicas, pluviómetros, sistemas de humectación de hoja y una estación de lisimetría. Estos elementos son esenciales para la recopilación de datos fiables sobre parámetros ambientales, edáficos y de riego, permitiendo optimizar la gestión de recursos y mejorar el rendimiento productivo (Envira, s. f.).

La inversión no se limita a la compra de hardware: incluye también servicios técnicos clave, como instalación y configuración, formación especializada para el manejo de equipos y software de monitorización agronómica, soporte extendido y licencias. La suma de estas partidas alcanza un presupuesto de licitación de 17.612,76 € (IVA no incluido), con cargo a la correspondiente aplicación presupuestaria del ejercicio 2025.

En paralelo, el despliegue de tecnología vinculada a la formación forestal contempla partidas significativas como el alquiler de un simulador de maquinaria forestal, traslado y montaje, calibraciones, actualizaciones y jornadas formativas al profesorado. A esto se añade el uso de maquinaria forestal con maquinista, transporte, dietas y alojamiento del alumnado, lo que representa un coste anual total de 150.146,62 €, ajustado proporcionalmente a la duración del servicio en 2024 y 2027.

El plan financiero incorpora también la adquisición de drones para uso docente y operativo, diferenciando modelos sencillos (8 unidades) y un dron de inspección, con un presupuesto de 14.683,35 € (IVA incluido), así como un dron de tratamiento con un valor de 15.529,14 € (IVA incluido). Cada categoría de equipo responde a un segmento específico de la formación: la inspección aérea y la aplicación de tratamientos fitosanitarios de precisión.

Este marco económico refleja una estrategia de inversión diversificada, que distribuye los recursos entre equipos de alta especialización, soluciones de sensorización y monitorización, tecnologías de aplicación agrícola y forestal, y componentes formativos. A corto plazo, la correcta asignación de estos fondos permitirá generar las primeras métricas de rendimiento y uso, que servirán de referencia para fases posteriores de expansión tecnológica y evaluación de rentabilidad.

En términos globales, la valoración económica no solo cuantifica los costes, sino que ofrece una visión integral de cómo la dotación tecnológica —en su fase inicial— está configurando un ecosistema formativo y productivo alineado con las tendencias internacionales en agricultura y gestión forestal inteligentes. Este enfoque garantiza que cada euro invertido aporte valor medible a la capacitación, la innovación y la sostenibilidad del sector agroalimentario regional.

6.1.1 Dispositivos

Procedemos a valorar, con enfoque técnico, los dispositivos que conforman la red tecnológica prevista e iniciada en los Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) de Castilla y León. Se incluyen los equipos de captura y aplicación (sensores agroclimáticos y de suelo, estaciones y lisímetro), los sistemas de aplicación aérea (drones de docencia, inspección y tratamiento) y los simuladores didácticos, distinguiendo claramente los dispositivos físicos de los servicios asociados.

La red de dispositivos responde a tres objetivos esenciales:

1. Garantizar una medición fiable y representativa en campo mediante la red de sensorización.
2. Habilitar prácticas de alto valor y bajo riesgo mediante simuladores.
3. Desplegar capacidades operativas de agricultura de precisión a través de drones.

En términos formativos, estos activos se alinean con la adquisición de competencias instrumentales (configuración, calibración, operación) y analíticas (interpretación de datos), con métricas de uso que facilitan la evaluación de los resultados de aprendizaje y la mejora continua (Hernández, Fernández & Baptista, 2014; Fogel et al., 2017).

– **Maquinaria agrícola de última generación**

Uno de los pilares del proyecto es la incorporación de tractores modernos a los CIFP, con potencias comprendidas entre 130 y 180 CV y de diversas marcas líderes del sector (McCormick, Claas, Deutz, Fendt, New Holland, John Deere, Case, Massey Ferguson, Valtra). Esta diversidad ofrece al alumnado una formación versátil y representativa del mercado, además de permitir evaluar en entornos reales las prestaciones de diferentes configuraciones mecánicas y electrónicas.

La planificación de estancias por centro y periodo (otoño o primavera) permite rotar los equipos y optimizar su uso formativo, evitando paradas prolongadas y asegurando que cada centro disponga de un tractor adaptado a sus necesidades didácticas y productivas.

– **Sistemas de sensorización y monitorización**

Se han incorporado medidores de radiación solar, paquetes de sensores de humedad y temperatura de suelo a distintas profundidades, monitores de riego con contador, sondas de temperatura y humedad relativa exteriores (con protección y ventilación forzada), sensores de humectación foliar, pluviómetros de 0,2 mm y una estación de lisimetría *plug&play* con comunicaciones y energía autónoma. Este conjunto permite cerrar balances hídricos, estimar la evapotranspiración de referencia (ET0) y contrastar entradas y salidas en cada pulso de riego, aportando evidencia para optimizar insumos y rendimiento (Envira, s. f.).

– **Plataformas de simulación**

La red incluye un simulador de soldadura virtual (adquisición de un tercio del presupuesto base de licitación), orientado a la seguridad y a la reducción de consumibles, y un simulador de maquinaria forestal en régimen de alquiler, con servicios de traslado, montaje, calibración, formación y soporte técnico (Fogel et al., 2017). Ambos reproducen de forma realista las condiciones operativas de equipos complejos, facilitando un aprendizaje progresivo.

– **Sistemas aéreos no tripulados**

La dotación se completa con ocho drones sencillos para prácticas básicas, un dron de inspección para labores de teledetección y cartografía, y un dron de tratamiento para la aplicación de productos fitosanitarios de precisión. Estas plataformas acercan al alumnado a la tecnología más actual de la agricultura de precisión y a la operativa segura de aeronaves no tripuladas.

6.1.2 Infraestructura

La infraestructura del proyecto constituye la columna vertebral física y digital que permite la integración, el intercambio y la explotación de la información técnica generada en los distintos Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) de Castilla y León. Su diseño busca no solo garantizar la conectividad, sino también fomentar la cooperación y la transferencia de conocimiento entre centros, docentes, alumnado y agentes externos (Hernández Sampieri, Fernández Collado & Baptista Lucio, 2014; Fogel et al., 2017).

– **Objetivos**

- Interconexión segura: establecer una red digital que permita acceder a datos en tiempo real procedentes de sensores, simuladores y operaciones de campo (ISO, 2017).
- Colaboración técnica: habilitar el trabajo conjunto en proyectos y la generación compartida de informes, análisis y resultados experimentales (CIPFP Canastell, 2023).
- Optimización de recursos: facilitar la programación coordinada del uso de equipos y activos disponibles en la red (Fogel et al., 2017).
- Transferencia de conocimiento: centralizar materiales didácticos, protocolos y casos de uso en un repositorio común (Hernández Sampieri, Fernández Collado & Baptista Lucio, 2014).

– **Componentes clave**

- Centro de Datos Regional (CDR) Infraestructura centralizada con redundancia y sistemas de respaldo, destinada al almacenamiento, procesamiento y distribución de la información.
- Red de comunicaciones seguras Conexiones de alta velocidad en todos los centros y túneles VPN cifrados que garanticen la protección de datos sensibles y el acceso controlado.
- Plataforma colaborativa online Portal web y aplicación móvil para la consulta de datos, subida de informes, gestión de calendarios de uso de equipos y comunicación técnica (Hernández Sampieri, Fernández Collado & Baptista Lucio, 2014).
- Infraestructura de soporte local Salas técnicas con estaciones de trabajo, monitores de gran formato, puntos de acceso de alta capacidad y servidores locales para respaldo inmediato.
- Protocolos y estándares comunes Documentos técnicos para unificar procedimientos de captura de datos, calibración, mantenimiento y reporte, asegurando la comparabilidad y calidad de la información.

– **Impacto esperado**

La puesta en marcha de esta infraestructura permitirá consolidar una comunidad técnica intercentros con acceso equitativo a información y recursos, mejorar la trazabilidad de datos y resultados, impulsar la innovación educativa y construir una base de datos regional que respalde la toma de decisiones en colaboración con empresas y administraciones (CIPFP Canastell, 2023; Fogel et al., 2017).

6.1.3 Software

El componente de software es el elemento que posibilita la gestión, el análisis y el intercambio estructurado de datos dentro de la red tecnológica de los Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) de Castilla y León. Constituye la interfaz entre la infraestructura física y el usuario, asegurando que la información recogida por los dispositivos y sensórica pueda transformarse en conocimiento útil para la toma de decisiones, tanto en el ámbito formativo como en las prácticas profesionales.

En la situación actual de los Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) de Castilla y León, la dotación de software se ha orientado al uso de herramientas gratuitas o de libre acceso, sin que hasta la fecha se haya ejecutado inversión en licencias comerciales de pago. Esta estrategia ha permitido implementar soluciones básicas de gestión, sensorización y análisis de datos sin comprometer recursos económicos, aunque con limitaciones en cuanto a funcionalidades avanzadas, escalabilidad y soporte técnico (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

Aun así, la evolución tecnológica del sector agrario y forestal, unida a la progresiva integración de dispositivos en la red tecnológica, plantea la conveniencia de valorar inversiones futuras en software especializado, especialmente en aplicaciones que ofrezcan interoperabilidad plena, analítica avanzada, soporte multisensor y funcionalidades predictivas basadas en IA.

– **Funciones principales**

El software implantado debe dar soporte a las siguientes funciones esenciales:

- Adquisición y visualización de datos Integración en tiempo real de mediciones agroclimáticas, datos de operación de maquinaria y registros de simuladores. La plataforma debe permitir una visualización clara mediante paneles interactivos y gráficos dinámicos (Gómez, Hernández & Castro, 2022).
- Gestión de recursos y programación Agenda unificada para la reserva y uso de equipos intercentros, gestión de prácticas, mantenimiento preventivo y seguimiento de incidencias (Fogel et al., 2017).

- Procesamiento y análisis avanzado Herramientas de análisis estadístico, cálculo de indicadores y generación de informes automáticos. Incorporación de modelos predictivos para la optimización de riego, manejo de cultivos y mantenimiento de maquinaria.
- Comunicación y colaboración Espacios virtuales para intercambio de documentos, foros de discusión técnica y mensajería interna. Estos recursos fomentan la creación de comunidades de práctica y la transferencia de conocimiento (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

– **Requisitos técnicos**

El software debe cumplir estándares internacionales de interoperabilidad, seguridad y usabilidad:

- Interoperabilidad: compatibilidad con distintos formatos de datos y dispositivos para facilitar su integración en la red regional.
- Seguridad: autenticación robusta, cifrado de datos en tránsito y en reposo, y cumplimiento de la normativa vigente de protección de datos.
- Usabilidad: interfaces adaptadas a perfiles diversos (alumnado, docentes, personal técnico), con opciones multilingües y accesibilidad conforme a la norma UNE-EN 301 549.

– **Ejemplos de soluciones**

Entre las plataformas consideradas se incluyen aplicaciones web y móviles para seguimiento agronómico, como Qampo, que centraliza información sobre rendimiento vegetal, control de riego y estado climático, e integra IA para la detección temprana de riesgos y recomendaciones operativas. Asimismo, se contemplan entornos de simulación basados en software de realidad virtual y aumentada, así como herramientas de gestión académica para planificar y evaluar actividades prácticas.

– **Beneficios esperados**

La adopción de un ecosistema de software unificado permitirá:

- Mejorar la eficiencia operativa de la red tecnológica.
- Garantizar la trazabilidad de los datos desde la captura hasta el análisis.
- Facilitar la evaluación de competencias mediante métricas objetivas de uso y rendimiento.
- Impulsar la innovación educativa a través de la incorporación de tecnologías emergentes.

Este marco de software, combinado con la infraestructura y dispositivos descritos en apartados anteriores, configura un entorno formativo integral alineado con los principios de la agricultura de precisión, la formación técnica avanzada y la colaboración intercentros.

– **Aplicaciones actuales en agricultura**

En el mercado existen soluciones de referencia, muchas de ellas en modalidad freemium o con funcionalidades básicas gratuitas:

- Agroptima: gestión integral de explotaciones (planificación, registro de labores, control de maquinaria, personal y costes) (Khan, 2025).
- Agricolum: digitalización del cuaderno de campo y trazabilidad ajustada a la PAC.
- FieldView: análisis de datos de rendimiento mediante mapas de productividad y variabilidad dentro de cada parcela.
- CropX: integración de sensores de suelo y plataforma web para recomendaciones precisas de riego.
- Prismab: planificación de ciclos de riego con sensores y modelos climáticos.
- SATIVUM (ITACyL): monitorización satelital y recomendaciones de fertilización y riego (ITACyL, 2023).

– **Aplicaciones en el mundo forestal**

- EOS Forest Monitoring: seguimiento satelital de masas forestales, detección de cambios y evaluación de salud.
- Forest Metrix: inventario forestal y arboricultura en dispositivos móviles.
- TRACT: logística y control contable del flujo de madera.
- Qforestry: simulación y cubicación de madera para planificación.
- SIMANFOR: simulación de alternativas de gestión forestal con enfoque sostenible.

– **Aplicaciones en procesos agroindustriales**

- SIAGRO: modelado de procesos agroalimentarios para optimizar recursos.
- DWSIM / EMSO: simulación de procesos térmicos y químicos.
- Hispatec CampoGest: gestión integral de fincas y trazabilidad.
- Agroinnova: desarrollo de apps de trazabilidad y control de calidad.
- AINIA: IA generativa para nuevos alimentos y trazabilidad avanzada.

– **Aplicaciones en el ámbito agroambiental**

- Agroinformática FAO: datos geoespaciales y análisis para gestión sostenible.

- Agrawdata: gestión agrícola 360º con enfoque en sostenibilidad.
- Manna Irrigation Intelligence: planificación de riego sin sensores físicos.
- Agroclimática: predicciones meteorológicas y alertas agroclimáticas.

– **Aplicaciones en la enseñanza agraria**

- Agromática: metodología TIC y simulación para enseñanza agrícola.
- Soldamatic: simulador de soldadura en RA para FP técnica.
- LSyM: simuladores de maquinaria agrícola y forestal (Cutini et al., 2023).
- Plataforma Agroinformática FAO: formación en análisis geoespacial.
- Agricultura Digital CEPAL: recursos educativos en tecnologías 4.0.

– **Perspectivas de futuro**

La tendencia apunta a la Agricultura 5.0, integrando IA, IoT y GD para gestión integral de explotaciones (Chen et al., 2021), junto a educación personalizada, aplicaciones colaborativas, BDy blockchain para reforzar la trazabilidad y la sostenibilidad.

6.2 Análisis económico de la inversión prevista en la red tecnológica

La inversión prevista para la implantación de la red tecnológica en los Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) de Castilla y León debe evaluarse como un proyecto estratégico de modernización educativa que combina dotación de equipos, infraestructuras de comunicación, software especializado y servicios de formación y soporte. Su análisis económico contempla no solo la adquisición inicial de bienes y servicios, sino también su operación, mantenimiento y potenciales actualizaciones, con el fin de garantizar su sostenibilidad a medio y largo plazo (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

En términos de estructura de gasto, la planificación financiera se organiza en torno a varios ejes:

- Adquisición de dispositivos y maquinaria especializada: incluye tractores de última generación de distintas marcas y potencias, sistemas de sensorización agroclimática y de suelo, drones para docencia, inspección y tratamiento, simuladores de soldadura y de maquinaria forestal, así como otros dispositivos auxiliares. Estas inversiones representan un componente de alto impacto por su valor unitario y relevancia formativa (Fogel et al., 2017).
- Infraestructura física y digital: comprende la instalación de redes de comunicación seguras, un centro de datos regional para almacenamiento y distribución de información, y las adaptaciones en aulas técnicas, talleres y zonas de prácticas para albergar los nuevos equipos (ISO, 2017). Estas

actuaciones son esenciales para asegurar la interoperabilidad y el flujo eficiente de datos entre centros.

- Software y licencias: aunque en la fase inicial se ha optado por el uso de versiones gratuitas o de libre acceso, la previsión a medio plazo considera la adquisición de licencias de software especializado para gestión agronómica, simulación, análisis de datos y colaboración intercentros (Khan, 2025). La inversión en este capítulo dependerá de la evaluación de resultados obtenidos con las herramientas actuales y del valor añadido que aporten las funcionalidades premium.
- Servicios asociados y formación: incluye la instalación y configuración de equipos, formación técnica del personal docente y técnico, soporte especializado y mantenimiento preventivo. Estos costes son recurrentes y fundamentales para maximizar el aprovechamiento de la inversión material.

El modelo de financiación previsto combina anualidades distribuidas entre 2024 y 2027, lo que permite escalar la carga presupuestaria y acompañar el despliegue de la red con el ciclo formativo y las necesidades reales de los centros. Según la planificación, se contempla una concentración de inversiones en los años centrales (2025 y 2026), coincidiendo con la incorporación de mayor número de dispositivos y la consolidación de la infraestructura.

Desde una perspectiva de rentabilidad socioeducativa, el retorno de la inversión no debe medirse únicamente en términos monetarios, sino también en el impacto sobre la calidad de la formación, la empleabilidad de los titulados, la innovación en prácticas docentes y la transferencia tecnológica al sector agroalimentario y forestal (Plantae, s. f.). La puesta en marcha de una red interconectada de equipos y datos facilitará la creación de un ecosistema colaborativo que optimizará el uso de recursos y fomentará la investigación aplicada.

El análisis económico debe incorporar, además, una proyección de costes totales de propiedad (TCO) que considere:

- Depreciación y reposición de equipos.
- Costes energéticos asociados al funcionamiento de la red.
- Actualización de software y licencias.
- Formación continua.
- Posibles contingencias técnicas o regulatorias.

En síntesis, la inversión prevista en la red tecnológica se configura como una apuesta estratégica y escalonada, orientada a dotar a los CIFP de Castilla y León de un sistema robusto, flexible y alineado

con las tendencias de digitalización y sostenibilidad del sector agrario, asegurando un retorno que trasciende lo económico y repercute directamente en el desarrollo del capital humano.

A continuación, se presenta el desglose técnico, con tablas, cálculos y totales. Al final se incluye un cuadro de resumen global y una nota de conciliación de importes con las incidencias detectadas en los datos de origen.

El presupuesto se estructura en seis partidas principales que recogen la adquisición de equipos, servicios de instalación y formación, alquileres y compensaciones previstas en el marco del convenio. Se han considerado importes con IVA cuando así lo establece la normativa fiscal aplicable, indicando expresamente las condiciones en cada caso.

- **Partida 1.** Simulador de soldadura virtual.
- **Partida 2.** Red de sensorización agronómica y monitorización (cuadro conciliado al tope de licitación).
- **Partida 3.** Actividad formativa en maquinaria forestal, incluyendo alquiler de simuladores, maquinaria con maquinista y costes asociados al alumnado.
- **Partida 4.** Drones para docencia e inspección.
- **Partida 5.** Dron de tratamiento.
- **Partida 6.** Compensaciones a empresas titulares de marcas comerciales.

Partida 1. Simulador de soldadura virtual

Concepto	Ud.	Subtotal (IVA incl.)
Simulador de soldadura virtual	1	30.237,90 €

Partida 2. Red de sensorización agronómica y monitorización

Hardware y equipos

Concepto	Ud.	Total (IVA 21% incl.)
Accesorio/ítem auxiliar	1	85,00 €
Medidor radiación solar con soporte	2	538,00 €
Paquete 3 sensores de suelo (2 H + 1 T/H/CE)	2	2.159,00 €
Paquete 2 sensores de suelo (1 H + 1 T/H/CE)	2	1.922,00 €

Concepto	Ud.	Total (IVA 21% incl.)
Monitor de riego c/contador	4	256,00 €
Medidor T/HR exteriores c/soporte	1	131,00 €
Sonda T exterior c/protector y celda ventilada	4	2.000,00 €
Sensor humectación de hoja c/soporte	1	159,00 €
Pluviómetro c/soporte	1	179,00 €
Estación de lisimetría	1	3.146,00 €

Servicios asociados

Concepto	Ud.	Total (IVA 21% incl.)
Instalación, configuración y puesta en marcha	4	3.595,00 €
Formación (uso de equipos y software; análisis)	4	9.994,00 €
Soporte extendido y licencias (primer año)	4	5.257,00 €

2.3. Resumen económico (conciliado a importe máximo)

Descripción	Total (IVA incl.)
Hardware y equipos	11.233,34 €
Servicios asociados	6.379,41 €
TOTAL	17.612,76 €

Partida 3. Actividad formativa en maquinaria forestal (encomienda)

Alquiler simulador y formación

Descripción	Precio Ud.	Ud.	Importe anual
Mes simulador de maquinaria forestal	2.407,50 €	12	28.890,00 €
Traslado y montaje del simulador	365,35 €	4	1.461,40 €
Puesta en marcha y apoyo técnico	350,40 €	4	1.401,60 €
Actualización de software y calibración	250,00 €	1	250,00 €

Descripción	Precio Ud.	Ud.	Importe anual
Día de formación al profesorado	535,00 €	5	2.675,00 €

Alquiler de maquinaria con maquinista

Descripción	Precio Ud.	Ud.	Importe anual
Día de feller con maquinista	864,80 €	15	12.972,00 €
Día de giratoria-cizalla con maquinista	576,08 €	15	8.641,20 €
Día de autocargador con maquinista	681,92 €	15	10.228,80 €
Día de astilladora sobre camión con maquinista	2.434,40 €	15	36.516,00 €
Día de pala cargadora con maquinista	510,40 €	15	7.656,00 €
Km de transporte de maquinaria	1,55 €	2.500	3.875,00 €

Costes asociados al alumnado

Descripción	Precio Ud.	Ud.	Importe anual
Dieta comida mediodía estudiante	16,50 €	200	3.300,00 €
Dieta cena estudiante	16,50 €	200	3.300,00 €
Dieta media pensión estudiante	75,00 €	200	15.000,00 €
Día alquiler vehículo transporte escolar (12 plazas)	99,65 €	55	5.480,75 €

Resumen económico y anualidades

Concepto	Importe
Subtotal directo	141.647,75 €
Costes indirectos 6%	8.498,87 €
Total anual	150.146,62 €

Año	Importe previsto
2024	50.048,87 €
2025	150.146,62 €

Concepto	Importe
2026	150.146,62 €
2027	100.097,74 €

Partida 4. Drones para docencia e inspección

Concepto	Ud.	Total (IVA 21% incl.)
Drones sencillos	8	7.937,60 €
Dron de inspección	1	6.745,75 €
Total	—	14.683,35 €

Partida 5. Dron de tratamiento

Concepto	Ud.	Total (IVA 21% incl.)
Equipo de tratamiento	1	15.529,14 €

Partida 6. Compensación a empresas titulares de marcas comerciales

Año Importe máximo

2024	36.131,84 €
2025	107.682,74 €
2026	107.682,74 €
2027	107.682,74 €
Total	359.180,06 €

Resumen global por partidas

Partida	Total
1. Simulador de soldadura virtual	30.237,90 €
2. Red de sensorización y monitorización (cálculo de líneas)	35.610,30 €
2. Red de sensorización (importe comunicado licitación 2025)	17.612,76 €
3. Actividad formativa maquinaria forestal (anual)	150.146,62 €

Partida	Total
4. Drones docencia e inspección	14.683,35 €
5. Dron de tratamiento	15.529,14 €
6. Compensación a marcas comerciales (máximo)	359.180,06 €

6.3 Análisis del desarrollo formativo

El desarrollo formativo de la red tecnológica en los Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) de Castilla y León se encuentra en una fase inicial, con resultados tempranos vinculados principalmente a la implantación de tractores de última generación (130–180 CV) y al simulador de maquinaria forestal.

La estrategia adoptada prioriza el uso de software gratuito o de libre acceso, a la espera de valorar inversiones futuras en licencias comerciales si aportan interoperabilidad, analítica avanzada y soporte sostenido (Fogel et al., 2017).

El objetivo formativo combina competencias técnicas, analíticas y de seguridad, y se apoya en un modelo intercentros de intercambio de datos y conocimiento.

6.3.1 Enfoque y metodología de evaluación

La evaluación adopta un enfoque mixto con triangulación de fuentes y técnicas (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014):

- Línea base y comparativos: pruebas diagnósticas iniciales y postest por módulo.
- Evidencia objetiva: telemetría y registros de los tractores (horas, consumos, eventos de seguridad), logs del simulador (escenarios, intentos, tasa de aciertos/errores), y partes de prácticas.
- Rúbricas de desempeño: operación segura, preparación/enganche de aperos, maniobras, mantenimiento básico, lectura e interpretación de indicadores.
- Percepción del aprendizaje: encuestas de satisfacción y autoeficacia del alumnado y del profesorado.
- Trazabilidad intercentros: estandarización de formatos y repositorios compartidos para comparar resultados entre centros.

6.3.2 Resultados preliminares por componente

Tractores de última generación: la rotación estacional por CIPFP (otoño/primavera) amplía la exposición del alumnado a distintas marcas y configuraciones, favoreciendo la transferencia de aprendizaje y la versatilidad profesional.

Se observan mejoras en operación segura y en el manejo de sistemas electrónicos, así como un uso pedagógico de la telemetría para analizar prácticas y pautas de eficiencia (Plantae, s. f.).

Simulador de maquinaria forestal: el entrenamiento progresivo reduce el riesgo formativo, permite repetir maniobras críticas y acelera la adquisición de hábitos seguros. Los datos del simulador facilitan retroalimentación inmediata y personalización del entrenamiento; la evidencia sugiere buena transferencia al entorno real cuando se combinan escenarios con complejidad creciente y sesiones cortas de alta frecuencia (Cutini et al., 2023).

6.3.3 Desarrollo de competencias

Técnicas y operativas: preparación del puesto, chequeos de seguridad, operación de TDF/hidráulicos, lectura de parámetros, diagnosis básica, y maniobra en condiciones variables.

Analíticas y digitales: interpretación de datos agroclimáticos y de máquina, lectura de mapas/indicadores, uso de paneles de visualización, y fundamentos de toma de decisiones basados en evidencia (CIPFP Canastell, 2023).

Prevención y sostenibilidad: disminución de incidentes y de uso de consumibles (especialmente en simulación), mejora de la eficiencia operativa y de la gestión de insumos.

Transversales: trabajo en equipo, comunicación técnica y resolución de problemas complejos, integradas en prácticas colaborativas intercentros (Fogel et al., 2017).

6.3.4 Intercambio intercentros y software

Se ha consolidado un flujo básico de intercambio de materiales (rúbricas, guías, registros) utilizando herramientas gratuitas. Este enfoque facilita la adopción inicial y la estandarización de datos, aunque limita la analítica avanzada, la integración automática de sensórica y la seguridad empresarial. A corto plazo se prioriza:

- Estandarización de datos y protocolos: nomenclaturas, metadatos, control de versiones, y políticas de acceso para garantizar comparabilidad y calidad.
- Paneles docentes comunes: tableros compartidos con indicadores clave para seguimiento de cohortes.

- Criterios para eventual inversión en software: interoperabilidad (APIs abiertas), seguridad (cifrado, control de accesos), escalabilidad y coste total de propiedad, así como la evidencia de impacto en aprendizaje y eficiencia operativa (Fogel et al., 2017).

6.3.5 Indicadores clave y metas (12–24 meses)

- Exposición práctica:
 - . Horas de cabina por estudiante: objetivo ≥ 20 h/semestre en tractor; ≥ 10 h/semestre en simulador.
- Desempeño y seguridad:
 - . Reducción de incidentes formativos leves: -30% en 12 meses.
 - . Tasa de dominio en maniobras críticas (rúbrica nivel competente): $\geq 80\%$.
- Competencias digitales/analíticas:
 - . Lectura e interpretación de datos (prueba estandarizada): $\geq +20\%$ entre pretest y postest.
- Uso y eficiencia:
 - . Aprovechamiento de estancias por centro (ratio horas planificadas/realizadas): $\geq 85\%$.
- Intercambio intercentros:
 - . Contribuciones a repositorio común (documentos/protocolos validados): ≥ 5 /centro/año.
 - . Proyectos colaborativos intercentros activos: ≥ 2 por curso.
- Preparación para inversión en software:
 - . Pilotos de integración (sensores–paneles): ≥ 1 por centro.
 - . Evaluación comparativa de plataformas (matriz multicriterio): 1 informe regional.

6.3.6 Riesgos y mitigaciones

- Heterogeneidad de datos: se mitiga con plantillas y validación automática de formatos.
- Curva de aprendizaje docente: formación breve y recurrente, tutoría entre pares y comunidades de práctica (Hernández et al., 2014).
- Limitaciones de software gratuito: priorizar APIs abiertas y procedimientos reproducibles mientras se evalúan opciones comerciales con análisis de coste-beneficio.

En conjunto, el despliegue inicial de maquinaria y simulación está generando una base sólida para el aprendizaje experiencial y basado en datos, con un modelo intercentros que favorece la

comparabilidad y la mejora continua. La estandarización y el uso inteligente de herramientas gratuitas permiten avanzar sin comprometer la calidad, a la vez que se prepara una decisión informada sobre futuras inversiones en software especializado (CIPFP Canastell, 2023; Fogel et al., 2017).

6.4 Análisis del impacto social.

El despliegue formativo con maquinaria avanzada y simulación en los CIFP de Castilla y León tiene un potencial de impacto social amplio en territorios rurales: fortalece la empleabilidad, sostiene el relevo generacional y dignifica profesiones técnico-agrarias tradicionalmente invisibilizadas. En un contexto de despoblación y brecha digital, iniciativas que combinan competencias técnicas y analíticas contribuyen a fijar población, atraer talento joven y mejorar la resiliencia comunitaria frente a shocks económicos y climáticos (European Commission, 2021; OECD, 2019).

6.4.1 Dimensiones de impacto

- Empleabilidad y retención territorial: la cualificación en operación segura, mantenimiento y análisis de datos de maquinaria mejora la inserción laboral en cooperativas, servicios técnicos y pymes agroforestales, incrementando las probabilidades de empleo local y la creación de autoempleo en servicios de precisión (OECD, 2019; World Bank, 2017).
- Cohesión comunitaria y capital social: los vínculos entre centros, ayuntamientos y empresas fomentan redes de aprendizaje y apoyo mutuo; las prácticas y proyectos intercentros actúan como espacios de intercambio que refuerzan la identidad rural y la colaboración intergeneracional (UNESCO, 2015).
- Igualdad de género e inclusión: al integrar simulación (que reduce barreras de entrada y riesgos percibidos) y referentes femeninos, se habilitan trayectorias para mujeres y jóvenes alejados de perfiles agrarios tradicionales, cerrando brechas en acceso a formación técnica (FAO, 2011).
- Seguridad y cultura preventiva: la práctica en entornos controlados disminuye incidentes formativos y arraiga hábitos seguros que se trasladan a explotaciones y empresas locales, con efectos positivos en bienestar y productividad.
- Sostenibilidad y ciudadanía climática: el uso pedagógico de telemetría y datos agroclimáticos sensibiliza sobre uso eficiente de insumos, reducción de emisiones y gestión del riesgo, alineando competencias con las transiciones verde y digital (European Commission, 2021).
- Ecosistema de innovación: el acceso a datos, la estandarización y los pilotos con sensores abren oportunidades de microemprendimiento y transferencia tecnológica, fortaleciendo cadenas de valor locales de mantenimiento, retrofit y servicios de asesoría (World Bank, 2017).

6.4.2 Grupos de interés y beneficios

- Estudiantado: gana empleabilidad, autoestima profesional y capacidad para tomar decisiones basadas en evidencia, con itinerarios flexibles que permiten compatibilizar formación y trabajo estacional (OECD, 2019).
- Familias y comunidad: perciben mayor seguridad, prestigio y perspectivas económicas, lo que incentiva la permanencia en el territorio y reduce el coste social del abandono escolar.
- Empresas y cooperativas: acceden a talento formado en tecnologías aplicadas, reducen costes de inducción y mejoran la adopción de prácticas seguras y eficientes (World Bank, 2017).
- Administraciones locales: encuentran un aliado para políticas de fijación de población y diversificación económica mediante la formación profesional como palanca de desarrollo (European Commission, 2021).

6.4.3 Indicadores de resultado e impacto

- Inserción y retención: tasa de empleo a 6–12 meses; porcentaje de inserción en radio \leq 50 km; contratos de aprendiz y dual; continuidad en estudios superiores técnico-agrarios (OECD, 2019).
- Igualdad e inclusión: proporción de mujeres y jóvenes NEET matriculados; tasa de finalización por colectivos vulnerables; percepción de seguridad y autoeficacia en operación (FAO, 2011).
- Capital social y participación: número de convenios con pymes/cooperativas; proyectos de servicio a la comunidad; asistencia a jornadas de puertas abiertas y talleres intergeneracionales (UNESCO, 2015).
- Sostenibilidad y seguridad: incidentes formativos por 1.000 horas; mejoras en prácticas de eficiencia (p. ej., reducción de reprocesos en simulación); adopción de protocolos ambientales en proyectos.
- Innovación y emprendimiento: prototipos/pilotos validos; microcredenciales obtenidas; iniciativas emprendedoras incubadas; soluciones de datos compartidas con tejido local (World Bank, 2017).

Estos indicadores deben acompañarse de líneas base, metas anuales y desagregaciones por género, edad y vulnerabilidad para asegurar comparabilidad y equidad (UNESCO, 2015; OECD, 2019).

6.4.4 Riesgos sociales y mitigaciones

- Brecha digital y de acceso: riesgo de exclusión de quienes carecen de dispositivos, conectividad o transporte. Mitigación: préstamos de equipos, rutas de transporte escolar, aulas móviles y acuerdos con telecentros (European Commission, 2021).

- Reproducción de estereotipos de género: si la difusión reproduce roles tradicionales, se desincentiva la participación femenina. Mitigación: campañas con referentes, tutorías y metas de matrícula equilibrada (FAO, 2011).
- Captura de beneficios por pocos actores: sin gobernanza abierta, los aprendizajes pueden concentrarse en empresas con más capacidad. Mitigación: consorcios locales, licencias abiertas para materiales y prácticas compartidas.
- Privacidad y aceptación social del dato: la telemetría formativa requiere consentimiento informado, minimización de datos y transparencia sobre usos para evitar desconfianza. Mitigación: políticas claras, formación en ética digital y paneles de control con agregación y anonimización (OECD, 2019).

6.4.5 Alineamiento con agendas públicas

La propuesta se alinea con la visión europea de áreas rurales más fuertes, conectadas y resilientes para 2040, al impulsar competencias relevantes, conectividad funcional (datos, personas) y oportunidades económicas locales (European Commission, 2021).

También converge con los marcos de competencias para el aprendizaje a lo largo de la vida, al combinar saber técnico, digital y cívico, y con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 4 (educación de calidad) y 8 (trabajo decente y crecimiento económico) (UNESCO, 2015).

6.4.6 Proyección a medio plazo

Si se sostienen la estandarización de datos y las alianzas público-privadas, cabe esperar mayores tasas de inserción local, más emprendimientos de servicios técnicos y una mejora tangible en la seguridad y eficiencia de operaciones agroforestales. El retorno social se multiplicará cuando las cohortes formadas actúen como agentes de cambio en explotaciones, cooperativas y administraciones, generando una espiral de aprendizaje e innovación anclada en el territorio (OECD, 2019; World Bank, 2017).

7 CONCLUSIONES

La experiencia piloto desarrollada en los Centros Integrados de Formación Profesional (CIFP) de Castilla y León ha consolidado un modelo educativo innovador, basado en la práctica, el uso de datos y la orientación a resultados. Este enfoque responde directamente a los grandes desafíos del medio rural: mejorar la empleabilidad, garantizar la seguridad, fomentar la sostenibilidad e impulsar la inclusión social (Cutini et al., 2023).

7.1 Tecnología y aprendizaje: una combinación eficaz

La integración de maquinaria avanzada, simuladores y telemetría ha demostrado acelerar el aprendizaje, reducir riesgos y mejorar la calidad de la enseñanza.

Los centros participantes se posicionaron así en la vanguardia de la formación técnico-agraria regional y nacional siendo un modelo claramente replicable (Greig et al., 2024).

Además, el sistema de evaluación mixto —que combina pruebas iniciales, postest, rúbricas y evidencias objetivas— permite comparar resultados entre centros y avanzar hacia una mejora continua (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

7.2 Claves pedagógicas

Los estudiantes se esperan que muestren (en algunos casos así está ocurriendo como es el caso del simulador forestal y los tractores de última generación) mejoras claras en el manejo seguro de maquinaria, la interpretación de indicadores y el uso de sistemas electrónicos. El uso de simuladores con sesiones cortas y progresivas facilita la transferencia de habilidades al entorno real y la telemetría y los registros digitales permiten y permitirán una tutoría más proactiva, basada en datos, y apoyada en principios de calidad como la estandarización y el control de versiones.

Este modelo formativo no solo mejora las competencias técnicas, sino que también actúa como motor de desarrollo rural (OECD, 2019).

Promueve el relevo generacional, dignifica los oficios agrarios y facilita la participación de mujeres y jóvenes alejados de los perfiles tradicionales (FAO, 2011).

Además, fomenta una cultura preventiva en las explotaciones y refuerza la conciencia climática, alineándose con los objetivos europeos de transición verde y digital (European Commission, 2021).

7.3 Gobernanza y tecnología

El trabajo colaborativo entre centros ha demostrado que es posible compartir recursos y datos con herramientas accesibles. Para escalar el modelo, se propone una inversión selectiva en tecnologías

interoperables y seguras, así como la creación de un repositorio regional con políticas claras de acceso y control de versiones (Fogel et al., 2017).

Esto permitirá auditorías pedagógicas, investigación aplicada y transferencia tecnológica (ISO, 2017).

7.4 Riesgos y condiciones de éxito

Aunque existen riesgos como la brecha digital, la heterogeneidad de datos o la curva de aprendizaje docente, estos pueden gestionarse mediante formación continua, validación automática de plantillas, préstamos de dispositivos y protocolos de privacidad.

Una gobernanza inclusiva, con representación de centros, empresas, administraciones y alumnado, garantizará una distribución equitativa de los beneficios (Hernández et al., 2014; UNESCO, 2015).

7.5 Prioridades a corto plazo (12–24 meses)

- Consolidar estándares y trazabilidad entre centros (ISO, 2017).
- Fortalecer la formación docente en simulación, seguridad y análisis de datos (Hernández et al., 2014).
- Implementar paneles regionales con indicadores (aprendizaje, seguridad e inclusión) (CIPFP Canastell, 2023).
- Desarrollar pilotos tecnológicos con sensores y APIs (Fogel et al., 2017).
- Promover la equidad con metas específicas para mujeres y jóvenes NEET. (FAO, 2011).
- Buscar ampliar la vinculación con empresas locales y proyectos (OECD, 2019; World Bank, 2017).

7.6 Cierre: de piloto a política pública

La iniciativa se espera que supere su prueba de realidad (**ha demostrado funcionar en condiciones reales, fuera del laboratorio o del diseño teórico**). Para ello habrá de cumplir que:

- Hay evidencia de aprendizaje más rápido, seguro y relevante.
- Se establezca una red de centros que aprende con datos.
- Se crée una comunidad educativa que valora la profesionalización tecnológica de los oficios agrarios.

Cuando la formación ofrece un futuro tangible —trabajo digno, seguridad, propósito— las personas se quedan, emprenden y cuidan su tierra.

La continuidad del modelo, su estandarización y una inversión inteligente se espera que permita convertir este piloto en una política pública con alto retorno social, alineada con la visión europea de zonas rurales más fuertes, conectadas y resilientes. (European Commission, 2021).

8 REFERENCIAS

- AEF – Agricultural Industry Electronics Foundation. (s.f.). *Diagrama del sistema ISOBUS en tractores y aperos* [Imagen]. AEF ISOBUS Database. <https://www.aef-isobus-database.org>
- AEF. (s. f.). *Las funcionalidades de ISOBUS*. Agricultural Industry Electronics Foundation. https://www.aef-online.org/fileadmin/user_upload/Content/pdf
- Aerolaser System. (s. f.). *LiDAR forestal: Tecnología para la gestión de los bosques*. Recuperado el 5 de septiembre de 2025, de <https://aerolaser.es/lidar-forestal-tecnologia-para-la-gestion-de-los-bosques/>
- Agencia Digital de Andalucía. (2024). *IA revoluciona la agricultura sostenible con drones autónomos*. AlgoritmosVerdes.gob.es. . Recuperado de <https://algoritmosverdes.gob.es/es/noticias/ia-revoluciona-la-agricultura-sostenible-con-drones-autonomos>
- AgricolaStore. (2025). *El futuro de los tractores eléctricos*. <https://agricolastore.es/futuro-tractores-electricos/>
- Agricolus. (2024). *Sensores para la agricultura*. <https://www.agricolus.com/es/tecnologias/sensores-para-la-agricultura/>
- AgriExpo. (s. f.). *Cámara hiperespectral – Todos los fabricantes de la agricultura*. <https://www.agriexpo.online/es/fabricante-agricola/camara-hiperespectral-12387.html>
- AgroBot. (s. f.). *Agrobot strawberry harvesting robot*. <https://www.agrobot.com/>
- Agrobot. (s.f.). *Cosechadoras Serie E – Robótica avanzada para la recolección de fresas* [Imagen]. Agrobot. <https://www.agrobot.com/e-series?lang=es>
- Agrolatam. (mayo de 2024). *Inteligencia Artificial (IA) en la Agricultura: Impulsando Decisiones Agronómicas*. <https://www.agrolatam.com/tecnologia/inteligencia-artificial-ia-en-la-agricultura-impulsando-decisiones-agronomicas/>
- Agrolatam. (2025). *Tractores híbridos: potenciales beneficios, pero dudas sobre su desempeño en condiciones reales*. <https://www.agrolatam.com/maquinaria/tractores-hibridos-potenciales-beneficios-pero-dudas-sobre-su-desempeno-en-condiciones-reales>
- Agroptima. (2017, 29 de junio). *ISOBUS: Todo sobre los avances de conectividad entre máquinas*. <https://blog.agroptima.com/es/blog/isobus-avances-conectividad-maquinas/>

Agrotecnología. (2020). *Informe trimestral de octubre-diciembre 2020 del Programa PIDDE. Informe de tendencias 3: La robotización en el futuro de la industria agrícola* [PDF]. Recuperado de CTMETAL.

https://ctmetal.es/gestion/imagenes/noticias/8301_Informe%203%20Agrotecnologia.pdf

Agrozapiens. (s.f.). *El tractor agrícola: historia, tipos, funciones y su importancia en la agricultura moderna.* <https://agrozapiens.com/el-tractor-agricola-historia-tipos-funciones-y-su-importancia-en-la-agricultura-moderna/>

Agrozapiens. (s. f.). *Polinización con drones: Innovación tecnológica ante la crisis de los polinizadores.* Recuperado el 5 de septiembre de 2025, de <https://agrozapiens.com/polinizacion-con-drones-innovacion-tecnologica-ante-la-crisis-de-los-polinizadores/>

AINIA. (2023). *Tecnologías digitales que transforman el sector agroalimentario.* <https://www.ainia.com/ainia-news/tecnologias-digitales-transformando-sector-agroalimentario/>

Ajayi-Ore, L. (2022, 29 de julio). *A simple approach to using simulations in any classroom.* Harvard Business Publishing Education. <https://hbsp.harvard.edu/inspiring-minds/a-simple-approach-to-using-simulations-in-any-classroom>

Alonso, D. (2020). *Los 6 índices de vegetación para completar el NDVI.* MappingGIS. <https://mappinggis.com/2020/07/los-6-indices-de-vegetacion-para-completar-el-ndvi/>

Alsi Maquinaria. (2023). Innovación en robótica agroindustrial. <https://alsimaquinaria.com/innovacion-en-robotica-agroindustrial/>

Altrac. (2021). *El tractor eléctrico, un paso más hacia una agricultura sostenible.* <https://www.altrac.es/tractor-electrico-agricultura-sostenible/>

AnyLogic. (s. f.). *Multimethod Simulation Modeling Software.* <https://www.anylogic.com>

ARAG. (s. f.). *Equipos y terminales ISOBUS.* ARAG Group. <https://www.aragnet.com/ES/ARG/246/products/?PRD=110536>

Arrieta Cohen, M. C. (2022). *Guía práctica para evaluar el impacto social de programas y proyectos educativos basado en el retorno social de la inversión (SROI)* [Trabajo de maestría, Universidad EAFIT]. Repositorio EAFIT. <https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/85cdc907-5a22-48a8-b187-dbdd481dc031/content>

ASME & Roberson Museum. (2000). *The Link Flight Trainer – A Historic Mechanical Engineering Landmark*. Roberson Museum and Science Center. Recuperado de <https://web.mit.edu/digitalapollo/Documents/Chapter2/linktrainer.pdf>

Auravant. (s.f.). Índices de vegetación y su interpretación: NDVI, GNDVI, MSAVI2, NDRE y NDWI. <https://www.auravant.com/blog/agricultura-de-precision/indices-de-vegetacion-y-como-interpretarlos/>

Barreiro Elorza, P. (2021). *150 años de mecanización agroalimentaria en España*. Agronegocios. <https://www.agronegocios.es/wp-content/uploads/2021/06/150-a%C3%B3os-de-mecanizaci%C3%B3n-agroalimentaria-en-Espa%C3%A1a.pdf>

Bayer. (2022, 17 de febrero). *Bayer presenta sus avances en I+D para la industria agrícola*. Bayer España. <https://www.bayer.com/es/es/espana/bayer-presenta-avances-innovacion-en-agricultura>

BC Fertilis. (s. f.). *Maximizando la eficiencia agrícola: Fertilización y tratamientos con drones*. Recuperado el 5 de septiembre de 2025, de <https://bcfertilis.com/actualidad/maximizando-la-eficiencia-agricola-fertilizacion-y-tratamientos-con-drones/>

Bejerano, P. G. (2021). La agricultura empieza su robotización. <https://blogthinkbig.com/agricultura-empieza-robotizacion>

Berrocal, D. (2023, julio 17). *Ventajas de la topografía con drones LiDAR: Innovación y precisión en la era digital*. Grupo MATIC. Recuperado de <https://grupomatic.com/2023/07/17/ventajas-de-la-topografia-con-drones-lidar-innovacion-y-precision-en-la-era-digital/>

Bravo, F., Ordóñez, C., Vázquez-Veloso, A., & Michalakopoulos, S. (2025). *SIMANFOR cloud Decision Support System: Structure, content, and applications*. *Ecological Modelling*, 499, 110912. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2024.110912>

Burk, E., Han, H. S., Smidt, M., & Fox, B. (2024). *Incorporating simulators into a training curriculum for forestry equipment operators: A literature review*. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 45(1), 199–215. <https://experts.nau.edu/en/publications/incorporating-simulators-into-a-training-curriculum-for-forestry->

PortalFruticola.com. (2024, 27 de mayo). *Cómo se aplica la IA en la agricultura y algunos ejemplos*. PortalFruticola.com. . <https://www.portalfruticola.com/noticias/2024/05/27/como-se-aplica-la-ia-en-la-agricultura-y-algunos-ejemplos/>

- Caicedo-Rosero, L. C., Lara-Hernández, G., Morales-Almanza, K., & Flores-Cuautle, J. J. A. (2024). *Sensores electrónicos en la agricultura de precisión. Ideas en Ciencias de la Ingeniería*, 2(1), 4–16. Recuperado de <https://doi.org/10.36677/ideaseningenieria.v2i1.221>
- Calvo, A. (2017, 29 de junio). *ISOBUS: todo sobre los avances de conectividad entre máquinas*. Agróptima. <https://www.agroptima.com/es/blog/isobus-avances-conectividad-maquinasy/>
- Calvo, A. (2019, 6 de agosto). *Autoguiado para tractores: marcas, modelos y diferencias*. Agroptima. <https://blog.agroptima.com/es/blog/autoguiado-tractores-marcas-modelos-diferencias/>
- Campo Digital. (2023). *Los tractores de hidrógeno dan otro aire al campo*. <https://campodigital.es/los-tractores-de-hidrogeno-dan-otro-aire-al-campo/>
- Carrete-Marín, N., & Domingo-Peñaflor, L. (2023). *Transformación digital y educación abierta en la escuela rural*. *Prisma Social*, (41), artículo 5058. <https://revistaprismasocial.es/article/view/5058>
- castillayleonesdeporte.com. . (2022, 21 de junio). *El CIFP Viñalta abre el periodo de admisión*. <https://castillayleonesdeporte.com/el-cifp-vinalta-palencia-abre-el-periodo-de-admision/>
- Castillo Díaz, F. J., Blaas Nacle, A., & Laínez Andrés, M. (2025, 10 de enero). *La transformación digital en la agricultura española*. Plataforma Tierra. <https://www.plataformatierra.es/innovacion/transformacion-digital-agricultura-espanola>
- Castro Polanco, A. (2024). *La sinergia de la tecnología y la agronomía en la producción agrícola moderna*. Academia.edu. https://www.academia.edu/123417155/La_sinergia_de_la_tecnolog%C3%ADA_y_la_agron%C3%ADm%C3%ADA_en_la_producci%C3%B3n_agr%C3%ADcola_moderna
- Centro Integrado de Formación Profesional Almázcara. (s.f.). *Sitio web oficial*. Junta de Castilla y León. <https://cifpalmazcara.centros.educa.jcyl.es/sitio/>
- Centro Integrado de Formación Profesional Agraria de Ávila. (s.f.). *Historia del centro*. Junta de Castilla y León. https://cfaavila.centros.educa.jcyl.es/sitio/index.cgi?wid_seccion=16
- Centro Integrado de Formación Profesional "Escuela de Capacitación y Experiencias Agrarias de Segovia". (s.f.). *¿Dónde estamos?*. Junta de Castilla y León. https://cfasegovia.centros.educa.jcyl.es/sitio/index.cgi?wid_seccion=1&wid_item=2
- Centro Integrado de Formación Profesional Príncipe Felipe. (s.f.). *Sitio web oficial*. Junta de Castilla y León. https://cifpprincipiefelipe.centros.educa.jcyl.es/sitio/index.cgi?wid_seccion=30
- Cerea GPS. (2024). *Cerea GPS agrícola para autoguiado*. <https://cereagps.com/>

- Cerezo Rebe, C. (s. f.). *La comunicación entre el tractor y el apero gracias a la tecnología ISOBUS*. AgroTech Campus. <https://agrotechcampus.com/blog/la-comunicacion-tractor-y-el-apero-por-tecnologia-isobus/>
- Chatterjee, D., Sadhu, S., Mondal, D., & Kalindi, D. (2025). *Use of virtual reality simulation practices for farmers training*. *Madras Agricultural Journal*, 112(1–3), 74–84. Recuperado de https://masujournal.org/view_journal.php?id=540
- CHCNAV. (2025, 6 de junio). *ISOBUS en la agricultura de precisión*. <https://agriculture.chcnav.com/es/about/news/2025/what-is-isobus-in-precision-agriculture>
- Chen, J., Zhang, C., & Wang, L. (2021). *Digital twins in agriculture: A review*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 185, 106198. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/3499877>
- CIPFP Canastell. (2023, 23 de noviembre). *La realidad aumentada como herramienta inclusiva en formación profesional*. <https://portal.edu.gva.es/cipfpcanastell/2023/11/23/la-realidad-aumentada-como-herramienta-inclusiva-en-formacion-profesional/>
- Comisión Europea. (2021). *Horizonte Europa: Estrategia de investigación e innovación 2021–2030*. Bruselas. https://research-and-innovation.ec.europa.eu/strategy_en?prefLang=es
- CONtexto Ganadero. (2021, 22 de marzo). *Agricultura inteligente y tendencias agrícolas para el 2021*. <https://www.contextoganadero.com/reportaje/agricultura-inteligente-y-tendencias-agricolas-para-el-2021>
- Contreras, G. A., & Carreño, P. M. (2012). *Simuladores en el ámbito educativo: un recurso didáctico para la enseñanza*. *Revista de Tecnología Educativa*, 26(2), 45–58. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5038479.pdf>
- CRAISA. (s. f.). *Equipos de precisión RAVEN y TRIMBLE*. <https://www.craisa.com/pagina-principal/equipos-precision/>
- Cuadrado Coronel, S. L. (2022). *Aplicación de la tecnología IoT para la medición de variables meteorológicas en la agricultura sostenible* [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Digital EPN. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22946>
- Cutini, M., Bisaglia, C., Brambilla, M., Bragaglio, A., Pallottino, F., Assirelli, A., Romano, E., Montaghi, A., Leo, E., Pezzola, M., Maroni, C., & Menesatti, P. (2023). *A co-simulation virtual reality machinery simulator for advanced precision agriculture applications*. *Agriculture*, 13(8), 1603. <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/8/1603>

- Del Castillo Coba, M. (2021). *Propuestas de actuación para impulsar la formación profesional en el sector agroalimentario*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. <https://www.mapa.gob.es/dam/mapa/contenido/desarrollo-rural/formacion--congresos-y-jornadas/formacion-agro/estrategia/publicaciones/pdf/8informe-revista-agro.pdf>
- Delgado Martorell, S. (2023, mayo 5). *Sensores climáticos para la agricultura: 10 cosas que debes saber*. Prismab. <https://prismab.com/blog/sensores-climaticos-para-la-agricultura-10-cosas-que-debes-saber/>
- DJI. (s. f.). *Zenmuse L1 – Lidar + RGB Surveying Solution*. <https://www.dji.com/global/zenmuse-l1>
- DJI Agriculture. (s. f.). *Mavic 3M Multispectral*. DJI. <https://www.dji.com/mavic-3-multispectral> DJI Agriculture. (s. f.). *Drones agrícolas DJI: Series Agras y Matrice*. <https://ag.dji.com/es>
- DJI. (2024). *DJI Agras T40*. <https://www.dji.com/es/agras-t40>
- DJI. (2024). *Zenmuse L1*. <https://www.dji.com/es/zenmuse-l1>
- Ecorobotics. (s. f.). Ara: *Precision weed control robot*. <https://www.ecorobotics.com/>
- El Clarín. (2025, 2 de abril). *Agricultura 4.0: Cómo la inteligencia artificial y los datos están revolucionando las prácticas agrícolas en Chile*. El Clarín. <https://www.elclarin.cl/2025/04/02/agricultura-4-0-como-la-inteligencia-artificial-y-los-datos-estan-revolucionando-las-practicas-agricolas-en-chile/>
- El Drone. (2016). Historia de los drones. ElDrone.es. <http://eldrone.es/historia-de-los-drones/>
- El Español. (2024, junio 28). *Los drones que van a cambiar el campo: el revolucionario sistema para detectar plagas con una precisión del 97%*. Omicrono. Recuperado de https://www.elespanol.com/omicrono/tecnologia/20240628/drones-que-van-a-cambiar-el-campo-revolucionario-sistema-detectar-plagas-precision/862164251_0.html
- Entreculturas. (2024). *Educación rural: Entre el olvido y la reivindicación*. Entreculturas. <https://www.entreculturas.org/wp-content/uploads/2024/09/Educacion-rural-informe-rojo-2024-1.pdf>
- Envira. (s. f.). *Smart agro: Sensores IoT para la agricultura 4.0*. <https://envira.es/sectores/smart-agro/>
- Erickson, B., & Fausti, S. W. (2021). *The role of precision agriculture in food security*. *Agronomy Journal*, 113(6), 5035–5048. <https://doi.org/10.1002/agj2.20919>
- European Commission (2021). *A long-term vision for the EU's rural areas: Towards stronger, connected, resilient and prosperous rural areas by 2040*. Publications Office of the European

Union. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/b3b4f377-dadd-11eb-895a-01aa75ed71a1>

FAO. (2011). *The state of food and agriculture 2010–2011: Women in agriculture—Closing the gender gap for development*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/i2050e/i2050e.pdf>

FAO. (2020). *Sustainable Agriculture Practices*. Food and Agriculture Organization. [Sustainable agricultural practices and methods | FAO](https://www.fao.org/3/i2050e/i2050e.pdf)

FAO. (2023, 19 de octubre). *El papel fundamental de la inteligencia artificial y las herramientas digitales para lograr sistemas agroalimentarios resilientes al clima*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/newsroom/detail/world-food-forum--the-pivotal-role-of-artificial-intelligence-%28ai%29-and-digital-tools-in-making-agrifood-systems-climate-resilient/es>

FarmWise. (s. f.). *Titan FTX*. <https://www.farmwise.io/>

FlexSim Software Products, Inc. (s. f.). *FlexSim Simulation Software*. <https://www.flexsim.com>

Fogel, R., Benítez, J. Á., Enciso, M. Á., Paredes, R., Pereira, H., Valdez, S., Recalde, L., & Aguilar, J. (2017). *La transferencia de tecnología orientada a la Agricultura Familiar Campesina*. Centro de Estudios Rurales Interdisciplinarios (CERI). Recuperado de <https://hugopereiracardozo.org/wp-content/uploads/2022/08/27.12.17-Libro-Transferencia-de-Tecnologias.pdf>

Forestry Robotics. (s. f.). *Silvertip: Automated tree planting*. <https://www.forestryrobotics.com/>

Freeth, T., Higgon, D., Dacanalis, A., MacDonald, L., Georgakopoulou, M., & Wojcik, A. (2021). *A model of the cosmos in the ancient Greek Antikythera Mechanism*. *Scientific Reports*, 11, 5821. Recuperado de <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84310-w>

Gallardo-Cobos, R., & Sánchez-Zamora, P. (2024). *El papel de las nuevas tecnologías en la agricultura y el desarrollo rural*. Economistas sin Fronteras. Recuperado de <https://ecosfron.org/el-papel-de-las-nuevas-tecnologias-en-la-agricultura-y-el-desarrollo-rural/>

García, G. (2020, 18 de noviembre). *El tractor eléctrico del futuro: autónomo, modular y alimentado por hidrógeno y baterías*. Híbridos y Eléctricos. https://www.hibridosyelectricos.com/coches/tractor-electrico-futuro-autonomo-modular-alimentado-hidrogeno-baterias_40082_102.html

- García, J. L. (2023). *Uso de drones en agricultura de precisión: formación técnica y aplicaciones prácticas*. *Revista Iberoamericana de Tecnología Agraria*, 8(1), 22–37. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9786543>
- Garrido Sánchez-Cano, S. (2024, julio-agosto). *Drones agrícolas: La eficiencia llega por el aire*. *Revista Agricultura*, (1085), 6-10. <https://www.revistaagricultura.com/UploadedRevistasPdfs/revista-agricultura-1085.pdf>
- Geancar. (2025). *Las ventajas de los tractores eléctricos para el medio ambiente y el ahorro energético*. <https://www.geancar.es/tractores-electricos-ventajas/>
- GeoCue. (s. f.). *TrueView: Drone LiDAR + Imagery Sensors*. <https://geocue.com/sensors/drone-lidar/>
- GeoCue. (2024). *TrueView 410 LiDAR Sensor*. <https://geocue.com/trueview-410/>
- Geoinn. (2025, 5 de marzo). *Cámaras y sensores para agricultura de precisión*. <https://geoinn.com/agricultura-de-precision/camaras-y-sensores-para-agricultura-de-precision/>
- GeoMeter. (s.f.). *Esquema de posicionamiento GNSS RTK con estación base y receptores móviles* [Imagen]. gpsgeometer.com. . <https://gpsgeometer.com/es/catalog/gnss-rtk-base-stations>
- Gil Sierra, J. (2010). Los gases contaminantes de los tractores y las tecnologías desarrolladas para su reducción. *Vida Rural*, (306), 58-61. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_vrural/vrural_2010_306_58_61.pdf
- GPS Geometer. (2023, 26 de mayo). *¿Qué es GNSS RTK y cómo funciona?* [Imagen]. GPS Geometer. <https://gpsgeometer.com/es/blog/what-is-gnss-rtk-and-how-does-it-work>
- Greig, J. A., Colclasure, B., Rampold, S., Ruth, T., & Granberry, T. (2024). *Enhancing agricultural education through virtual reality: Facilitation, application, reflection, and measurement in the classroom*. *Advancements in Agricultural Development*, 5(2), 64–80. Recuperado de <https://agdevresearch.org/index.php/aad/article/view/353/283>
- Grupo Acre. (2024, 7 de agosto). *Análisis multiespectral con dron: Sensores Sentera 6X*. <https://grupoacre.es/analisis-multiespectral-con-dron-sensores-sentera-6x/>
- Guía Drones. (s. f.). *Los drones de las cámaras de imagen multiespectrales en la agricultura producen grandes beneficios*. Recuperado el 5 de septiembre de 2025, de <https://guiadrones.com/base-de-conocimiento/los-drones-de-las-camaras-de-imagen-multiespectrales-en-la-agricultura-producen-grandes-beneficios/>

Harvest CROO Robotics. (s. f.). *Autonomous strawberry harvesting.*

<https://www.harvestcroorobotics.com/>

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

https://www.paginaspersonales.unam.mx/app/webroot/files/981/Investigacion_sampieri_6_a_ED.pdf

Herranz Matey, I. (2024, 11 de abril). *Avances tecnológicos en control de emisiones en motores Diesel.* Tractores y Máquinas. <https://www.tractoresymaquinas.com/avances-tecnologicos-emisiones-de-motores-diesel-en-maquinaria/>

Herranz Matey, I. (2024). *Tractores diésel y su impacto en la transformación del campo.* Tractores y Máquinas <https://www.tractoresymaquinas.com/impacto-tractores-diesel>

Híbridos y Eléctricos. (2021, 8 de febrero). *El tractor eléctrico del futuro: autónomo, modular y alimentado por hidrógeno y baterías.* Híbridos y Eléctricos. https://www.hibridosyelectricos.com/coches/tractor-electrico-futuro-autonomo-modular-alimentado-hidrogeno-baterias_40082_102.html

Hylio. (s. f.). AgDrones: Autonomous Crop Spraying Systems. <https://www.hyl.io/>

Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). *Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices.* Remote Sensing of Environment, 83(1–2), 195–213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)

Huete, A. R. (1988). *A soil-adjusted vegetation index (SAVI).* Remote Sensing of Environment, 25(3), 295–309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)

IDC. (2024). *La historia de los drones: desde los inicios hasta la actualidad.* <https://idc.apddrones.com/educacion/la-historia-de-los-drones-desde-los-inicios-hasta-la-actualidad/>

IDC. (2024). *Los mejores drones para agricultura.* IDC. Recuperado de <https://idc.apddrones.com/drones/los-mejores-drones-para-agricultura/> ILO. (2020). *Global employment trends for youth 2020: Technology and the future of jobs.* International Labour Office. https://www.ilo.org/global/publications/books/WCMS_737648/lang--en/index.htm

Infoblog. (2024). *Guía completa: drones y su evolución tecnológica.* Infoblog UPM. Recuperado de <https://blogs.upm.es/infoblog/guia-completa-drones-y-su-evolucion-tecnologica/inteligenciaartificial.io>. (2025, 25 de junio). *Inteligencia artificial en agricultura de precisión.* <https://inteligenciaartificial.io/inteligencia-artificial-en-agricultura-de-precision/>

InfoRegión. (2025, julio 21). *Utilizarán drones para restaurar zonas degradadas por incendios forestales en la Amazonía*. Recuperado de <https://inforegion.pe/utilizaran-drones-para-restaurar-zonas-degradadas-por-incendios-forestales-en-la-amazonia/>

INTIA. (2023, 30 de noviembre). *El porcentaje de parcelas que aplican la tecnología de la dosificación variable es aún muy bajo*. Instituto Navarro de Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias. <https://www.intiasa.es/web/es/noticias/el-porcentaje-de-parcelas-que-aplican-la-tecnologia-de-la-dosificacion-variable-es-aun-muy>

International Organization for Standardization. (2017). *ISO 9001:2015 Quality management systems—Requirements*. ISO. <https://www.iso.org/standard/62085.html>

International Organization for Standardization. (2017). *ISO 15686-5: Buildings and constructed assets—Service life planning—Part 5: Life-cycle costing*. ISO. <https://www.iso.org/standard/61148.html>

ITACyL. (2023). *Plataforma SATIVUM*. Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León. <https://www.itacyl.es/agro-y-geo-tecnologia/herramientas-para-toma-de-decisiones/sativum>

Instituto Geofísico del Perú (IGP). (s. f.). Instrumentos meteorológicos utilizados en la estación automática del Observatorio de Huancayo. <https://www.igp.gob.pe/programas-de-investigacion/ciencias-de-la-atmosfera-e-hidrosfera/facilidad/microfisica/instrumentos>

Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León. (2025). *Dosificación variable – Agricultura de precisión*. ITACyL. <https://www.itacyl.es/agro-y-geo-tecnologia/agricultura-de-precision/dosificacion-variable>

IVES Technical Reviews. (2020, agosto). *Tractores de hidrógeno o de batería: ¿qué potencial para una viticultura sustentable?*. <https://ives-technicalreviews.eu/article/view/4381/13196>

Jacto. (2023). *Tecnología agropecuaria: innovaciones, aplicaciones y ventajas*. Jacto. <https://bloglatam.jacto.com/tecnologia-agropecuaria-2/>

John Deere. (s.f.). *TimberSkills Forestry Simulator* [Folleto]. <https://www.deere.es/es/maquinas-forestales/simuladores/>

John Deere. (s. f.). *Administración agrícola – Agricultura de precisión*. <https://www.deere.com.mx/es/agricultura-de-precision/administracion-agrícola/>

John Deere. (s.f.). *Autonomous tractor*. <https://www.deere.com/en/autonomous/>

John Deere. (s. f.). *Equipos forestales*. <https://www.deere.es/es-es/industrias/equipos-forestales>

John Deere. (s. f.). Simulador de Monitor y CommandARM™. <https://www.deere.com.br/pt/peças-e-serviços/manuais-e-treinamento/simuladores/display-and-command-arm-simulator/>

John Deere. (s. f.). Simuladores forestales. <https://www.deere.es/es-es/industrias/equipos-forestales/simuladores>

John Deere. (2025). *Tractor autónomo* John Deere. <https://www.deere.es/es/agricultura/tecnología/tractor-autonomo/>

Junta de Castilla y León. (s.f.). *La visita - Monasterio de Santa María de la Santa Espina.* <https://www.jcyl.es/jcyl/patrimonio-cultural/accesibleSantaEspina/la-visita.html>

Junta de Castilla y León. (s.f.). *Castle of Coca.* Portal de Turismo de Castilla y León. <https://www.turismocastillayleon.com/en/heritage-culture/castle-coca>

Junta de Castilla y León. (2023). *Plan Estratégico de Formación Profesional 2023–2027.* Recuperado de <https://www.educa.jcyl.es/fp/es>

Junta de Castilla y León. (2024). *Convenio entre la Administración de la Comunidad de Castilla y León y empresas del sector de maquinaria agrícola. Registro electrónico de instrumentos de cooperación.* Recuperado de <https://gobierno.jcyl.es/web/es/gobierno/registro-general-electronico-convenios.html>

Junta de Castilla y León. (2025). *Programa de Extensión Agraria Digital.* Dirección General de Formación Agraria. Recuperado de <https://comunicacion.jcyl.es/web/jcyl/Comunicacion/es/Plantilla100Detalle/1281372051501/NotaPrensa/1285512815725/Comunicacion>

Khan, A. (2025, 2 de mayo). *Top farming apps & software for efficient farm management (2025 edition).* Envirevo Agritech. <https://envirevoagritech.com/top-farm-management-software/>

Kaufman, Y. J., & Tanré, D. (1992). *Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS.* *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30(2), 261–270. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/134076>

Kuri, J. (2023, mayo 19). *Análisis multiespectral en la agricultura de precisión.* Geospectral. Recuperado de <https://geospectral.com.mx/blogs/agras-1/analisis-multiespectral-en-la-agricultura-de-precision>

Kushwaha, M., Singh, S., Singh, V., & Dwivedi, S. (2024). Precision farming: A review of methods, technologies, and future prospects. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 9(2), 1–12. [271JEAB-104202484-PrecisionFarming.pdf](https://www.semanticscholar.org/271JEAB-104202484-PrecisionFarming.pdf)

LaHistoria. (2024). *Historia de los Drones*. LaHistoria.info. . <https://lahistoria.info/historia-de-los-drones/>

Loraontech. (2025, 13 de marzo). *Sensores NPK en la agricultura*. <https://loraontech.es/sensores-npk-en-la-agricultura/>

Lytridis, C., & Pachidis, T. (2024). *Recent advances in agricultural robots for automated weeding*. *AgriEngineering*, 6(3), 3279–3296. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6030187>

Maher Electrónica. (2024). *Sensores para agricultura de precisión*. Recuperado de <https://www.maherelectronica.com/monitorizacion-sensores/sensores-agricultura-precision/>

MaquiNAC. (2024). ¿Qué son los tractores híbridos?. Recuperado de <https://maquinac.com/2024/11/que-son-los-tractores-hibridos/>

Martínez Ruiz, J. I. (2000). *La mecanización de la agricultura española: de la dependencia exterior a la producción nacional de maquinaria (1862–1932)*. Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/bitstreams/2b2035cb-d4f5-4c4c-bec6-4d6897baef4c/download>

MicaSense. (2022). *RedEdge-MX Multispectral Sensor*. MicaSense. <https://www.micasense.com/rededge-mx>

MicaSense. (2024). *MicaSense RedEdge-MX*. <https://micasense.com/rededge-mx/>

Microdrones. (s. f.). *mdMapper1000DG 3D industrial drone survey modeling equipment*. <https://www.microdrones.com/en/integrated-systems/easyone/mdiMapper1000dg-3d/>

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2024, diciembre). La transformación digital en la agricultura española. Observatorio de la Digitalización del Sector Agroalimentario. <https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/innovacion-medio-rural/digitalizacion/publicaciones>

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2024). *Plan de formación continua para técnicos del medio rural: Agricultura de precisión*. Madrid: MAPA. Recuperado de <https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/formacion/cursos/>

Monarch Tractor. (2024, abril 11). *Tractores eléctricos en la agricultura: 15 ventajas*. <https://www.monarchtractor.com/es/blog/electric-tractors-farming>

Montoro, J. (2015, 17 de julio). Adaptación de los tractores a los nuevos límites de emisiones. Campo Galego. <https://www.campogalego.es/adaptacion-de-los-tractores-a-los-nuevos-límites-de-emisiones/>

- Moyao-Calleja, G., Ramos-Bernal, R. N., Vázquez-Jiménez, R., Guinto-Herrera, E. R., & Nájera-Ramos, A. (2021). *Cálculo de índices de vegetación NDVI y SAVI a partir de imágenes multiespectrales obtenidas con un dron*. Academia Journals Morelia. https://www.researchgate.net/publication/351837842_Calculo_de_Indices_de_Vegetacion_NDVI_y_SAVI_a_Partir_de_Imagenes_Multiespectrales_Obtenidas_con_un_Dron
- Mundo Agropecuario. (2022, junio 17). *Cómo serán los tractores en el futuro: opinión de expertos*. Mundo Agropecuario. <https://mundoagropecuario.com/como-seran-los-tractores-en-el-futuro-opinion-de-expertos/>
- MundoGEO. (2024, abril 10). *Agricultura 5.0: cómo los Drones están marcando el futuro del sector*. MundoGEO. Recuperado de <https://mundogeo.com/es/2024/04/10/agricultura-5-0-como-los-drones-estan-marcando-el-futuro-del-sector/>
- Naïo Technologies. (s.f.). *Dino – Robot enjambeur para el desherbado mecánico de cultivos* [Imagen]. Naïo Technologies. <https://www.naio-technologies.com/dino/>
- Naïo Technologies. (s. f.). *OZ Robot*. <https://www.naio-technologies.com/en/oz-robot/>
- Naïo Technologies. (s. f.). *Robots for agriculture*. <https://www.naio-technologies.com/en/home/>
- Nanovel. (s.f.). *Robot autónomo de recolección de frutas* [Imagen]. Nanovel. <https://www.nanovel.com>
- NiubolTech. (2024). *Tipos de sensores agrícolas inteligentes*. <https://www.niuboltech.com/Product-knowledge/Smart-agricultural-sensor-types.html>
- O'Brien, P. K. (1977). *Agriculture and the Industrial Revolution. Essays in Bibliography and Criticism*, 77, 166–181. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/2595506>
- OdinS. (2025). *Sensores de suelo agrícolas: guía completa*. Recuperado de <https://odins.es/blog/sensores-de-suelo-agricolas/>
- OECD. (2019). *OECD skills strategy 2019: Skills to shape a better future*. OECD Recuperado de <https://doi.org/10.1787/9789264313835-en>
- Ordoñez Viñan, M. A., & Pérez Fiallos, J. F. (2020). *¿Existe un método de fumigación de cultivos amigable con el medio ambiente?* E-IDEA Journal of Engineering Science, 2(5), 61–73. Recuperado de <https://revista.estudioidea.org/ojs/index.php/esci/ar>
- Pajares Martinsanz, G., & González-de-Santos, P. (2014). *Tractores autónomos en agricultura de precisión*. Agrotécnica. Cuadernos de Agronomía y Tecnología, (3), 60–63.

https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Agrotec/Agrotec_2014_3_60_63.pdf

Paneque-Gálvez, J., McCall, M. K., Napoletano, B. M., Wich, S. A., & Koh, L. P. (2017). *Drones for forest monitoring and conservation: A review*. *Forest Ecology and Management*, 395, 113–120. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112717301470?via%3Dihub>

Parrot. (s. f.). *Anafi Work & Sequoia+*. Parrot. <https://www.parrot.com/global/drones/anafi-work>

Parrot. (2024). *Parrot Anafi Work*. Recuperado de <https://www.parrot.com/es/drones/anafi-work>

Pereira, J. L. G., & Souza, F. C. (2020). *Formación de técnicos agrícolas en Brasil y España: Proyectos de vida de la juventud rural*. *Revista de Economía y Sociología Rural*, 58(4), e202404. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2020.202404>

Pierce, F. J., & Nowak, P. (1999). *Aspects of precision agriculture*. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 12(3), 217–230. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1009587308037>.

Pino, E. V. (2019). *Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología*. *IDESIA (Chile)*, 37(1), 75–84. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019005000402>

Plantae. (s. f.). *Modelos predictivos con IA para optimizar el riego en cultivos como el olivar*. Recuperado el 5 de septiembre de 2025, de <https://plantae.garden/modelos-predictivos-con-ia-para-optimizar-el-riego-en-cultivos-como-el-olivar/>

Plataforma Tierra. (2023, mayo 25). *Blockchain: la clave de la trazabilidad alimentaria*. Recuperado de <https://www.plataformatierra.es/innovacion/blockchain-clave-trazabilidad-alimentaria>

Polowy, K., & Rutkowski, D. (2024). *Learning curves of harvester operators in a simulator environment*. *Forests*, 15(8), 1277. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/f15081277>

Pynnonen, V., Rummukainen, A., & Uusitalo, J. (2016). *Evaluating the effect of a full-scale forest machine simulator training on operator performance and learning*. *Forestry*, 89(4), 466–474. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpw008>

Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y. H., & Sorooshian, S. (1994). *A modified soil adjusted vegetation index (MSAVI)*. *Remote Sensing of Environment*, 48(2), 119–126. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90134-1](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90134-1).

Qilu Machinery. (s.f.). *El futuro de los tractores agrícolas: avances tecnológicos y tendencias*. Qilu Machinery. <https://qilumachinery.com/es/the-future-of-farm-tractors-tech-advancements-and-trends/>

Qampo. (s.f.). *Servicios para la agricultura de precisión*. <https://qampo.es/contacto>

Que.es. . (2025, junio 25). *3 Empresas que impulsan el futuro de la agricultura de precisión*. Que.es. . Recuperado de <https://www.que.es/2025/06/25/3-empresas-impulsan-futuro-agricultura-precision/>

Quiroz Valdez, J. Á., Almaraz Damián, J. A., & Ramos Díaz, E. (2024). *Transformación agrícola: implementación de un sistema de Monitoreo IoT para la gestión inteligente de cultivos*. Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI, Extra(12), 1–15. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10097432>

Raja, S. R., Subashini, B., & Selwin Prabu, R. (2024). *5G technology in smart farming and its applications*. En *Intelligent robots and drones for precision agriculture* (pp. 241–264). Recuperado de https://doi.org/10.1007/978-3-031-51195-0_12

Ramos González, J. C. (2024, 4 de octubre). *Tecnología y agricultura: Drones y sensores en el campo*. AgriNoticia. <https://www.agrinoticia.com/post/tecnolog%C3%ADa-y-agricultura-drones-y-sensores-en-el-campo>

RawData. (2024, 12 de marzo). *Agricultura de precisión: Los mejores GPS agrícolas del mercado*. <https://agrawdata.com/blog/gps-agricola/>

Remondino, M., & Zanin, A. (2022). *Logistics and agri-food: Digitization to increase competitive advantage and sustainability. Literature review and the case of Italy*. Sustainability, 14(2), 787. <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/2/787>

Repuestos Fuster. (2023). La evolución de la tecnología en tractores. Recuperado de <https://www.repuestosfuster.com/blog/la-evolucion-de-la-tecnologia-en-tractores/>

Repuestos Fuster. (2025, enero 30). *Tractores con inteligencia artificial: claves y futuro*. Repuestos Fuster. Recuperado de <https://www.repuestosfuster.com/blog/tractores-con-inteligencia-artificial-claves-y-futuro/>

Repuestos Fuster. (2025, enero 30). *Tractores con inteligencia artificial: claves y futuro*. Recuperado de <https://www.repuestosfuster.com/blog/tractores-con-inteligencia-artificial-claves-y-futuro/> Ortiz-Cañavate, J. (2010). *El sector de la maquinaria y mecanización agraria en España*. Universidad Politécnica de Madrid. https://oa.upm.es/8936/1/INVE_MEM_2010_83

Revista de Robots. (2023). *Los 5 mejores robots agrícolas para la agricultura 4.0*. Revista de Robots.

Recuperado de <https://revistaderobots.com/robots-y-robotica/ingenieria-robotica-agricola-4-0/>

RIEGL USA. (2020). *RIEGL miniVUX-1UAV Datasheet*.

https://products.rieglusa.com/Asset/RIEGL_miniVUX-1UAV_Datasheet_2020-03-31.pdf

Rika Sensor. (2024). Tipos de sensores en agricultura inteligente. Recuperado de <https://www.rikasensor.com/es/what-types-of-sensors-are-used-in-smart-agriculture.html>

Rinoagro. (s.f.). El futuro de la agricultura, el tractor de hidrógeno. Recuperado de <https://rinoagro.com/el-futuro-de-la-agricultura-el-tractor-de-hidrogeno/>

Robotics Plus. (s. f.). *Robo-Fruit™*. <https://www.robotsplus.co.nz>

Rockwell Automation. (s. f.). *Arena Simulation Software*. <https://www.rockwellautomation.com/es-mx/products/software/arena-simulation.html>

Rodríguez Pech, J., & Chan Chi, G. I. (2023). *Innovación educativa y formación del profesorado, una revisión estándar de literatura*. *Foro Educacional*, (40), 7–37. <https://doi.org/10.29344/07180772.40.3355>

Ros Pau, A. (2024, octubre 20). *Cómo desplegar enjambres de drones con alto nivel de autonomía utilizando Inteligencia Artificial*. defensa.com. Recuperado de <https://www.defensa.com/otan-y-europa/como-desplegar-enjambres-drones-alto-nivel-autonomia-utilizando>

Rose, D. C., & Chilvers, J. (2018). *Agriculture 4.0: Broadening responsible innovation in an era of smart farming*. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2, 87. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00087>

Royal Aeronautical Society – Flight Simulation Group. (s. f.). *History of flight simulation*. Recuperado el 5 de septiembre de 2025, de https://raes-fsg.org.uk/7/Simulation_History/

RPAS-Drones. (2024). *Análisis multiespectral con dron*. RPAS-Drones. Recuperado de <https://rpas-drones.com/analisis-multiespectral-con-dron/>

Ruiz, A. C., Bragós, R., & Pallas, R. (2009). Sensores inteligentes: una historia con futuro. *Universidad Politécnica de Catalunya*. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/9553/Article003.pdf>

- Ruiz García, L. (2023, 20 de febrero). *ISOBUS: ¿Qué es? ¿Cómo funciona? ¿Qué elementos tiene? Tractores y Máquinas.* <https://www.tractoresymaquinas.com/el-isobus-comunicacion-en-los-tractores/>
- Ruiz-Garcia, L., Lunadei, L., Barreiro, P., & Robla, J. I. (2009). Wireless sensor technologies and applications in agriculture and food industry. *Sensors*, 9(6), 4728–4750. <https://doi.org/10.3390/s90604728>
- Saiz-Rubio, V., & Rovira-Más, F. (2020). *From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management.* *Agronomy*, 10(2), 207. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020207>
- Saiz-Rubio, V., & Rovira-Más, F. (2020). From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management. *Agronomy*, 10(2), 207. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020207>
- Salcedo, C. (2024). *Innovación en el agro: cómo la IA y los robots transforman el futuro del campo.* AgriculTECA. Recuperado de <https://www.agriculTECA.com/articulos/innovacion-en-el-agro-como-la-ia-y-los-robots-transforman-el-futuro-del-campo>
- Saikanth, D. R. K., Supriya, Singh, B. V., Rai, A. K., Bana, S. R., Sachan, D. S., & Singh, B. (2023). *Advancing sustainable agriculture: A comprehensive review for optimizing food production and environmental conservation.* *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(16), 417–425 Recuperado de. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2023/v35i163169>
- Sastoque, S., Narváez, C., & Garnica, G. (2016). *Metodología para la construcción de interfaces gráficas centradas en el usuario.* *Nuevas Ideas en Informática Educativa*, 12, 314–324. Recuperado de <https://www.tise.cl/volumen12/TISE2016/314-324.pdf>
- Schneider Electric. (s. f.). *Sensor de calidad del aire, sensores SpaceLogic, serie SCD2, CO₂, salida analógica, COV.* <https://www.se.com/pe/es/product/SCD2XAXXVX/sensor-de-calidad-del-aire-sensores-spacelogic-serie-scd2-co2-salida-an%C3%A1loga-cov/>
- Sembrando México. (2025, 5 de febrero). *Drones y sensores en la agricultura: Cómo la tecnología está revolucionando el campo mexicano.* <https://sembrandomexico.com.mx/drones-y-sensores-en-la-agricultura-como-la-tecnologia-esta-revolucionando-el-campo-mexicano/>
- Sentera. (s. f.). *AGX710 Multispectral Sensor.* Sentera. <https://sentera.com/ags710>
- Sentera. (2024). *AGX710 Multispectral Sensor.* Sentera. Recuperado de <https://heliboss.cl/camara-drone-multiespectral/559-Camara-Sentera-AGX710.html>
- Sepúlveda Chávez, J. M. (2018). *Caracterización de una sonda TDR para monitoreo de humedad de suelo y su potencial utilidad en el manejo de sistemas de riego* [Tesis de pregrado,

Universidad de Concepción]. Repositorio UdeC. <https://repositorio.udc.cl/items/019d1c50-2e09-447f-a7d0-d2d7ffa27e07/full>

Shkiliova, L., Fundora Piñeyro, R., & Jarre Cedeño, C. (2017). *La mecanización en la intensificación sostenible de la producción agrícola. Revista Ingeniería Agrícola*, 7(2), 45–56. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6087637.pdf>

Shvets, Y., Morkovkin, D., Basova, M., Yashchenko, A., & Petrushevich, T. (2024). *Robotics in agriculture: Advanced technologies in livestock farming and crop cultivation. E3S Web of Conferences*, 480, 03024. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448003024>

Sparrow, R., & Howard, M. (2020). Robots in Agriculture: Prospects, impacts, ethics, and policy. *Precision Agriculture*. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09757-9>

Taishan Tractors. (2024, diciembre 8). *Tractores agrícolas inteligentes: la nueva era del campo*. Recuperado de <https://www.tractortaishan.com/tractores-agricolas-inteligentes-la-nueva-era-del-campo/>

Tecmundo. (s. f.). *Integración de drones XAG y tecnologías en la agricultura de precisión*. <https://tecmundo.com/blog/noticias-soluciones-tecnologicas-1/integracion-de-drones-xag-y-tecnologias-en-la-agricultura-de-precision-89>

TecnoAgro. (2024). *Maquinaria Agrícola Inteligente: Integración de Sensores y Tecnología IoT*. Revista TecnoAgro. Recuperado de <https://tecnologia.com.mx/2024/05/02/maquinaria-agricola-inteligente-integracion-de-sensores-y-tecnologia-iot/>

TecnoAgro. (2025). *Tractores eléctricos e híbridos: ¿El futuro de la maquinaria agrícola?*. Revista TecnoAgro. Recuperado de <https://tecnologia.com.mx/2025/05/02/tractores-electricos-e-hibridos-el-futuro-de-la-maquinaria-agricola/>

Tecnología innovadora septiembre de 2023). *Los avances en la robótica autónoma: ¿hasta dónde hemos llegado?* Tecnología Innovadora. <https://tecnologiainnovadora.net/robotica/los-avances-en-la-robotica-autonoma-hasta-donde-hemos-llegado/>

Topcon Positioning Systems. (s.f.). *Consolas y controles para agricultura de precisión*. <https://www.topconpositioning.com/es/es/solutions/technology/agriculture-products/consoles-and-controls>

Tovar-Quiroz, A. (2023). *Agricultura 4.0: uso de tecnologías de precisión y aplicación para pequeños productores*. *Informador Técnico*, 87(2), 195–211. <https://algoritmosverdes.gob.es/es/noticias/ia-revoluciona-la-agricultura-sostenible-con-drones-autonomos>

TrackitAgro. (2024). 10 sensores IoT en agricultura para control de procesos. Recuperado de <https://www.trackitagro.com/10-sensores-iot-en-agricultura-para-control-de-procesos/>

UNESCO. (2015). *Education 2030: Incheon Declaration and Framework for Action for the implementation of Sustainable Development Goal 4*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000245656>

Universal Robots. (2025). *Robots para agricultura y alimentación*. Universal Robots. Recuperado de <https://www.universal-robots.com/es/blog/robots-para-agricultura/>

Universitat Carlemany. (2023). *10 avances tecnológicos que contribuyen al medio ambiente*. Universitat Carlemany. Recuperado de <https://www.universitatcarlemany.com/actualidad/blog/avances-tecnologicos-medio-ambiente/>

Vallfirest. (s.f.). *Agrobot Dronster – Robot multifuncional para terrenos difíciles* [Imagen]. Vallfirest. <https://www.vallfirest.com>

Vallfirest. (s.f.). *Dronster: Robot forestal multifunción*. <https://www.vallfirest.com/dronster-desbrozadora-forestal>

Velasco Cruz, J. (2017). *El avance de la automatización en la agricultura*. Redagrícola. Recuperado de <https://redagrícola.com/el-avance-de-la-automatizacion-en-la-agricultura/>

Villablanca, A., Cajás, E., & Allende, M. (2015). *Uso e instalación de tensiómetros*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/3bf8fd22-e980-43f2-accc-7787e382b10a/content>

Yuan, Y., & Sun, Y. (2024). *Practices, challenges, and future of digital transformation in smallholder agriculture: Insights from a literature review*. *Agriculture*, 14(12), 2193. <https://doi.org/10.3390/agriculture14122193>

WeGrant. (2024). *Agricultura del futuro: innovación, desafíos y sostenibilidad*. Recuperado de <https://wegrant.com/agricultura-del-futuro-innovacion-desafios-y-sostenibilidad/>

Weifang Rex Agricultural Equipment Co., Ltd. (2024, 13 de diciembre). *Perspectivas para 2025: cinco fuerzas cambiantes en el mercado de tractores*. Rex Agriculture. Recuperado de <https://pt.rexagriculturemachine.com/company-news/2025-outlook-five.html>.

World Bank. (2017). *ICT in agriculture (updated edition): Connecting smallholders to knowledge, networks, and institutions*. Washington, DC: World Bank Group. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986>

World Bank. (1995). *Agriculture and environmental challenges: Proceedings of the Thirteenth Agricultural Sector Symposium*. Washington, DC: World Bank.
<https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/286171468765580716/agriculture-and-environmental-challenges-proceedings-of-the-thirteenth-agricultural-sector-symposium>

XAG. (s. f.). P100 Pro Agricultural Drone. <https://www.xa.com/en/p100pro>

9. ANEXOS



Junta de
Castilla y León

CLAAS

CASE IH
AGRICULTURE

VALTRA

FENDT

McCORMICK

**DEUTZ
FAHR**

MASSEY FERGUSON

NEW HOLLAND

JOHN DEERE

CONVENIO ENTRE LA ADMINISTRACIÓN DE LA COMUNIDAD DE CASTILLA Y LEÓN, A TRAVÉS DE LA CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y DESARROLLO RURAL Y LAS EMPRESAS TITULARES DE LAS MARCAS COMERCIALES JOHN DEERE, FENDT, MASSEY FERGUSON, VALTRA, CLAAS, NEW HOLLAND, CASE IH, MCCORMICK Y DEUTZ-FAHR, PARA ESTABLECER EL MARCO DE COLABORACIÓN ADECUADO PARA LA ÓPTIMA FORMACION EN EL USO DE EQUIPOS AGRICOLAS MODERNOS EN LOS CENTROS INTEGRADOS DE FORMACION PROFESIONAL, DEPENDIENTES DE LA CONSEJERÍA.

En Valladolid, a 27 de septiembre de 2024

REUNIDOS

De una parte, la Excmo. Sra. Dña. María González Corral, como Consejera de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural de la Junta de Castilla y León, nombrada por Acuerdo 13/2024, de 12 de julio, del Presidente de la Junta de Castilla y León, en el ejercicio de las atribuciones conferidas por los artículos 26.1.I de la Ley 3/2001, de 3 de julio, del Gobierno y de la Administración de la Comunidad de Castilla y León, así como por el Decreto 11/2022, de 5 de mayo, por el que se establece la estructura orgánica de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural.

De otra parte, D. Eduardo Martínez de Ubago, en calidad de Director de Negocio de John Deere Ibérica. S.A. y D. Julio Redondo Arias, en representación de la marca de tractores John Deere, actuando en calidad de Gerente de Formación y Servicio Postventa de John Deere Ibérica. S.A. con CIF A28061075, y domicilio en Ctra. de Toledo km 12.200, con código postal 28905 en Getafe, provincia de Madrid, debidamente autorizados, mancomunadamente, según el notario de Madrid Juan José de Palacio Rodríguez, por escritura 3855 de fecha 1 de junio de 2021.

De otra parte, D. Alfonso Sanz Villa, gerente de CONCESIONES AGRÍCOLAS SANZ Y PESQUERA, S.L. (SAPESA), con CIF B47041223 y domicilio en Polígono Industrial San Cristóbal, calle Turquesa, 39 (parcela 248), Valladolid, 47012, en representacion de la marca FENDT, por autorizacion de 19 de

septiembre de 2024, de D. Javier Seisdedos Andres, Director General de la empresa AGCO IBÉRICA con CIF A79293932, y domicilio en Vía de las dos Castillas 33, edificio Ática 7, con código postal 28240, Pozuelo de Alarcón provincia de Madrid, debidamente autorizado según el notario de Madrid, Pablo de la Esperanza Rodríguez con fecha de 11 de octubre de 2019

De otra parte, D. Javier Peral Andrés, gerente de BASILIO PERAL, S.L, con CIF B49106305 y domicilio en Carretera Benavente-Orense (N-620), KM 0,3, 49600 Benavente (Zamora), en representacion de la marca MASSEY FERGUSON, por autorizacion de 19 de septiembre de 2024, de D. Javier Seisdedos Andres, Director General de la empresa AGCO IBÉRICA con CIF A79293932, y domicilio en Vía de las dos Castillas 33, edificio Ática 7, con código postal 28240, Pozuelo de Alarcón provincia de Madrid, debidamente autorizado según el notario de Madrid, Pablo de la Esperanza Rodríguez con fecha de 11 de octubre de 2019.

De otra parte, D. José Marcelo Casares Antolín, gerente de TALLERES CASARES, S.L., con CIF B34158261 y domicilio en Calle Inglaterra, parcela 108, 34600 Palencia, en representacion de la marca VALTRA, por autorizacion de 19 de septiembre de 2024, de D. Javier Seisdedos Andres, Director General de la empresa AGCO IBÉRICA con CIF A79293932, y domicilio en Vía de las dos Castillas 33, edificio Ática 7, con código postal 28240, Pozuelo de Alarcón provincia de Madrid, debidamente autorizado según el notario de Madrid, Pablo de la Esperanza Rodríguez con fecha de 11 de octubre de 2019.

De otra parte, D. Cesar Zubiaga Bravo, en representación de la marca de tractores CLASS, actuando en calidad de administrador solidario de la empresa Zubiaga Rent, S.L con CIF B40276966, y domicilio en calle Pradillo 7, con código postal 40196, La Lastilla provincia de Segovia, debidamente autorizado acto según el notario de Segovia, Don Pablo García Toral, en escritura con fecha de 11 de enero de 2002.

De otra parte, D. Jose Gabriel Llopis Estévez, en representación de la marca de tractores New Holland y CASE IH, actuando en calidad de Director de marketing de la empresa CNH Industrial Maquinaria Spain, S.A. con CIF A28112084, y domicilio en Avenida de Aragón 402, con código postal 28022, provincia de Madrid, debidamente autorizado según el notario de Madrid D. Rafel Cervera Rodilla, con fecha de 9 de marzo de 2023.

De otra parte, D. Andres Moradas López, en representación de la marca de tractores McCormick, actuando en calidad de Director General/Administrador



Junta de
Castilla y León

CLAAS

CASE IH
AGRICULTURE

VALTRA

FENDT



McCORMICK



JOHN DEERE

de la empresa Agriargo Ibérica S.A. con CIF A63039846, y domicilio en Autovía de Castilla 142, Villamarciel, con código postal 47132, provincia de Valladolid, debidamente autorizado según el notario de Tordesillas Ana Mallado García, con fecha de 28 de agosto de 2017.

De otra parte, D. Manuel Alonso San Pablo, en representación de la marca de tractores Deutz-Fahr, actuando en calidad de Director General de la empresa Same Deutz Ibérica S.A. con CIF A28174555, y domicilio en Avda. Artesanos, 50, Tres Cantos, con código postal 28760, provincia de Madrid, debidamente autorizado según el notario de Madrid, Carlos Pérez Ramos, con fecha de 18 de febrero de 2016.

Los intervenientes, en la calidad que comparecen respectivamente, con competencia material y en uso de las facultades que tienen atribuidas, se reconocen mutua y recíprocamente la capacidad legal necesaria para establecer los términos de suscripción del presente convenio, y a tal efecto

MANIFIESTAN

I.- Que la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, en adelante Consejería, a través de la Dirección General de Desarrollo Rural, en virtud del artículo 9 i) del Decreto 11/2022, de 5 de mayo, por el que se establece la estructura orgánica de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, tiene competencia en materia de mejora de la cualificación de los profesionales del sector agrario y alimentario, tanto a través de los centros integrados de formación profesional de la Consejería, como de otras entidades relacionadas con el sector para la obtención de conocimientos y/o habilidades específicas que permitan el mejor aprovechamiento de las posibilidades de desarrollo rural.

II.- Que la Comunidad Autónoma de Castilla y León cuenta con ocho Centros Integrados de Formación Profesional en la rama agraria, en adelante CIFP, dependientes de la Consejería, de los cuales seis tienen orientación formativa agrícola. Dichos CIFP disponen de una base territorial de naturaleza rústica y de uso agrario que permite el desarrollo práctico de las actividades propias de los ciclos de formativos que imparten.

III.- Que los CIFP gestionan explotaciones agrarias destinadas a la formación de los alumnos. Para llevar a cabo las labores agrarias de los cultivos de esta base territorial, es necesario disponer de maquinaria, equipos y aperos, entre otros, que a su vez permitan impartir los conocimientos prácticos de las disciplinas educativas programadas como formación lectiva.

IV.- Que la formación profesional en la rama agraria actualmente requiere de una exigente capacitación en el manejo de máquinas eficientes, de bajo consumo y bajo índice de emisión de gases de efecto invernadero, con tecnologías de agricultura inteligente, como el software de SIG y GPS, la conectividad, la robótica, el uso de imágenes satélite o los sensores Big Data, o en su caso, propulsados con energías alternativas.

V.- Que existe cada vez con más intensidad en el mercado laboral una alta demanda de personal con formación en mecánica y digitalización y en la mejora de la eficiencia en el uso de esta clase de maquinaria en las explotaciones agrícolas, lo que a su vez determina que la propia formación requiera mayores niveles de cualificación o excelencia, que al mismo tiempo incremente las oportunidades de acceso al mercado laboral.

VI.- Que la formación en nuevas tecnologías, dentro de la formación reglada, permitirá lograr un sector agrícola más productivo, competitivo y eficiente, de manera que contribuya a mantener o incluso incrementar el número de profesionales en el sector agrícola.

VII.- Que las empresas titulares de las marcas comerciales que suscriben el presente convenio se encuentran firmemente comprometidas con el sector agrícola y apuestan por las innovaciones en los sistemas productivos actuales, en la medida en que está llevando al sector de la agricultura hacia mayores posibilidades de éxito. La conectividad, la robotización y la maquinaria moderna y eficiente hacen que los futuros profesionales del sector puedan conocer cómo aumentar su capacidad de trabajo, con procesos más eficientes y productivos, minimizando riesgos. Todo ello se consigue esencialmente mejorando la futura profesionalización desde el conocimiento efectivo y la formación cualificada en el uso de determinadas máquinas de última generación a futuros profesionales de la agricultura. Esto beneficiará también a estas marcas comerciales puesto que posibilitará la presencia de futuros clientes, con conocimiento suficiente para el manejo de los dispositivos avanzados, a la vez que pondrá en el mercado laboral, personal con capacidades suficientes para posibilitar una probable demanda laboral o, en su caso, facultar la realización de prácticas formativas para estos alumnos y así completar los conocimientos adquiridos en estas empresas.

VIII.- Que el aprendizaje esencial del funcionamiento de tales máquinas requerirá que técnicos especialistas de las empresas titulares de la propia marca, con conocimientos específicos y suficientes en las nuevas tecnologías aplicadas a sus productos, ofrezcan las nociones esenciales e instrucciones precisas para una operatividad adecuada al profesorado de los CIFP.

IX.- Que las empresas titulares de las marcas de maquinaria agrícola y forestal tienen déficit, en sus plantillas, de personal especializado que conozca, divulgue y transfiera su propia tecnología, mostrando interés en la posibilidad



Junta de
Castilla y León

CLAAS

CASE 
AGRICULTURE

VALTRA

FENDT


**DEUTZ
FAHR**


MASSEY FERGUSON


NEW HOLLAND


McCORMICK

JOHN DEERE

de formar alumnos de los CIFP e incorporarlos al mercado laboral a través de sus marcas.

X.- Que las partes firmantes pretenden desarrollar una colaboración efectiva para lograr la más óptima cualificación en el desarrollo y aprendizaje de las actividades formativas que se lleven a cabo durante los correspondientes períodos lectivos en los CIFP, especialmente de la formación que precise el empleo y conocimiento de maquinaria agrícola dotada de los últimos avances tecnológicos, lo que favorecerá a las empresas titulares de las marcas colaboradoras, al disponer de personal con conocimientos para su posible empleabilidad, lo que determina la necesidad de enmarcarla en un convenio que establezca las actuaciones y obligaciones de cada una de las partes que lo suscriben.

De conformidad con lo expuesto, y en el ejercicio de sus competencias, las partes reunidas acuerdan formalizar el presente convenio con arreglo a las siguientes.

CLÁUSULAS

PRIMERA.- Objeto

El presente convenio tiene por objeto establecer el marco de colaboración entre las partes firmantes, para contribuir al más adecuado desarrollo de las actividades formativas teórico-prácticas que resulten necesarias en el conocimiento del funcionamiento y manejo de maquinaria y equipos agrícolas dotados con los últimos avances tecnológicos, a llevar a cabo en los Centros Integrados de Formación Profesional, en adelante CIFP, dependientes de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural.

SEGUNDA.- Ámbito de aplicación del Convenio.

La realización de las actividades formativas que precise el desarrollo del objeto del convenio se llevará a cabo siempre en las instalaciones y explotaciones agrícolas de los CIFP y con los modelos de tractor (potencia) relacionados en el Anexo I, de acuerdo con la representatividad de las marcas en la región.

La formación se impartirá durante los períodos lectivos que corresponda a lo largo de la vigencia del convenio de acuerdo con el calendario previsto en el Anexo I, sirviendo de apoyo y complemento al programa formativo y a los módulos relacionados con la maquinaria y mecánica que se imparten en los CIFP.

TERCERA.- Obligaciones y actuaciones de las empresas titulares de las marcas comerciales.

Las empresas firmantes del convenio se comprometen, durante los periodos lectivos anuales correspondientes, a:

- Poner a disposición de los CIFP la maquinaria establecida en el Anexo I, durante los periodos señalados, y que se estipulan de acuerdo con la representatividad en el mercado de cada marca comercial, con la base del número de inscripciones en el Registro oficial de maquinaria agrícola (ROMA) de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural.
- La maquinaria establecida tendrá las características previstas en el Anexo I, y estará debidamente matriculada y con los permisos y seguros reglamentarios en vigor para su circulación y uso.
- Garantizar que la maquinaria empleada en las actividades cuenta con la última tecnología, se corresponde con los modelos más actuales del mercado y se acomoda a los más altos estándares exigibles.
- Proporcionar los aperos agrícolas necesarios (abonadora, sembradora o pulverizador) con la tecnología necesaria para su conectividad con el tractor (Isobus).
- Realizar el correcto mantenimiento y asegurar el funcionamiento de la maquinaria durante los periodos previstos en el Anexo I.
- Sustituir la maquinaria y los aperos que se hubiesen puesto a disposición del desarrollo de las actuaciones formativas, si aquellos sufrieran tal deterioro que hicieran inviable la formación con las exigencias de excelencia que exige el objeto del convenio.
- Reemplazar la maquinaria correspondiente si, durante la vigencia del convenio, aquella hubiese quedado obsoleta como consecuencia de avances tecnológicos existentes en el mercado que justifiquen tal necesidad de sustitución.
- Ofrecer las instrucciones esenciales a los profesores de los CIFP, a través de una persona -técnico de las respectivas marcas-, especializada en la formación en el uso de los elementos mecánicos, electrónicos y digitales de los equipamientos de la maquinaria, con el objetivo de mostrarles los aspectos del funcionamiento de la maquinaria y de las incidencias que puedan existir. Posteriormente, los docentes, con los conocimientos adquiridos sobre la maquinaria correspondiente, formarán al conjunto del alumnado. Dicho personal técnico no mantendrá ningún vínculo jurídico-laboral con la Consejería.
- Posibilitar la actividad en las explotaciones agrícolas de los CIFP, de acuerdo con el calendario que se establece como Anexo I, con los aperos y equipos correspondientes, o con aquellos compatibles que cuente la explotación de cada CIFP.



Junta de
Castilla y León

CLAAS

CASE IH
AGRICULTURE

VALTRA

FENDT

**DEUTZ
FAHR**

MASSEY FERGUSON

NEW HOLLAND

McCORMICK

JOHN DEERE

- Posibilitar la realización de prácticas a los alumnos de los ciclos formativos en empresas de las respectivas marcas comerciales y de acceder a contratos laborales relacionados con las enseñanzas impartidas.

CUARTA.- Obligaciones y actuaciones de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural.

La Consejería se compromete a:

- Poner a disposición de las empresas titulares de las marcas comerciales, durante los períodos lectivos, las instalaciones, medios y explotaciones agrícolas de los CIFP, necesarios para poder impartir la formación necesaria en el uso de la citada maquinaria, a sus profesores.
- Asegurar el correcto uso y resguardo de la maquinaria propiedad de las empresas titulares de las marcas comerciales, evitando su desperfecto más allá de lo que sea el desgaste propio de su uso normal.
- Asegurar la provisión de combustible necesario para el correcto funcionamiento de la maquinaria.
- Tener suscrito un seguro de responsabilidad civil que cubra los posibles perjuicios que pudieran producirse con ocasión de la realización de las actuaciones específicas derivadas de este Convenio.
- Compensar a las empresas titulares de las marcas comerciales con una aportación económica total máxima, de acuerdo con la distribución prevista en el Anexo II, por el valor de TRESCIENTOS CINCUENTA Y NUEVE MIL CIENTO OCIENTA EUROS CON SEIS CÉNTIMOS (359.180,06 €), con cargo a la estructura presupuestaria 0303.G.322C01.63300.0 de sus presupuestos anuales, para lo que se dispone de la previa retención de crédito, con la siguiente distribución presupuestaria máxima:

ANUALIDAD 2024: 36.131,84 €

ANUALIDAD 2025: 107.682,74 €

ANUALIDAD 2026: 107.682,74 €

ANUALIDAD 2027: 107.682,74 €

Tal aportación tiene por objeto cubrir:

- El deterioro propio que la maquinaria empleada en las actividades formativas va a sufrir como consecuencia del desarrollo de tales actividades, que determinará necesariamente su depreciación.
- Otros costes fijos (interés sobre el capital invertido, seguros e impuestos) y costes variables (lubricante, reparaciones y

(Firma)
mantenimiento).

- Poner en conocimiento de la correspondiente empresa titular de la marca comercial, en el caso de que así sea, que el deterioro manifiesto en la maquinaria empleada en las actividades formativas, hacen precisa su sustitución, presentando al efecto un informe del titular de la Dirección del CIFP.
- Ceder a las empresas titulares de las marcas comerciales los datos de contacto del profesorado y los alumnos de los CIFP, a efectos de la posible realización de prácticas profesionales y/o contrataciones futuras, sólo en el caso de que aquellos consientan tal cesión de información.
- Certificar, a través del titular del Servicio de Formación Agraria de la Dirección General de Desarrollo Rural, que en cada periodo de estancia se han llevado a cabo las actuaciones correspondientes por parte de las marcas comerciales, en los términos previstos en el presente convenio.
- Elaborar una memoria económica, también por el titular del Servicio de Formación Agraria de la Dirección General de Desarrollo Rural, para justificar la cuantía que corresponda abonar a cada empresa titular de la marca en sus periodos de estancia.

QUINTA. - Incumplimiento de obligaciones y compromisos de las partes.

(Firma)
En el caso de que cualquiera de las partes detecte y denuncie un eventual incumplimiento del clausulado del convenio por cualquiera otra, deberá solicitar la inmediata convocatoria de reunión de la Comisión de seguimiento, prevista en la cláusula sexta, que deberá reunirse con carácter de urgencia para deliberar sobre la cuestión planteada.

(Firma)
En el supuesto de no subsanar las diferencias entre las partes, se constatará el incumplimiento de las obligaciones y compromisos asumidos y se seguirá el procedimiento previsto en cláusula novena, con los efectos previstos en la cláusula décima.

SEXTA. - Comisión de seguimiento.

(Firma)
Para el seguimiento, vigilancia y control del correcto cumplimiento del convenio se constituye una Comisión que estará integrada por los siguientes miembros:

- En representación de la Consejería, el Director General de Desarrollo Rural o persona en quien delegue, que actuará como Presidente, el Jefe del Servicio de Formación Agraria o persona en quien delegue y un técnico facultativo de la Consejería.
- En representación de las empresas titulares de las marcas comerciales, un miembro por cada una de ellas, designado por los firmantes del Convenio.



Junta de
Castilla y León

CLAAS

CASE IH
AGRICULTURE

VALTRA

FENDT



McCORMICK

DEUTZ FAHR

JOHN DEERE

Actuará como Secretario de la Comisión mixta un funcionario de la Consejería, designado por el Presidente de la Comisión, quien actuará con voz pero sin voto.

Esta Comisión se reunirá siempre que lo solicite una de las partes y adoptará sus acuerdos por mayoría de sus integrantes; en caso de igualdad prevalecerá el voto de calidad de quien ejerza la Presidencia.

La Comisión de Seguimiento, cuando existan causas que lo justifiquen, podrá acordar la redistribución y la disponibilidad de la maquinaria con arreglo al calendario y los CIFP, siempre de acuerdo con los términos del clausulado el presente convenio y sin necesidad de su modificación expresa.

SÉPTIMA.- Modificación del convenio y posible adhesión.

El presente convenio podrá ser modificado por acuerdo unánime de las partes y mediante la firma de la oportuna adenda.

La posible adhesión al convenio de otras marcas de maquinaria que hubiesen manifestado interés en suscribirlo determinaría asimismo su modificación mediante la correspondiente adenda, incluyendo a la marca correspondiente como parte interveniente.

OCTAVA.- Duración del Convenio.

El presente convenio producirá efectos desde su firma y su vigencia se extenderá por un periodo máximo de cuatro años.

A pesar de lo anterior, en cualquier momento antes de la finalización del plazo previsto, los firmantes del Convenio podrán acordar una prórroga por un periodo de hasta otros cuatro años adicionales.

NOVENA.- Extinción y denuncia.

El convenio se extinguirá por el cumplimiento de las actuaciones que constituyen su objeto, o por incurrir en causa de resolución.

Podrán ser causas de resolución del mismo:

- El transcurso del plazo de vigencia del convenio.
- El acuerdo unánime de todos los firmantes.
- El incumplimiento de las obligaciones y compromisos asumidos por parte de alguno de los firmantes. En este caso, cualquiera de las partes podrá notificar a la parte incumplidora un requerimiento para que cumpla en un determinado plazo con las obligaciones o compromisos que se consideran incumplidos. Este requerimiento será comunicado a la

Comisión de seguimiento.

Si trascurrido el plazo indicado en el requerimiento persistiera el incumplimiento, la parte que lo dirigió notificará a las otras partes firmantes la concurrencia de la causa de resolución y se entenderá resuelto el convenio. La resolución del convenio por esta causa conllevará la indemnización de los perjuicios causados.

- d) En particular, será causa de resolución la falta de sustitución y/o reparación de la maquinaria y/o los aperos necesarios para llevar a cabo la adecuada formación, en los casos de deterioro u obsolescencia que hagan necesarias tales actuaciones.
- e) Por decisión judicial declaratoria de la nulidad del convenio.
- f) Por cualquier otra causa distinta de las anteriores prevista en el convenio o en otras leyes.

DECIMA.- Efectos de la extinción del convenio.

El cumplimiento y resolución del convenio dará lugar a la liquidación del mismo con el objeto de determinar las obligaciones y compromisos de cada una de las partes en los términos del artículo 52 de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público.

En caso de terminación sobrevenida de las actuaciones, corresponderá a la Comisión de seguimiento adoptar la forma de terminación de las actuaciones pendientes.

DECIMOPRIMERA.- Naturaleza y jurisdicción.

El presente convenio tiene naturaleza administrativa y está excluido del ámbito de aplicación de la Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público. Para las dudas y lagunas que pudieran presentarse, se estará a lo dispuesto en la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público y en el Decreto 6/2023, de 18 de mayo, por el que se regula el Registro Electrónico de Instrumentos de Cooperación de la Administración de la Comunidad de Castilla y León.

Cualquiera de las cuestiones que se susciten en cuanto a su aplicación, interpretación y efectos que no queden solventadas por las partes a través de la Comisión de seguimiento, serán resueltas por los Juzgados y Tribunales del orden jurisdiccional contencioso-administrativo.

Anexo II

Costes por marcas

GRUPO / MARCA	EMPRESA	CIF	IMPORTE 2024	IMPORTE 2025	IMPORTE 2026	IMPORTE 2027	TOTAL
JOHN DEERE	JOHN DEERE IBERICA S.A.	A28061075	7.309,60 €	30.516,09 €	26.653,20 €	23.325,28 €	87.804,17 €
FENDT	CONCESIONES AGRICOLAS SANZ Y PESQUERA, S.L. (SAPESA)	B47041223	7.309,60 €	5.378,16 €	10.637,52 €	5.378,16 €	28.703,44 €
MASSEY FERGUSON	BASILIO PERAL, S.L.	B49106305		10.637,52 €	5.378,16 €	14.500,41 €	30.516,09 €
VALTRA	TALLERES CASARES, S.L.	B34158261		10.637,52 €	7.309,60 €	10.637,52 €	28.584,64 €
CLAAS	ZUBIAGA RENT SL	B40276966	5.378,16 €	5.378,16 €	14.500,41 €	12.687,76 €	37.944,49 €
NEW HOLLAND	CNH INDUSTRIAL MAQUINARIA SPAIN S.A.	A28112084	5.378,16 €	7.309,60 €	5.378,16 €	10.637,52 €	28.703,44 €
CASE				10.637,52 €	25.137,93 €	5.378,16 €	41.153,61 €
Mc CORMICK	AGRIARGO IBÉRICA S.A.	A63039846	5.378,16 €	12.687,76 €	5.378,16 €	14.500,41 €	37.944,49 €
DEUTZ-FAHR	SAME DEUTZ-FAHR IBERICA SA	A28174555	5.378,16 €	14.500,41 €	7.309,60 €	10.637,52 €	37.825,69 €
TOTAL			36.131,84 €	107.682,74 €	107.682,74 €	107.682,74 €	359.180,06 €

Anexo I

Calendario de estancias en los CIFP. Potencia de la maquinaria, importe y periodo de estancia.

CIFP	TIPO DE TRACTOR (Cv)	ANUALIDAD									
		2024					2025				
		MC CORMICK	CLAAS	DEUTZ	John D. FENDT	Mc CORMICK	CLAAS	DEUTZ	John D. FENDT	MASSEY VALTRA	CASE New Holland
Avila	130	O 5.378,16€							O 5.378,16€		P 10.637,52€
Albilllos	130		O 5.378,16€						P 10.637,52€		
Segovia	130			O 5.378,16€			O 5.378,16€		P 10.637,52€		
Santa Espina	180				O 7.309,60€				P 14.500,41€		O 7.309,60€
Viñalta	180					O 7.309,60€		O 7.309,60€	P 14.500,41€		
Almázcara	130						O 5.378,16€		O 5.378,16€	P 10.637,52€	
TOTAL ANUALIDAD									36.131,84 €		107.682,74 €

O= otoño (2 meses: octubre y noviembre)

P= primavera (4 meses: febrero, marzo, abril y mayo)

Signatures of the responsible persons



Junta de
Castilla y León

CLAAS

CASE IH
AGRICULTURE

VALTRA

FENDT

**DEUTZ
FAHR**

MASSEY FERGUSON

NEW HOLLAND

McCORMICK

JOHN DEERE

Y estando todas las partes conformes con el contenido del presente documento que consta de once folios rubricados y sellados, se suscribe ejemplar para cada una de las partes firmantes, en el lugar y fecha citados en su encabezamiento.

LA CONSEJERA DE
AGRICULTURA, GANADERÍA
Y DESARROLLO RURAL,

Dña. María González Corral

Por John Deere,

Eduardo Martínez de Ubago.

Por Fendt,

Alfonso Sanz Villa

Por Valtra,

D. José Marcelo Casares Antolín

Por New Holland y CASE IH,

D. Jose Gabriel Llopis Estévez.

Por Deutz Farh,

D. Manuel Alonso San Pablo

D. Julio Redondo Arias.

D. Javier Peral Andrés.

D. César Zubiaga Bravo.

Por CLASS,

D. Andrés Moradas López.

Por McCormick

Por Deutz Farh,



ORDEN DE LA CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y DESARROLLO RURAL, POR LA QUE SE ENCOMIENDA A LA SOCIEDAD PÚBLICA DE INFRAESTRUCTURAS Y MEDIO AMBIENTE DE CASTILLA Y LEÓN S.A. EL SERVICIO DE FORMACIÓN PRÁCTICA EN EL MANEJO DE MAQUINARIA FORESTAL EN TRES CENTROS INTEGRADOS DE FORMACIÓN PROFESIONAL AGRARIA DE CASTILLA Y LEÓN (ALMAZCARA, COCA Y ALMAZÁN).

El Decreto 76/2008, de 30 de octubre, por el que se regulan las encomiendas a la Sociedad Pública de Medio Ambiente de Castilla y León, así como la constitución de sociedades y su participación en otras ya constituidas, exige la tramitación del correspondiente expediente para la realización de un encargo, que se instrumentará como encomienda de gestión a la Sociedad Pública de Infraestructuras y Medio Ambiente de Castilla y León, S.A., como medio propio instrumental y servicio técnico de la Administración General de la Comunidad de Castilla y León.

La Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, tiene previsto realizar el encargo, mediante una encomienda de gestión con esta Sociedad, del “SERVICIO DE FORMACIÓN PRÁCTICA EN EL MANEJO DE MAQUINARIA FORESTAL EN TRES CENTROS INTEGRADOS DE FORMACIÓN PROFESIONAL AGRARIA DE CASTILLA Y LEÓN (ALMAZCARA, COCA Y ALMAZÁN)”.

El expediente mencionado debe incluir, de acuerdo con lo previsto en el citado Decreto 76/2008, un proyecto, memoria u otro documento técnico, según los casos, un presupuesto en el que se valoren las actuaciones a encomendar y la autorización previa para realizar la encomienda de las actuaciones previstas.

Elaborada la correspondiente Memoria y el Presupuesto previstos y aprobados por Orden de 17 de mayo de la Consejería y la aceptación para llevar a cabo la encomienda de gestión de las acciones previstas en dicho documento, con fecha de 5 de abril de 2024, por el Consejero Delegado de la Sociedad y conforme con lo previsto en el artículo 11 de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público,

D I S P O N G O :

Artículo Primero.- Aprobar el expediente tramitado para la ejecución del “SERVICIO DE FORMACIÓN PRÁCTICA EN EL MANEJO DE MAQUINARIA FORESTAL EN TRES CENTROS INTEGRADOS DE FORMACIÓN PROFESIONAL AGRARIA DE CASTILLA Y LEÓN (ALMAZCARA, COCA Y ALMAZÁN)” con un presupuesto que asciende a la cantidad de **CUATROCIENTOS CINCUENTA MIL CUATROCIENTOS TREINTA Y NUEVE EUROS CON OCHENTA Y CINCO CÉNTIMOS DE EURO (450.439,85 €)**.



Artículo Segundo.- Aprobar el gasto para la ejecución de la citada encomienda, por un importe previsto de CUATROCIENTOS CINCUENTA MIL CUATROCIENTOS TREINTA Y NUEVE EUROS CON OCHENTA Y CINCO CÉNTIMOS DE EURO (450.439,85 €), con cargo a la estructura presupuestaria 0303.G.322C01.64900.0 de los presupuestos anuales de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, con el desglose de anualidades que se detalla a continuación:

ANUALIDAD	IMPORTE
2024	50.048,87 €
2025	150.146,62 €
2026	150.146,62 €
2027	100.097,74 €

Artículo Tercero.- Encargar la ejecución de la encomienda a la Sociedad Pública de Medio Ambiente de Castilla y León, de acuerdo con lo previsto en artículo 2 del Decreto 76/2008, de 30 de octubre, por el que se regulan las encomiendas a la Sociedad Pública de Medio Ambiente, así como la constitución de sociedades y su participación en otras ya constituidas, y del artículo 48.Ter 2 de la Ley 3/2001, de 3 de julio, de Gobierno y de la Administración de la Comunidad de Castilla y León.

En Valladolid
EL CONSEJERO DE AGRICULTURA,
GANADERÍA Y DESARROLLO RURAL

Gerardo Dueñas Merino
(firmado electrónicamente)

