

**Análisis Tecnológico
aplicado al Control de los
Sistemas de Agricultura
Inteligente.**

Nombre Estudiante**M^a Francisca Rubio Palomino****Nombre Programa****Máster en Ingeniería de Telecomunicación****Área Trabajo Final****Sistemas de Telecomunicación****Tutor/a de TF****David Naranjo Hernández****Profesor/a responsable de la
asignatura****Carlos Monzo Sánchez****Fecha Entrega****09/01/2023****Universitat Oberta
de Catalunya**

Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-
NoComercial-SinObraDerivada [3.0 España de Creative
Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

Ficha Trabajo Final

Título del trabajo:	Análisis Tecnológico aplicado al Control de los Sistemas de Agricultura Inteligente.
Nombre del autor/a:	M ^a Francisca Rubio Palomino
Nombre del Tutor/a de TF:	David Naranjo Hernández
Nombre del/de la PRA:	Carlos Monzo Sánchez
Fecha de entrega:	01/2023
Titulación o programa:	Máster en Ingeniería de Telecomunicación
Área del Trabajo Final:	Sistemas de Telecomunicación
Idioma del trabajo:	Castellano
Palabras clave	Agricultura de precisión, Internet de las Cosas, Revolución Verde

Resumen del Trabajo

La agricultura tradicional sigue aplicando las mismas herramientas y procesos. El sector agrícola necesita del gran potencial de las tecnologías eminentes como facilitadoras del trabajo diario, minimizadoras de pérdidas o acrecentadoras del rendimiento y de la calidad del producto. A pesar que a la agricultura le está costando arrancar en el contexto tecnológico debido a que nunca se ha presentado como una prioridad, sí que la tecnología ha hecho su incursión procurando transformar la forma de trabajar de los agricultores y agricultoras.

La dependencia de la agricultura y de sus recursos hace necesario su conocimiento para realizar un uso sustentable de la misma. El análisis de los sistemas inalámbricos junto con su evaluación de tal forma que puedan implementarse entre la población agrícola con el fin de brindarles herramientas tecnológicas que les permita adquirir, adecuar y transmitir la información para que como usuarios puedan acceder remotamente a los datos recopilados en la red, puede considerarse un reto a alcanzar. Esto servirá para poner en marcha las

técnicas más adecuadas en cada situación de los procesos agrícolas para su optimización. Tecnologías como IoT desarrolladas en redes 3G y 4G son planteadas como idóneas en situaciones de casos simples para el seguimiento avanzado del cultivo. No obstante, el valor potencial que presenta la agricultura necesita un empleo más eficiente de las aplicaciones digitales para lo que se precisa baja latencia, alto ancho de banda, alta resiliencia y soporte como en el caso de un número elevado de dispositivos, resolviéndose por tecnologías de conectividad avanzadas y de frontera como satélites LPWAN, 5G y LEO, etc

Abstract

Traditional agriculture still uses the same tools and processes. The agricultural sector needs the great potential of emerging technologies to facilitate daily work, minimise losses or increase yields and product quality. Although agriculture is struggling to take off in the technological context because it has never been presented as a priority, technology has tried to transform the way farmers work.

The dependence on agriculture and its resources makes it necessary to understand it in order to use it in a sustainable way. The analysis of wireless systems together with their evaluation so that they can be implemented among the farming population in order to provide them with technological tools that allow them to acquire, adapt and transmit information so that they as users can remotely access the data collected on the network, can be considered a challenge to be met. This will serve to implement the most appropriate techniques in each situation of agricultural processes for their optimisation.

Technologies such as IoT developed over 3G and 4G networks are proposed as suitable in simple case scenarios for advanced crop monitoring. However, the potential value of agriculture requires a more efficient use of digital applications for which low latency, high bandwidth, high resilience and support as in the case of a large number of devices is needed, and is solved by advanced and frontier connectivity technologies such as LPWAN, 5G and LEO satellites, etc.

Índice

1. Introducción	11
1.1. Contexto_Justificación	12
1.2. Objetivos	13
1.3. ComportamientoÉticoGlobal	14
1.4. Enfoque_Método	14
1.5. Descripción_Capítulos	15
1.6. Breve_Sumario_Productos_Obtenidos	16
1.7. Planificación	17
2. Estado del arte	20
2.1. Tecnologías	20
2.2. Arquitecturas	23
2.3. Tendencias	25
3. Análisis_Datos	30
3.1. Recopilación_Datos	30
3.2. Captación_Datos	35
3.3. Infraestructura_Dispositivos	37
3.4. Exploración_Datos	38
4. Análisis_Diseño	41
4.1. Componentes_Principales	41
4.2. Sensorizacion_Terrestre	46
4.3. IoT-WSN	52
4.4. Teledeteccion	64
4.5. Sensorizacion_Remota	66
4.6. Satelites	67
4.7. Drones	69
5. Análisis_Comparativo	73
5.1. Comparativa1	73
5.2. Comparativa2	75
5.3. Comparativa3	80
5.4. Comparativa4	81

6. Análisis_Casos	85
6.1. Caso1	85
6.2. Caso2	88
6.3. Caso3	89
6.4. Caso4	92
6.5. Caso5	96
7. ManualUso	101
8. Conclusiones_TendenciasFuturas	106
9. Bibliografía	110



Índice_Tablas

Tabla 1:Definición del TFM	17
Tabla 2:Adquisición de conocimientos	17
Tabla 3:Adquisición de recursos.....	18
Tabla 4:Análisis Diseño.....	18
Tabla 5:Documentacion	18
Tabla 6:HerramientasRecopilacionDatos.....	30
Tabla 7:Variables Ambientales	31
Tabla 8: Aplicaciones informáticas gestión datos cultivos[3]	36
Tabla 9:Herramientas Análisis Datos[74]	39
Tabla 10: Tipos de sensores y sus aplicaciones[40]	49
Tabla 11: Tabla resumen de las tecnologías inalámbricas IoT[39].....	54
Tabla 12: Comparación de los protocolos inalámbricos existentes[66]	62
Tabla 13: Visión general de las tecnologías LPWAN: Sigfox, LoRa y NB-IoT[80].....	76
Tabla 14: Comparativa de Sigfox y Lorawan [80]	77
Tabla 15:Herramientas procesamiento imágenes [90]	91

Índice_Figuras

Figura 1: Plan de acción agenda 2030	14
Figura 2:Diagrama de planificación TFM	17
Figura 3: Ejemplo de Internet de las Cosas (IoT) en explotaciones agrícolas [81]	21
Figura 4: Sensores y control de la aplicación modular de fitosanitarios ((Foto Teejet)	22
Figura 5: VANT 3DR RTF X8+[100].....	24
Figura 6: Tendencias agrícolas[66]	26
Figura 7:Tres Etapas Agricultura Inteligente	31
Figura 8: Datos Abiertos_Impulso de AI[1].....	33
Figura 9:Ciclo Gestión Información en AI[3].....	34
Figura 10: SpiderWebGis[23]	35
Figura 11: Principales componentes de ai basada en IoT[66].....	42
Figura 12: Productos agrícolas IoT Seleccionados [66]	43
Figura 13: Red Basada en lot para la Agricultura Inteligente [40]	47
Figura 14: Arquitectura de un nodo sensor[39]	50
Figura 15: Arquitectura propuesta para la agricultura impulsada por la IO[37]	51
Figura 16: Soluciones IoT en la nube[39].....	55
Figura 17: Fundamentos del análisis espectral para la agricultura[59]	56
Figura 18: Plataforma de red agrícola IoT basada en la nube[66].....	59
Figura 19: Estructura de capas [66]	60
Figura 20: Resolución temporal, espectral y espacial[78].....	66
Figura 21: Dron Phantom 4 Multiespectral[78].....	71
Figura 22: Dron DJI Agras T16 https://www.dji.com/es/t16	71
Figura 23: Mapa de NDVI con Agisoft PhotoScan[97]	71
Figura 24: Estado de situación de productos y servicios digitales en la agricultura española[85] 73	
figura 25: ranking gráfico de las tecnologías iot.....	75
Figura 26: Comparativa cobertura vs bandwidth de protocolos de red IoT[83].....	77
Figura 27: Tecnología de comunicación COMPARADA [80]	77
Figura 28: Ventajas DE Sigfox, LoRa y NB-IoT en términos de factores IoT.[80]	78
Figura 29: Tecnología de redes de telecomunicaciones usadas en aplicaciones	79
Figura 30: Protocolos de red con mayor uso en aplicaciones agrícolas	80
Figura 31: Porcentaje de inclusión de dispositivos sensores en agricultura	80
Figura 32: Sistemas embebidos de mayor uso en aplicaciones agrícolas	81

Figura 33: Software aplicado de mayor uso en aplicaciones agrícolas	83
Figura 34: Etapas del proceso de segmentación de imágenes [90]	90
Figura 35: Resultado combinado de los tres vectores de características [88]	90
Figura 36: Dron Athos para aplicación de tratamiento de plagas[89]	92
Figura 37 Resultado del análisis 5G FieldLab[92]	93
Figura 38: Robot con sistema de detección de maduración del tomate[94].....	94
Figura 39: VineRobot[95]	94
Figura 40: a) Visión artificial y b) Naranjas identificadas en árbol típico en la zona de Sevilla[96]95	95
Figura 41: BeanIoT[101]	96
Figura 42: Sistema de trazabilidad[60].....	96

[1]

Introducción

Contexto_Justificación

Objetivos

Comportamiento ético y global

Enfoque_Método

Descripción_Capítulos

Breve_Sumario_Productos_Obtenidos

Planificación

Introducción

La agricultura tradicional sigue aplicando las mismas herramientas y procesos. El sector agrícola necesita del gran potencial de las tecnologías eminentes como facilitadoras del trabajo diario, minimizadoras de pérdidas o acrecentadoras del rendimiento y de la calidad del producto. A pesar que a la agricultura le está costando arrancar en el contexto tecnológico debido a que nunca se ha presentado como una prioridad, sí que la tecnología ha hecho su incursión procurando transformar la forma de trabajar de las personas agrícolas.

La agricultura no es ajena a los impactos del cambio climático (incremento de la temperatura, aumento de CO₂ y variación en la acidez del suelo) viéndose reflejados en la baja productividad y calidad en las cosechas, tal vez por la falta de herramientas tecnológicas que permitan un mayor conocimiento del clima aplicado a la producción agrícola.

La dependencia de la agricultura y de sus recursos hace necesario el conocimiento de la misma para realizar un uso sustentable de la misma. El análisis de los sistemas inalámbricos junto con su evaluación de tal forma que puedan implementarse entre la población agrícola con el fin de brindarles herramientas tecnológicas que les permita adquirir, adecuar y transmitir la información para que como usuarios o usuarias puedan acceder remotamente a los datos recopilados en la red, puede considerarse un reto a alcanzar. Esto servirá para poner en marcha las técnicas más adecuadas en cada situación de los procesos agrícolas para su optimización.

La modernización de la agricultura se ha convertido en un objetivo en el siglo actual. La digitalización se presenta como un factor decisivo en las zonas rurales para restituir el despoblamiento, así como para dar respuesta a los retos del cambio climático y a un mercado globalizado. Esta digitalización ha sido denominada la "**revolución verde**" que ha favorecido a los agricultores y agricultoras a través de avances tecnológicos en el ámbito de la maquinaria, fertilizantes y pesticidas, así como desarrollos genéticos, consiguiéndose producir más y con una disminución del esfuerzo.

Actualmente existen abundantes tecnologías con un grado de desarrollo diverso. Mucha población agrícola utiliza tecnologías GPS, sensores, junto con sistemas de información geográfica (SIG) con la intención de mejorar la precisión.

En el proceso de tecnificar la agricultura existen unos elementos esenciales para conseguir los retos antes citados:

- Conectividad e interoperabilidad de los datos han mejorado en todo el territorio.
- Tecnologías facilitadoras digitales (**Big Data, IoT, Blockchain, Inteligencia Artificial**) están siendo utilizadas para proporcionar soluciones y servicios al sector.
- Tecnologías como drones, imágenes por satélite, sensores, robots, etc están siendo más accesibles y baratos.
- Tecnologías como Internet de las Cosas (IoT) desarrolladas en redes 3G y 4G son planteadas como idóneas en situaciones de casos simples para el seguimiento avanzado del cultivo.

No obstante, el valor potencial que presenta la agricultura necesita un empleo más eficiente de las aplicaciones digitales para lo que se precisa baja latencia, alto ancho de banda, alta resiliencia y soporte como en el caso de un número elevado de dispositivos, resolviéndose con tecnologías de conectividad avanzadas y de frontera como satélites (LPWAN, 5G, LEO, etc).

Este trabajo fin de master surge después de evidenciar las dificultades por las que atraviesa el mundo agrícola y de las dificultades que tienen las personas que lo trabajan por el hecho de ubicaciones de difícil acceso o faltos de agua u otras dependencias. A través del mismo, se pretende analizar diferentes soluciones en las que se incorporen diferentes sistemas de captación, de control y de almacenamiento con el fin de obtener conclusiones de optimización de parámetros y recursos para reducir el impacto ambiental y las pérdidas para buscar aumentar la producción.

En este cometido se describirá todo el proceso realizado para el desarrollo e implementación de diferentes sistemas de control partiendo inicialmente de una exploración detallada de implementaciones ya realizadas para su análisis y mejora con vistas a diagnosticar las necesidades para definir requerimientos de diseño avanzado para su posterior implementación en el campo de la agricultura.

Contexto_Justificación

En el mundo se está percibiendo una transformación radical que se intensificará en los próximos años. Esta transformación se puede observar en el sector agrícola español, que en

apenas unas décadas ha experimentado un gran salto hacia adelante pasando de ser un sector tradicional a uno mucho más avanzado y competitivo.

La agricultura constituye un sector estratégico, que aporta un gran valor económico, social, territorial y medioambiental. En 2021, el sector agrario empleó solo de forma directa a más de 840.100 trabajadores, generando una producción vegetal de más de 28.361 millones de euros en ingresos.

Con esos datos, se advierte que la agricultura tiene una mayor participación en la economía de nuestro país, pero no lo suficiente. Las condiciones climáticas y la disponibilidad de recursos naturales favorecen los sistemas productivos, este sector genera empleo ya sea cuando se realiza a gran escala para exportaciones o cuando se realiza en pequeñas huertas para comercialización interna.

Enfrentarse a nuevos retos en el ámbito agrícola como el conocimiento de nuevas tecnologías que puedan contribuir a su desarrollo, hace que sea un trabajo motivador y por otro lado ambicioso. Todo ello hará laborioso la consecución de objetivos, pero sin perder las expectativas de querer aprender para mejorar y seguir avanzando en la aplicación de todas estas técnicas al futuro de la agricultura haciendo uso de nuevas técnicas de IoT.

Realizar este TFM surgido de una necesidad detectada a través del conocimiento del mundo real agrícola donde las tecnologías están cada vez más presentes, pero no aún del todo adaptas, supone cubrir esta necesidad a través de un proceso de indagación que conllevará al aprendizaje de nuevos conocimientos, objetivo esencial de todo TFM.

Objetivos

- Realizar una comparativa que permita analizar las tecnologías y soluciones aplicadas a la agricultura inteligente.
- Aprender las técnicas más idóneas para su aplicación en el contexto agrícola.
- Proponer diseños idóneos para sistema de control, teniendo en cuenta los requerimientos del terreno y necesidades de los usuarios
- Capacitar a la comunidad agrícola sobre el manejo del sistema óptimo mediante manuales de usuario.

Comportamiento_Ético_Global

La agricultura inteligente, objeto de este trabajo, está encaminada a la transformación y a la orientación de los sistemas agrícolas con el fin de garantizar la seguridad alimentaria en el clima cambiante. Los cuatro objetivos que persigue están inmersos en el



FIGURA 1: PLAN DE ACCIÓN AGENDA 2030

comportamiento ético y global como son, el aumento sostenible de la productividad y los ingresos agrícolas, la adaptación y la creación de resiliencia ante el cambio climático y la reducción y/o absorción de gases de efecto invernadero.

Según los cálculos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), **en 2050 habrá en el mundo 9.700 millones de personas**, más de 2.000 millones de personas que alimentar respecto a 2020 lo que conlleva según la FAO (agencia de la ONU dedicada a la alimentación y la agricultura) a un aumento del 70 % de la producción agrícola. La situación plantea un reto para la industria alimentaria responsable del **30 % del consumo energético mundial y de un 22 % de los gases de efecto invernadero** con vistas a su compromiso con la Agenda 2030, acabar con el hambre en el mundo de una forma sostenible.

Enfoque_Método

Partiendo de la necesidad de aminorar y simplificar la carga de trabajo que los agricultores y agricultoras destinan a la atención de sus siembras, surge la idea de estudiar y analizar los procesos de automatización en el sector agrícola.

El enfoque seguido en este trabajo responde a las siguientes preguntas:

- ¿Qué requisitos se necesita para optimizar los resultados de los cultivos?
- ¿Qué trabajos pueden ser automatizados?
- ¿Cuáles son los recursos disponibles?
- ¿Cuáles son los principales retos tecnológicos a plantear y a resolver?

En la resolución de estas preguntas está el examen escalable a mayores y diferentes cosechas con la finalidad de reducir la carga de trabajo tolerada para los que se dedican a la agricultura y el inmediato ahorro en recursos económicos, naturales y humanos.

Se indagará sobre los sistemas de Agricultura Inteligente (AI), qué elementos controlan y con qué dispositivos y sensores realizan esta tarea.

Con el listado de elementos se realizará una averiguación de qué elementos son más adecuados, siempre con la proposición de sostenible, ecológico, escalable y económico.

El trabajo mostrará los avances relevantes tecnológicos aplicados a la AI con aplicaciones, abordando aspectos como un diagnóstico de la situación del sector y las dificultades para la digitalización, identificación de necesidades para allanar la transformación digital del sector con el diseño de un manual para el usuario final, desarrollándose de esta forma los objetivos establecidos.

La amplitud del trabajo nos lleva a acotar para centrarse en necesidades prioritarias y reales con la pretensión de ayudar a quienes se dedican a la agricultura en la gestión de sus terrenos. Esto conlleva a la secuenciación de una serie de pasos partiendo del análisis, con la realización posterior de un estudio de necesidades para finalmente definir las aplicaciones.

Descripción_Capítulos

En la primera sección introductoria se establecen aspectos como el Contexto, Objetivos, Comportamiento_Ético_Global, Enfoque_Metodo seguido y Planificación.

En la segunda sección se presenta el Estado del Arte que aporta una visión global tanto de las técnicas como de las tendencias de la Agricultura Inteligente (AI).

En la tercera sección se plantea el aspecto del análisis de datos, justificándose como son recopilados, captados y explorados haciéndose mención a la infraestructura de los dispositivos utilizados.

En una cuarta sección se plantea el análisis del diseño, abordándose la perspectiva tanto de la sensorización terrestre como la remota haciéndose hincapié en la IoT y en la teledetección.

En una quinta sección se ha pretendido realizar una comparativa por medio de un análisis indagando sobre las tecnologías y soluciones aplicadas a la AI presentándose en cuatro

situaciones diferentes que abarcan desde el Estado de Productos y Servicios Digitales en la Agricultura Española, pasando por la inclusión de los dispositivos sensores, los sistemas sensores y el software.

En una sexta sección se ha tratado el aspecto del análisis de casos, exponiéndose cinco casos para examinar diferentes técnicas aplicadas a la AI.

En una séptima sección y última sección se ha planteado un supuesto caso de manual de usuario tratando de clarificar aspectos relevantes de la AI con el fin de capacitar y ayudar a la comunidad agrícola.

Breve_Sumario_Productos_Obtenidos

Como resultado de la realización del proyecto se espera obtener el análisis tecnológico de un sistema de AI que permita la capacitación progresiva en tecnológicas de información y comunicación a las zonas rurales.

Primero se expondrán las distintas tecnologías actuales de la AI mediante sensores, protocolos a emplear y redes de dispositivos IoT para posteriormente ser comparados desde diferentes perspectivas con aporte de soluciones.

Además de proveer de conocimientos relacionados con las técnicas y procedimientos que se están empleando para el desarrollo de productos y servicios digitales en el sector agroalimentario a través del estudio de diferentes casos tecnológicos.

El éxito de la transformación digital en la agricultura puede depender de los éxitos de los proyectos y servicios que se desarrollen por lo que resulta necesario mejorar la eficacia y la eficiencia de los mismos.

Por estas razones el proyecto está encaminado a facilitar las tareas de gestión de fincas de los agricultores y agricultoras con la implementación de un sistema óptimo mediante manuales de usuario.

Finalmente resaltar que nací en un pueblo agrícola, por lo que puedo saber de primera mano las necesidades actuales de la población agrícola y su situación actual vinculada con las tecnologías.

Planificación

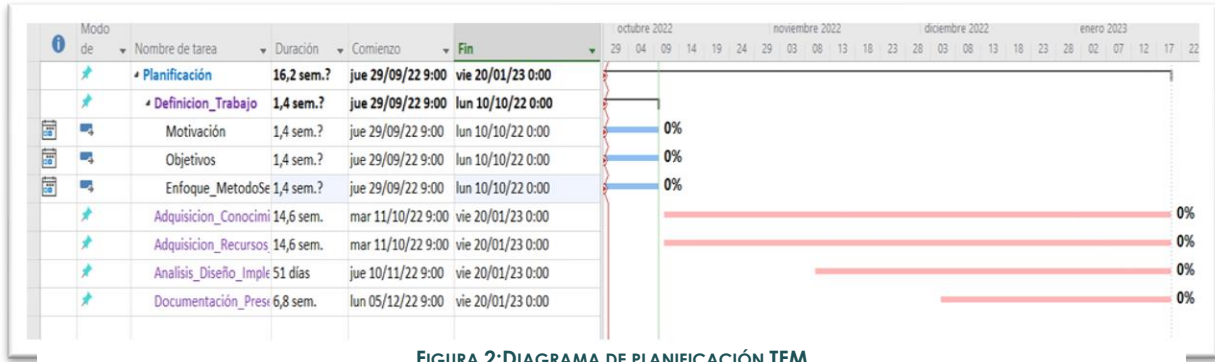


FIGURA 2:DIAGRAMA DE PLANIFICACIÓN TFM

Durante el desarrollo de un proyecto, la organización temporal de las tareas adquiere un papel relevante por la importancia que este tiempo tiene para que sea realizado en el plazo convenido, a lo largo del cual se puede ver afectado por algunos inconvenientes que pueden causar el desvío en el tiempo definido junto con los objetivos planteados.

Entre el conjunto de tareas que están definidas en el trabajo o proyecto están las siguientes:

- Definición_Trabajo:** Antes de iniciar el trabajo es necesario decidir en qué va a consistir el mismo, junto con el alcance, finalidad, destinatarios, funcionalidad básica y los objetivos que se pretende alcanzar.

Mes	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Tarea	[Barra de tarea]			
Definición				
Duración	12 días	30h		

TABLA 1:DEFINICIÓN DEL TFM

- Adquisición_Conocimientos:** Es necesaria la adquisición de conocimientos para la elaboración de este trabajo con el aprendizaje e indagación de nuevas tecnologías aplicadas a los

Mes	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Tarea	[Barra de tarea]			
Conocimientos				
Duración	75días	225h		

TABLA 2:ADQUISICIÓN DE CONOCIMIENTOS

:sistemas de Agricultura Inteligente. Esta tarea se desarrollará a lo largo de todo el proceso de realización del trabajo.

- **Adquisición_Recursos_Herramientas:** Definido el proyecto se procede a la adquisición de recursos y herramientas. Esta fase se define a lo largo de todo el trabajo, por las completas actualizaciones o búsqueda de soluciones de los recursos y herramientas.


Mes	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Tarea				
Recursos				
Duración	75días	225h		

TABLA 3:ADQUISICIÓN DE RECURSOS

- **Análisis_Diseño_Implementación:** en esta parte se define el análisis de requisitos, diseño, especificaciones y posible implementación.

Mes	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Tarea				
DiseñoBackEnd				
Duración	40días	160h		

TABLA 4:ANÁLISIS DISEÑO

- **Documentación_Presentación:** en esta fase se documentarán todas las tareas desarrolladas y requeridas, así como se revisará toda la desarrollada anteriormente para dejar constancia de posibles cambios o mejoras de las ya realizadas anteriormente. En esta fase también está incluida la defensa del proyecto.

Mes	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Tarea				
Documentación				
Duración	30días	100h		

TABLA 5:DOCUMENTACION



[2]

Estado_Arte

Tecnologías

Arquitecturas

Tendencias



Estado del Arte.

El desarrollo de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) está haciendo que disminuya la actividad directa del hombre en ciertos procesos productivos vinculados con la agricultura por medio de la integración de aplicaciones tecnológicas junto con la implementación de dispositivos electrónicos remotos de mediana y gran escala. Dichos dispositivos están vinculados a variables con el fin de vigilar, inspeccionar y medir siendo controlados por una web o dispositivo móvil para su consecuente análisis.

Actualmente existen abundantes tecnologías TIC con un grado de desarrollo diverso. Muchos agricultores y agricultoras utilizan tecnologías GPS, sensores, junto con Sistemas de Información Geográfica (SIG) con la intención de mejorar la precisión.

Entre las aplicaciones TIC se encuentran los SIG los cuales proporcionan soluciones a gran escala utilizando dos componentes bien determinados, el software y el hardware por medio de los cuales se lleva a cabo el análisis y la integración de datos geográficos. Los mapas temáticos son el resultado de la integración de la información a través de las capas constitutivas de datos georreferenciados.[38]

En el proceso de tecnificar la agricultura existen unos elementos esenciales presentes en la conectividad y la interoperabilidad de los datos, tecnologías facilitadoras digitales (Big Data, IoT, Blockchain, Inteligencia Artificial) y tecnologías como drones, imágenes por satélite, sensores, robots, etc.

Tecnologías

La agricultura está experimentando cambios debido a la incursión de las tecnologías. La RAE define agricultura como “Conjunto de técnicas y conocimientos relativos al cultivo de la tierra”. Actualmente se está dejando de utilizar procedimientos manuales, lo que está permitiendo a la agricultura, convertirse en una de las actividades más importantes del mundo.

La revolución reconocida a la telemetría en el campo de la agricultura está atribuida a los sistemas de monitoreo remoto de variables con el uso de sensores y abarca desde el envío de información por medio de protocolos concretos hacia servidores, hasta los envíos en tiempo real para su visualización, interpretación y monitoreo. La evolución experimentada por esta

técnica está acorde a la precisión de las medidas de los sistemas con un mejor control del almacenamiento en históricos con el uso de bases de datos. Por medio de esta técnica se puede optimizar el tiempo del uso del agua en las actividades agrícolas de riego lo que permite una distribución eficiente del recurso.[40]

Estos sistemas en general constan de:

- Conjunto de sensores para el control de las variables físicas.
- Sistema de comunicación remoto.
- Protocolo de comunicación.
- Receptor de la información.
- Software responsable de la captura de información y su presentación.

El impulso que advertido en el mundo agrario es debido entre otros aspectos al cambio climático y al aumento de la población. Esto ha motivado que

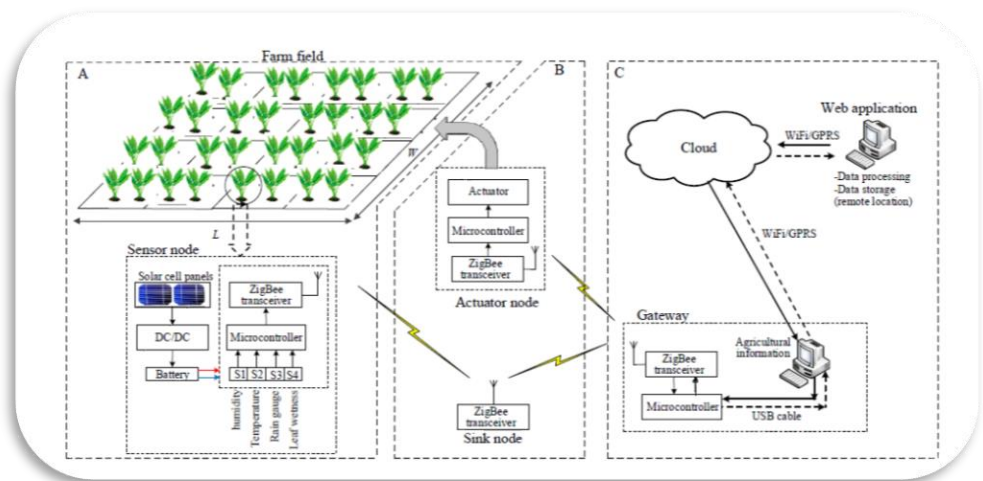


FIGURA 3: EJEMPLO DE INTERNET DE LAS COSAS (IOT) EN EXPLOTACIONES AGRÍCOLAS [81]

surjan términos como

como Agrotech o Agricultura 4.0. Agtech, Agrotech , Smart Agro o Agricultural Technology son términos conocidos como agricultura de precisión (Agricultura 4.0).

El término Agrotech está vinculado con la aplicación e integración de las nuevas tecnologías en el sector primario (agricultura, ganadería, horticultura, etc.) tanto en lo referido al cultivo, como a los procesos productivos e inclusive a la comercialización de los productos.

La Agricultura Inteligente (AI) corresponde a una estrategia que utiliza Tecnología de la Información y Comunicación (TIC) para recolectar datos útiles desde distintas fuentes con el fin de apoyar decisiones asociadas a producción de cultivos. Es un concepto que se basa en el empleo de una cantidad correcta de componentes en el lugar idóneo y en el momento preciso. Se trata en definitiva del uso adecuado de la tecnología de la información (TICs) para la

manipulación de suelos y cultivos en función de unas variables. La AI implica el uso de sistemas de posicionamiento global y otros medios electrónicos con el fin de obtener los datos iniciales del cultivo y está asociada a una serie de ventajas como son:

- Fomentar un sector clave en la economía mundial.
- Digitalizar el sector.
- Respetar el medio ambiente por el uso de tecnologías limpias.
- Predecir plagas y registrar cualquier suceso gracias la BigData.
- Mejorar el aprovechamiento de los recursos.

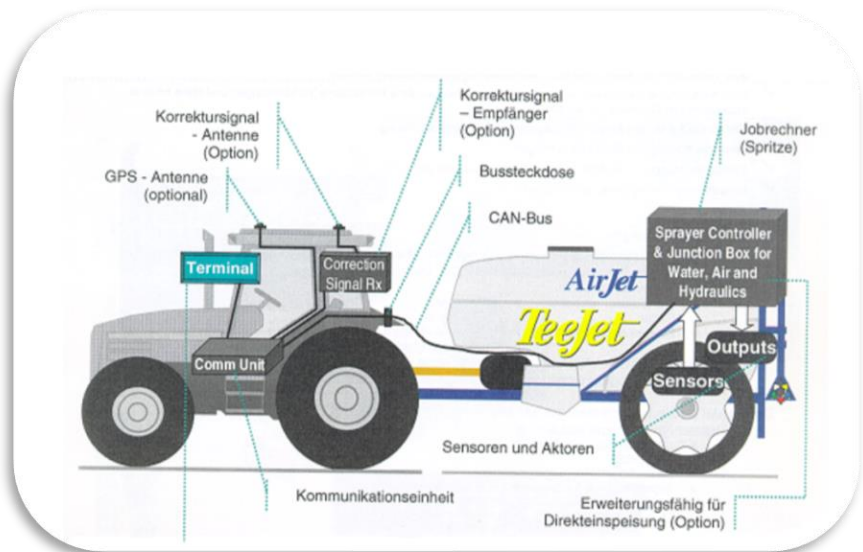


FIGURA 4: SENSORES Y CONTROL DE LA APLICACIÓN MODULAR DE FITOSANITARIOS ((FOTO TEEJET)

Las tecnologías de la AI implican el cumplimiento de una de las exigencias en la agricultura, la aplicación óptima de grandes extensiones de terreno. Conlleva además que se pueda estudiar los resultados de los ensayos por sectores diferentes para un ajuste diferencial con el uso de un mapa de rendimiento a través del cual se podría investigar sobre el tipo y la dosis de fertilizante a aplicar, la densidad de semilla, la fecha de siembra, el espaciamiento entre hileras, etc. Su empleo ayuda a optimizar los márgenes a través de un aumento del valor del rendimiento tanto en calidad como en cantidad, de una reducción de la cantidad de aportes o de ambos a la vez. [84]

La AI aplicada a la gestión de terrenos de cultivo precisa de un conjunto de tecnologías constituidas por:

- Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS).
- Sensores terrestres.
- Imágenes satelitales.
- Sistemas de información Geográfica (SIG).

La unión de agricultura y las nuevas tecnologías tiene como objetivo impulsar la producción económica y ofrecer soluciones beneficiosas tanto al productor como al consumidor.

La persona dedicada a la agricultura que es productora a la vez que empresaria es consciente de que la Agricultura Inteligente le allanará la tarea disponiendo de información puntual y precisa para la supervisión de los cultivos. Por otra parte, está la tecnología que cada día avanza generando nuevas respuestas a otros problemas por lo que surgen nuevos sensores más precisos, mejoras técnicas, así como el tiempo de respuesta se reduce y la consiguiente repercusión en los cultivos es indudable. Acercar y dar respuesta mediante nuevas técnicas, tecnologías e instrumentos contribuirá a facilitar aún más las tareas de quienes se dedican a la agricultura.

Entre los avances de los sensores, cuyo cometido es recoger información de los campos de los cultivos con el fin de servir de apoyo para la toma de decisiones, es la existencia de todo un abanico sistemas de sensores (sensores de monitoreo, a base de imágenes, red de sensores, sistema de sensores combinados con agrorobótica, etc.)

La agricultura inteligente va más allá al basar las tareas de gestión no solo en la ubicación, sino también en los datos. Los datos recogidos a través de estos sistemas son utilizados para determinar de forma óptima los resultados de la cosecha, mejorar la calidad de los cultivos, estimar el porcentaje de fertilizantes y predecir con exactitud el rendimiento y la producción de los cultivos.

Arquitecturas

Las soluciones proporcionadas hoy en día por tecnologías de control y monitoreo del suelo de cultivo mediante sensores están englobadas en el uso de drones o de redes de sensores:

a) Sistemas de teledetección con drones y/o satélites.

En la actividad agrícola es innumerable la cantidad de situaciones en las que necesitamos conocer la superficie de siembra de un cultivo, distribución de fracciones de cultivo, confección de un silo, etc. [93]

La teledetección permite la obtención de imágenes de una zona de forma aérea comprendiendo a su vez tratamiento, procesamiento e interpretación de las imágenes, algo que ocurre con los drones y satélites que adquieren imágenes radiométricas aplicados a los

cultivos. Los drones son vehículos aéreos conducidos de forma remota con sensores de medición diversos (termográfica, multiespectral, óptica), en cambio los sensores instalados en las plataformas de los satélites son ópticos y multiespectrales, pudiendo incluir sensores térmicos y radar, con una resolución no muy optima utilizada en la Agricultura de Precisión.

La tecnología satelital admite la grabación del recorrido del área a calcular, para posteriormente notificar el valor sobre la pantalla del equipo. Entre las tareas de los GPS se encuentran la medición de las alturas de cada punto del recorrido con respecto al nivel del mar, con la posibilidad un valor más exacto con la incorporación de un barómetro. A más valores referenciales, el error de medición tiende a disminuir.



FIGURA 5: VANT 3DR RTF X8+[100]

Existe la opción junto con las medidas captadas a través del satélite o del dron, de generarse alarmas en tiempo real a dispositivos móviles, correos electrónicos, etc. además de poderse maniobrar mediante acciones directas sobre el sistema

b) Sistemas en red mallada de sensores.

En este caso están constituidos por un equipo remoto formado por circuitos y un sistema de comunicación de alimentación autónoma. A estos sistemas se le anexa sensores en función de las exigencias solicitadas. Captan información ambiental tipo (temperatura, humedad ambiente/sol, radiación solar, pluviómetro, etc) y lo envían de forma remota mediante equipos inalámbricos los cuales a su vez hacen las gestionan para diferentes usos.

Se conoce como percepción remota, la ciencia y el arte en la obtención de información sobre un objeto o área por medio de los análisis de datos obtenidos por un aparato tipo sensor remoto el cual no está en contacto físico (puede estar a escasos centímetros o a varios kilómetros) con el objeto o área motivo de estudio.[96]

Los sensores, medidores electrónicos de las magnitudes mecánicas, presentes en cualquier maquina agrícola, contribuyen a determinar en cada momento y por la posición de la máquina,

la velocidad de recorrido, la temperatura en un lugar concreto, así como el estado de sus mecanismos, o también la cantidad de grano cosechado por la máquina, la fertilidad del suelo en una zona del campo y el nivel de vegetación del cultivo.

Lo innovador en la Agricultura Inteligente se encuentra en la utilización de dispositivos que comprueban en tiempo real, algunas de las características agronómicas de las parcelas por las que se desplazan las máquinas.

Los sensores agrarios más experimentados y fiables son los que se encargan de determinar el caudal instantáneo de grano que llega a la tolva de una cosechadora trabajando en situación normal, que debe efectuar la pesada teniendo en cuenta la temperatura y la humedad del grano trillado.

Las etapas necesarias para la puesta en marcha de la red mallada de sensores inalámbrica aplicada a la agricultura serían las siguientes:

- Ubicación e identificación de los equipos remotos y sensores conforme a la cantidad de equipos remotos y sensores necesarios adecuados a las características del terreno.
- Instalación, programación y comunicación de los sensores con el centro de control.
- Acceso del usuario final a través de una app instalada en el ordenador, móvil o tablet a la información captada por los sensores.

Tendencias

En el momento actual, la agricultura se halla en la primera fase de otra revolución, en cuyo centro se encuentran los datos y la conectividad. La Inteligencia Artificial, el Big Data y Analítica, el Internet de las Cosas (IoT), los sensores conectados y otras tecnologías emergentes podrían aumentar aún más los rendimientos, mejorar la eficiencia de las plantaciones, y generar sostenibilidad y resiliencia en el cultivo de cultivos.

Un área de interés en estos momentos es la aplicación de IoT en la agricultura. El mundo está recurriendo al uso de IoT combinado con Análisis de Datos para satisfacer las demandas de las personas agrícolas y satisfacer de alimentos al mundo. Se prevé que las instalaciones de dispositivos IoT en el sector agrícola aumentarán a 75 millones en 2022. El uso de IoT y Análisis

de Datos permitirá una Agricultura Inteligente que se espera que ofrezca una alta eficiencia operativa y un alto rendimiento.

Big Data y Analítica

La información heterogénea que es reunida digitalmente a gran velocidad y en grandes volúmenes, es asignada bajo el término de Big Data.

El futuro de la agricultura puede desarrollarse en dos escenarios:

1) Sistemas

Cerrados y

Proprietarios en los que la

persona agrícola forma parte en la producción o **2) Sistemas Abiertos y Colaborativos** en los que el agricultor o agricultora son parte interesada. El desarrollo de las infraestructuras de datos y aplicaciones (plataformas y normas) desempeñan un papel crucial en estos escenarios.[100]

Los términos referidos a Big Data y Analítica, son entendidos como el proceso de usar software para descubrir tendencias, patrones y correlaciones en esos grandes almacenes de datos. Este software presenta mayor consistencia con el tiempo, pudiéndose incrementar la cantidad de datos gestionados, así como los algoritmos más estructurados y avanzados. Está caracterizado por:

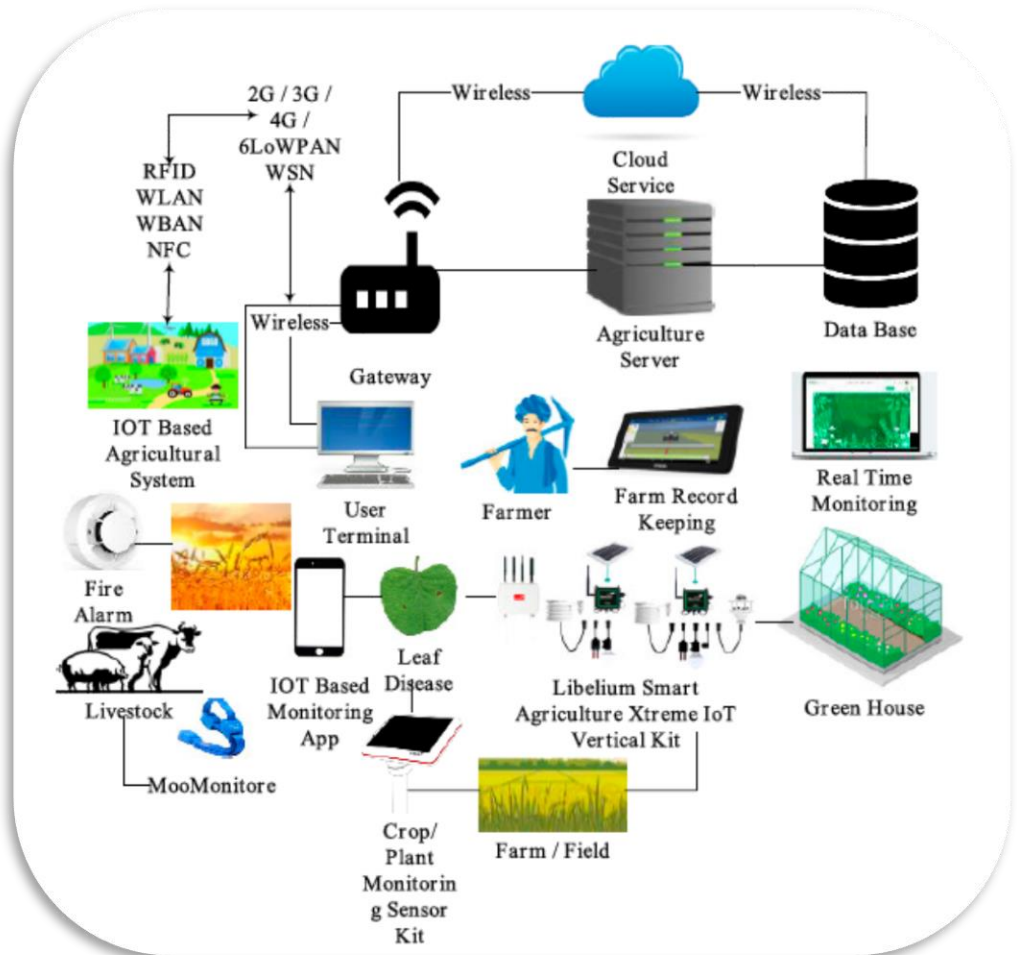


FIGURA 6: TENDENCIAS AGRÍCOLAS[66]

- **Análisis descriptivo**, consistente en visualizaciones simples con el fin de describir lo ocurrido en un momento determinado o a lo largo de un periodo de tiempo.
- **Diagnóstico analítico**, mejorando lo anterior, se basa en ofrecer una explicación de lo sucedido, con análisis más profundos para determinación de causas.
- **Análisis Predictivo**, con el fin de pronosticar posibles sucesos inmediatos usando algoritmos avanzados, considerándose una herramienta relevante del Big Data y Analítica valiéndose de Machine Learning e Inteligencia Artificial.
- **Análisis Prescriptivo**, por medio del mismo se sugieren unos pasos para lograr un resultado deseado utilizándose herramientas de avanzadas capacidades.

Internet de las cosas: Internet of Things (IoT)

Abarca aquellos dispositivos físicos en los cuales se usan sensores, software integrado junto con otras tecnologías inteligentes que permiten establecer la conexión entre ellos y otros dispositivos con el uso de redes y sistemas a través de internet. Dicha interconexión tiene como fin el intercambio de datos.[38]

El internet de las cosas ha derivado en una tendencia emergente para los investigadores debido a las múltiples posibilidades de desarrollo que este genera. Esto conlleva a una nueva dimensión de conceptos en el ámbito de la agricultura siendo, un factor decisivo para el continuo desarrollo de IoT, brindando la posibilidad de investigación mediante la creación y mejora de las tecnologías existentes. Como ejemplo estaría una optimización del aprovechamiento de los recursos del agua a través de la aplicación tecnológica del IoT por medio de un sistema de control, automatización y monitoreo de cultivos en huertos urbanos o bien la obtención de cultivos de forma sustentable o la contribución al desarrollo de policultivos.

Cualquier entorno adecuado para el despliegue de aplicaciones de IoT, tiene que cumplir como requisito que debe ser compatibles con los dispositivos y las nuevas tecnologías en desarrollo, debido a que la idea fundamental de IoT es interconectar diferentes dispositivos (objetos).

El internet de las cosas otorga inteligencia a los dispositivos para comunicar o bien para acceder a la información generada por los mismo; además de establecer interacción entre los mundos real-físico y digital-virtual, a través de decisiones inteligentes con el uso de algoritmos en aplicaciones de software que permiten respuestas en un tiempo corto.

El auge experimentado por IoT en los años recientes hace que esté presente en multitud de dispositivos de integración vinculados con las tareas agrícolas como vehículos, reguladores de temperatura, etc

La conexión de estos dispositivos con Internet hace posible la comunicación entre las personas que se dedican a la agricultura y las cosas(dispositivos). Combinando esta tecnología con la nube, el Big Data y los dispositivos móviles posibilita la recopilación de datos con la casi nula intervención del agricultor o agricultora, con la opción de compartir datos para grabar, vigilar y controlar a los dispositivos conectados.[46]

Las siguientes series de avances han permitido que IoT se convierta en una realidad en el ámbito de la agricultura:

- Sensores de bajo costo y de baja potencia, accesibles y fiables
- Conectividad, tanto para la transmisión por Internet como la conexión con la nube ha sido posible con el uso de protocolos de red que la hacen eficiente.
- Plataformas de computación en la nube que facilitan la gestión de datos para que estén disponibles en cualquier lugar del mundo 24/7.
- Machine Learning y Analítica han hecho posible la expansión de IoT permitiendo el acceso a grandes cantidades de información (datos).
- Inteligencia Artificial (IA) combinación de dispositivos de IoT con avances en redes neuronales.

Sin embargo, para desbloquear todo el valor potencial que la conectividad tiene para la agricultura, la industria debe hacer un uso completo de las aplicaciones y análisis digitales, que requerirán baja latencia, alto ancho de banda, alta resiliencia y soporte para una densidad de dispositivos ofrecida por tecnologías de conectividad avanzadas tipo Bluetooth, NB-IoT, LoRa, SigFox, etc

**[3]**

Analisis_Datos

Recopilación_Datos

Captación_Datos

Infraestructura_Dispositivos

Exploración_Datos



Análisis_Datos

Recopilación_Datos

Los datos constituyen el recurso más abundante del planeta. El diluvio de datos ha crecido en el sector agrícola con las nuevas tecnologías: Internet de las Cosas (IoT), las redes de sensores inalámbricas (WSN) y los objetos inteligentes (Smart Object).

Entre todos los datos agrícolas recopilados se puede hacer una clasificación dependiendo si son estructurados, definidos a través de las bases de datos relacionales, semiestructurados, con un formato diferente a las bases de datos relacionales, tipo texto plano, reportes de sistemas, etc. y no estructurados como por ejemplo imágenes, audios, etc. [1],[2]

En la siguiente tabla se sintetizan algunas de las necesidades de la persona agrícola y la generación de información como aporte en la toma de decisiones:

Necesidades	Aporte de la información
Disponer de la multitud de datos ecológicos, biológicos, tecnológicos y económicos que representan a un sistema agrario	Bases de datos organizadas por áreas o campos
Integrar los datos en un único marco conceptual que los formalice y relacione	Modelos conceptuales, de datos y matemático
Procesar según leyes y metodologías de las disciplinas agrarias	Modelos de simulación agraria que tratan cada uno de los aspectos de los sistemas agrarios Sistemas de información
Seleccionar las mejores alternativas de manejo, organización o comercialización, a partir de criterios productivos, económicos y ecológicos	Sistemas de soporte de decisiones
Transmitir la información en tiempo y forma adecuadas	Ofimática Telemática Agromática

TABLA 6: HERRAMIENTAS RECOPIACION DATOS

Tomando como inicio estas necesidades, surge el análisis tecnológico de la exploración de procesos de cultivo y siembra de diferentes productos con el fin de identificar los requisitos y problemas para posteriormente la búsqueda de soluciones mediante sistemas de control automatizados.[3], [28]

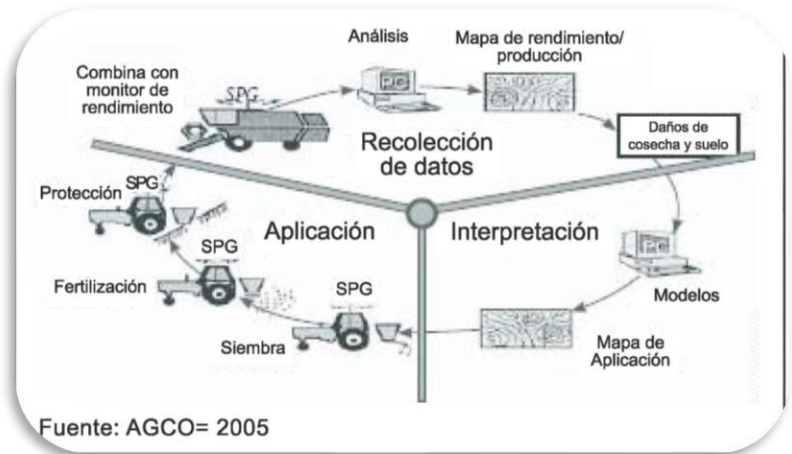


FIGURA 7:TRES ETAPAS AGRICULTURA INTELIGENTE

La identificación de los principales problemas a los que se pueden enfrentar los que se dedican a la agricultura son:

- Infecciones por enfermedades de cultivos
- Falta de gestión de almacenamiento.
- Control de plaguicidas
- Manejo de malezas
- Falta de instalaciones de riego y drenaje



Para cada uno de estos problemas existe la posibilidad de desarrollar prototipos y modelos que permitan disminuir la intervención humana en el proceso de cultivo y mejorar las condiciones ambientales sobre la calidad de los productos finales. [4]

Las principales variables a medir sobre las condiciones ambientales con el fin de recopilar información y posteriormente tomar decisiones y acciones como aplicar los fertilizantes, activar el sistema de riego, etc, son:

Variables1	Variables2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Humedad relativa	<input type="checkbox"/> Luminosidad
<input type="checkbox"/> Temperatura del aire	<input type="checkbox"/> PH
<input type="checkbox"/> Humedad y temperatura del suelo	<input type="checkbox"/> Dirección del viento

TABLA 7:VARIABLES AMBIENTALES

El riego excesivo sobre la planta reduce su producción, degrada la fertilidad del suelo y provoca desperdicio del agua y perjuicio sobre la tierra. En la estimación del cálculo de la cantidad exacta de agua que requiere un cultivo se necesita tener en cuenta las siguientes variables:

- Humedad del suelo
- Temperatura

- Humedad atmosférica
- Consumo de agua de la planta

Un control como la humedad del suelo favorece un aumento de productividad, mejora de la calidad de las cosechas y una disminución en el uso de recursos naturales. [5], [6]

La causa para la implementación de sistemas de riego y control de factores que intervienen en la calidad de los productos agrícolas, es conseguir un uso eficiente del agua y una producción constante durante todo el año teniendo en cuenta los meses de sequía. [34]

Las plantas como seres vivos en la etapa de crecimiento y desarrollo requieren de ambientes favorables que aseguren su vida y ofrezcan una cosecha de calidad en un tiempo promedio establecido dentro de los límites de crecimiento por el tipo de planta.

A la hora de sembrar cualquier tipo de planta se debe tener en cuenta diferentes variables las cuales influirán en aspectos del desarrollo de la planta como el tamaño, su fruto, su velocidad de crecimiento, el sabor, etc:

- niveles de pH
- nutrientes (fosforo, hidrogeno, potasio)
- humedad del suelo
- salinidad
- cantidad de materia orgánica



Cada variable es necesaria para la planta por lo que se precisa de un control continuo sobre cada dato que intervenga en el suelo detectando cualquier aumento o disminución de estas con el fin de dar un aviso sobre los cambios que estén fuera de los rangos de aceptación para cada cultivo en específico.

Los datos acumulados a través de cada variable se generarán como un valor para la toma de decisiones, por lo que es necesario un análisis con precisión. [29], [30]

Con el objetivo de apoyar el intercambio de datos se ha creado **Global Open Data for Agriculture and Nutrition (GODAN)**, que cuenta con el apoyo de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Se pretende la utilización de instrumentos orientados a la adquisición y gestión de datos en el medio rural a través del fomento de colaboración y cooperación de pequeños y medianos agricultores y agricultoras,

cooperativas y PYMES del medio rural para la creación de un ecosistema donde se puedan compartir datos útiles, accesibles y fiables mediante la colaboración. [7], [8], [9], [27]

Atendiendo a la tipología de datos útiles para el sector agrícola se puede decir que responden a tres categorías principales:



FIGURA 8: DATOS ABIERTOS_IMPULSO DE AI[1]



Indicadores estadísticos: Conjuntos de datos distribuidos como una secuencia de números en intervalos regulares de tiempo.



Microdatos: Datos a nivel de unidad obtenidos de encuestas por muestreo, censos, sistemas administrativos o redes de sensores.



Datos geoespaciales: Datos que tienen información de posicionamiento geográfico

La **interoperabilidad** de los datos será promovida con el uso de lenguajes comunes, compatibles y estandarizados en interfaces abiertos con el fin de evitar tecnologías y plataformas cerradas. [31]

A nivel europeo, existen iniciativas que trabajan la interoperabilidad de datos recopilados con el fin de mejorar la productividad y la sostenibilidad en el sector agroalimentario:

- **API-Agro:** Es una iniciativa del mundo agrícola que tiene como objetivo interconectar y federar a los actores de los sectores público y privado, alrededor de una plataforma tecnológica independiente, para desarrollar innovaciones con una visión de agricultura eficiente y responsable.
- **FIWARE:** Es un conjunto de componentes de plataforma de código abierto para acelerar el desarrollo de soluciones inteligentes interoperables en distintos sectores (industria, energía, agroalimentario, etc.)

- **IOF2020:** Internet of Food and Farms 2020 es un consorcio multinacional público-privado integrado por 71 socios que tiene como objetivo el desarrollo de soluciones apoyadas en tecnología de IoT para el sector agroalimentario.

El método para la toma de datos no se diferencia entre las plantas herbáceas de las otras plantas, los matices que se pueden encontrar están vinculados con el tipo de cultivo y con la disposición de la siembra. [10], [32], [35]

Los dispositivos involucrados en los sistemas de producción (tractores, sembradoras, cosechadora,

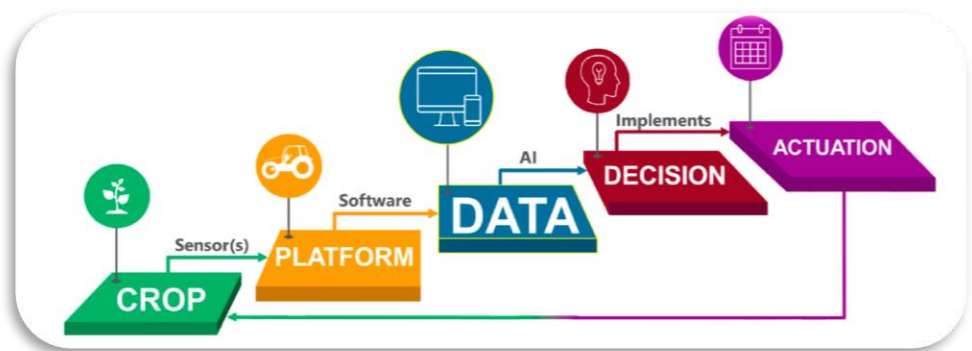


FIGURA 9: CICLO GESTIÓN INFORMACIÓN EN IA[3]

abonadoras, etcétera) son generadores de grandes cantidades de datos que son transferidos a través de redes inalámbricas y almacenados en bases de datos. El procesamiento y análisis de estas bases de datos implican la utilización de hardware potente y software resolutivo que permita hacer uso de una programación con la capacidad de manipular la información con el fin de ser adaptada para ser aplicadas técnicas estadísticas o geoestadísticas: [11], [12], [36]

- **Quantum GIS (QGIS)**, programa de información geográfica profesional ampliamente usado (por ser de libre acceso) para procesar y analizar los datos.
- **ArcGIS** (software privativo)
- **GRASS GIS** (código abierto)

Los parámetros que intervienen en los sistemas productivos agrícolas (suelo, agua, insumos, maquinas, etcétera) generan grandes cantidades de datos (espaciales y temporales) lo que conduce al desarrollo de herramientas informáticas para procesarlos y analizarlos para la creación de estrategias con óptimas opciones por unidad de área.

Una de las formas de crear estas herramientas informáticas es por medio de lenguajes de programación para automatizar tareas repetitivas. Lenguajes de programación tipo Python generan scripts que permiten la depuración de la base de datos con el posterior sometimiento de geoestadística para la creación de mapas de rendimiento integradas a cosechadoras.

Lenguaje de programación R constituyen una experiencia exitosa para el mapeo de variabilidad espacial en agricultura a través de una aplicación web.

O bien a través de aplicaciones Web en Java para el monitoreo y supervisión de variables espaciotemporales (sin procesamiento geoestadístico) medidas por sensores en campo que permiten conocer las condiciones de los cultivos en tiempo real. [13], [14], [26], [33].

Captación_Datos

En la captación de información en el campo y en centros de procesamiento de cultivo de productos agrarios existen varios procedimientos o técnicas aplicadas en la Agricultura Inteligente (AI):

- **Gestión de la variabilidad intraparcularia mediante sensores:** consistente en la gestión de los cultivos de forma

más precisa con divisiones en la parcela sobre las que se realizan diagnósticos con el fin de obtener información.

Estas mediciones son tomadas por medio de sensores de temperatura, humedad, de suelo o incluso de sensores instalados en la propia

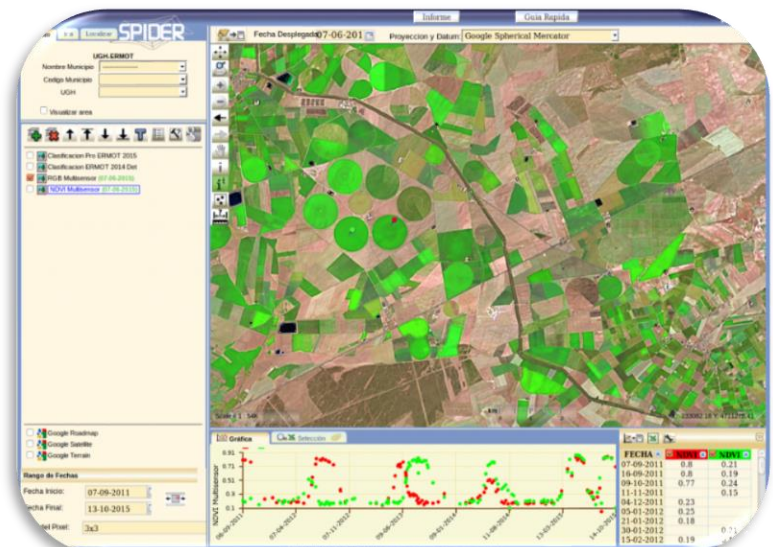


FIGURA 10: SPIDERWEBGIS[23]

maquinaria agrícola que van analizando la cosecha en tiempo real. Algunos de estos ejemplos son, máquinas abonadoras que poseen dispositivos ópticos que detectan la luz que refleja la superficie de cultivo alrededor de la máquina, y calculan en tiempo real mediante un algoritmo la dosis óptima de fertilizante o la aplicación selectiva de herbicida mediante sensores ópticos que detectan las malas hierbas. Estos sistemas disponen de electroválvulas que permiten ajustar el sistema dosificador de acuerdo con las instrucciones recibidas.

- **Sistemas de información geográfica (SIG):** esta tecnología combinada con los sistemas de posicionamiento global (GPS) permiten observar, evaluar y dar respuesta a

la variabilidad de la producción agrícola. Los SIG gestionan información gráfica como mapas, imágenes donde se integran los datos obtenidos del cultivo para mostrar de forma visual las mediciones georreferenciadas.

- **Imágenes multiespectrales aéreas:** en los campos de cultivo de gran extensión se emplean estas técnicas mediante imágenes aéreas satelitales u obtenidas con un UAV (dron o vehículos aéreos no tripulados) con la posterior elaboración de mapas del estado del suelo y los cultivos. Las aplicaciones más comunes de UAV para agricultura de precisión son el mapeo de los campos de cultivos y detección de malas hierbas, la monitorización del crecimiento del cultivo y estimación del rendimiento, la detección de plagas o enfermedades del cultivo, gestión del sistema de riego del sistema de fumigación desde el propio dron.

En la tabla 8, se ofrece una recopilación de aplicaciones informáticas para la gestión de explotaciones agrarias existentes en España. La lista se amplía con empresas de cuatro

Software	Compañía	Características
Agroptima	Agroptima Spain	Aplicación móvil tipo cuaderno electrónico para registrar actividades de campo, productos aplicados, trabajadores implicados, tiempo de trabajo o uso de maquinaria.
AgroSense	Corizon Netherlands and Spain	Fuente abierta. El trabajo realizado, los datos de los campos y los horarios se pueden compartir con contratistas o empleados. Automatizar la información e interpretar las tareas realizadas a través de ISOBUS. Exportación en varios formatos.
SpiderWeb GIS	Agrisat Iberia Spain	Permite la consulta, la gestión y el análisis. Satélite y otras capas de referencia espacial. Los datos correspondientes a cada píxel pueden descargarse en forma de tablas y gráficos temporales.
Visual Green	Visual NaCert Spain	Plataforma web para almacenar los datos de las personas agrícolas. Compatibilidad GreenStar y MyJohnDeere, control de costes, datos agroclimáticos, cuaderno de campo oficial (obligatorio en España), productos autorizados.

TABLA 8: APLICACIONES INFORMÁTICAS GESTIÓN DATOS CULTIVOS[3]

continentes, lo que demuestra que la digitalización de la agricultura es un movimiento global. [3], [15], [16], [37]

Infraestructura_Dispositivos

Una exploración de la infraestructura y dispositivos agrícolas más notables en un sistema de AI se encuentra en los sensores agrícolas de recogida de datos, destacando los **Sensores de temperatura**, tanto de temperatura del suelo, del ambiente o del aire, como de temperatura de la propia planta siendo la temperatura un factor clave del crecimiento del cultivo como la fotosíntesis y una medición precisa es importante para obtener una calidad óptima. **Sensores de humedad ambiente y sensores de humedad del suelo, Sensores de pH del suelo, Anemómetros, Pluviómetros, etc**

La infraestructura más adecuada para interconectar estos sensores es una red inalámbrica de sensores (WSN) la cual se puede integrar con nodos IoT para enviar y recibir los datos a través de Internet, en los siguientes apartados se analizará de forma más detallada la arquitectura de este sistema. [17], [18], [38]

Además de los sensores, otro dispositivo relevante en la AI son las cámaras, generalmente instaladas en un dron, o en casos de monitorización de ubicaciones más precisas, como en invernaderos o pequeños huertos urbanos, pueden instalarse de forma fija. Los tipos de cámaras utilizados en AI son los siguientes:

- **Cámara multispectral:** es una cámara capaz de captar varios espectros de luz no visibles para el ojo humano.

Las bandas espectrales tanto visibles como no visibles de más interés para el sector agrícola son:

- Verde (500–600nm): la reflectancia en esta banda está correlacionada con la cantidad de clorofila, por lo que este color se asocia a una planta sana.
- Rojo (600-700nm): la reflectancia en esta banda ofrece un excelente contraste entre las plantas y el suelo y se utiliza para obtener índices de vegetación
- Borde rojo (700-730nm): esta banda invisible al ojo humano nos ofrece información sobre la salud de los cultivos.

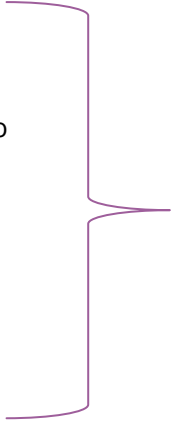
- Infrarrojo cercano (700nm–1.3nm): esta banda no visible tiene la mayor reflectancia y se utiliza tanto para obtener índices de vegetación como para monitorear cambios en la salud del cultivo y análisis hídricos del suelo.
- **Cámara termográfica:** permiten conocer la temperatura del suelo y de los árboles, y hacer una monitorización eficaz del estado hídrico de los cultivos.
- **Cámara de espectro visible (RGB):** se trata de una cámara de imagen real que permite realizar inspecciones de vista aérea en lugares inaccesibles de forma rápida.

En cuanto a la obtención de imágenes, cabe mencionar que las imágenes captadas por satélites también proporcionan información sobre índices de vegetación y son útiles para evaluar las características de terrenos de superficie mayor. [19], [20]

Exploración_Datos

El desarrollo de nuevas técnicas empleadas en la agricultura pasa por la experimentación, datos sujetos a un minucioso examen con la utilización de procedimientos estadísticos apropiados para el diseño de los experimentos y el análisis de los datos.

Los datos fiables obtenidos de la experimentación permiten el establecimiento de comparaciones de tratamientos diferentes y el apoyo o rechazo de las hipótesis de trabajo. El proceso comprende las etapas:

- Definición del problema a resolver
 - Establecimiento de los objetivos
 - Selección correcta de los tratamientos a aplicar en el experimento
 - Diseño experimental
 - Toma correcta de datos
 - Análisis
 - Interpretación
 - Presentación correcta de los resultados
- 

La agricultura es compleja en la relación existente entre el cultivo y las plantas, no siguen una fórmula sencilla dado que no es posible predecir con exactitud cuál será la producción que se obtendrá en determinadas condiciones. La adquisición de datos en experimentos de campo precisa de precaución y cuidado con el fin de evitar errores que pudieran falsear los resultados. [21], [22]

El análisis de datos agrícolas ha supuesto un crecimiento en los últimos años debido a que han emergido un mayor número de maquinarias generadoras de datos (tractores, arados, sembradoras, cosechadoras, etc), equipos y sistemas de monitoreo y control de datos(redes de sensores, estaciones meteorológicas, drones, cámaras, imágenes de satélite, etc), y estos datos requieren su interpretación. [23], [24], [25]

Los datos que se pueden recolectar o generar, con el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en la agricultura, pueden ser a modo de resumen los siguientes:

- Datos en campo (características físico-químicas del suelo, topografía),
- Datos del clima,
- Datos derivados de la interpretación de imágenes de cámaras o satelitales (variabilidad espacial y/o temporal del cultivo),
- Datos de mapas de rendimiento,
- Datos de mapas con prescripciones de aplicación de insumos,
- Datos históricos,
- Otros datos internos o externos.

El uso generalizado de la analítica de datos, Big Data, Internet de las Cosas, Machine Learning y el surgimiento de Deep Learning, ha conllevado que la ciencia de los datos sea aplicada como proceso de obtención, transformación y modelado de datos para la construcción de algoritmos y sistemas para detectar patrones de comportamiento que ayuden en la toma de decisiones.

Existen una variedad de herramientas tanto para la gestión de datos como para la visualización y analítica de datos, como se puede ver en la Tabla 9.

Tipo de Herramienta	Herramienta
Gestión de datos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gestores de bases de datos relacionales: PostgreSQL, Oracle DB, Mysql, Microsoft SqlServer, Teradata, Netezza, etc. ▪ Gestores de bases de datos NoSQL: MongoDB, Couchbase, Amazon DynamoDB, Casandra, etc. ▪ Big data: Hadoop, Mahout, Hive, Spark, Kafka, Apache Cloudera, Apache Hortonwork , etc. ▪ Motores de búsqueda: Elasticsearch, Microsoft Azure Search, Splunk, Google Search Appliance, etc.
Análisis y visualización de datos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Extracción Transformación y Carga (ETL) e integración de datos: Pentaho Data Integration, Talend, Denodo, etc. ▪ Inteligencia de Negocios: Microsoft PowerBI, Pentaho, QlikView, Tableau, Microstrategy, Oracle BI, IBM Cognos, Eclipse BIRT, JasperReport, etc. ▪ Estadística y Minería de datos: R, Python, SPSS, Minitab, Orange, RapidMiner, Weka, Knime, etc. ▪ Aprendizaje de Máquina (machine learning): MatLab, Mathematica, SPSS, TensorFlow, Microsoft Azure Machine Learning, Apache Mahout, OpenCV, KNIME, R, Python, etc.

TABLA 9:HERRAMIENTAS ANÁLISIS DATOS[74]

[4]

Analisis_Diseño

Componentes_Principales

Sensorizacion_Terrestre

IoT-WSN

Teledeteccion

Sensorizacion_Remota

Satelites

Drones

Análisis_Diseño

En últimas décadas, el sector agroalimentario ha conseguido grandes logros a la hora de hacer frente a retos en sostenibilidad y salud alimentaria. Estas mejoras han sido conseguidas principalmente con tecnologías digitales, como la mecanización de las operaciones de campo y métodos agrícolas más respetuosos con el medio ambiente. Sin embargo, sigue siendo necesario un aumento de la productividad alimentaria para la creciente población mundial y hacer frente al cambio climático, la eficiencia de los recursos, la reducción de residuos y estilos de vida más saludables para los consumidores. [39]

Las características más relevantes a cumplir por un sistema de Agricultura Inteligente (AI) y vinculadas con las mejoras del sector agroalimentario, son:

- Bajo consumo de energía
- Heterogeneidad con respecto a ancho de banda (desde baja transmisión de datos de los sensores, hasta alto ancho de banda para imágenes de drones)
- Escalabilidad, opción de ampliar la red con más sensores y dispositivos.
- Uso de tecnologías de comunicación existentes en zonas rurales
- Disponibilidad tanto de datos más recientes como de datos históricos para diferentes aplicaciones

Componentes_Principales

El Internet de las Cosas (IoT) se presenta como un paradigma muy prometedor para mejorar la productividad y la sostenibilidad. Comprende redes de objetos conectados y sensibles al contexto que pueden ser identificados, detectados y controlados a distancia y en la que los datos son conseguidos por medio de sensores inalámbricos agrícolas, cámaras y drones (UAV). Cuando se combina con otras tecnologías, se acepta rápidamente, debido al flujo de información digital en tiempo real y a los beneficios en la gestión de procesos y servicios. [40]

La figura 11 se corresponde a un diagrama de AI basada en IoT, el cual consta de cuatro componentes principales: la estructura física, la adquisición de datos, el procesamiento y análisis de datos.

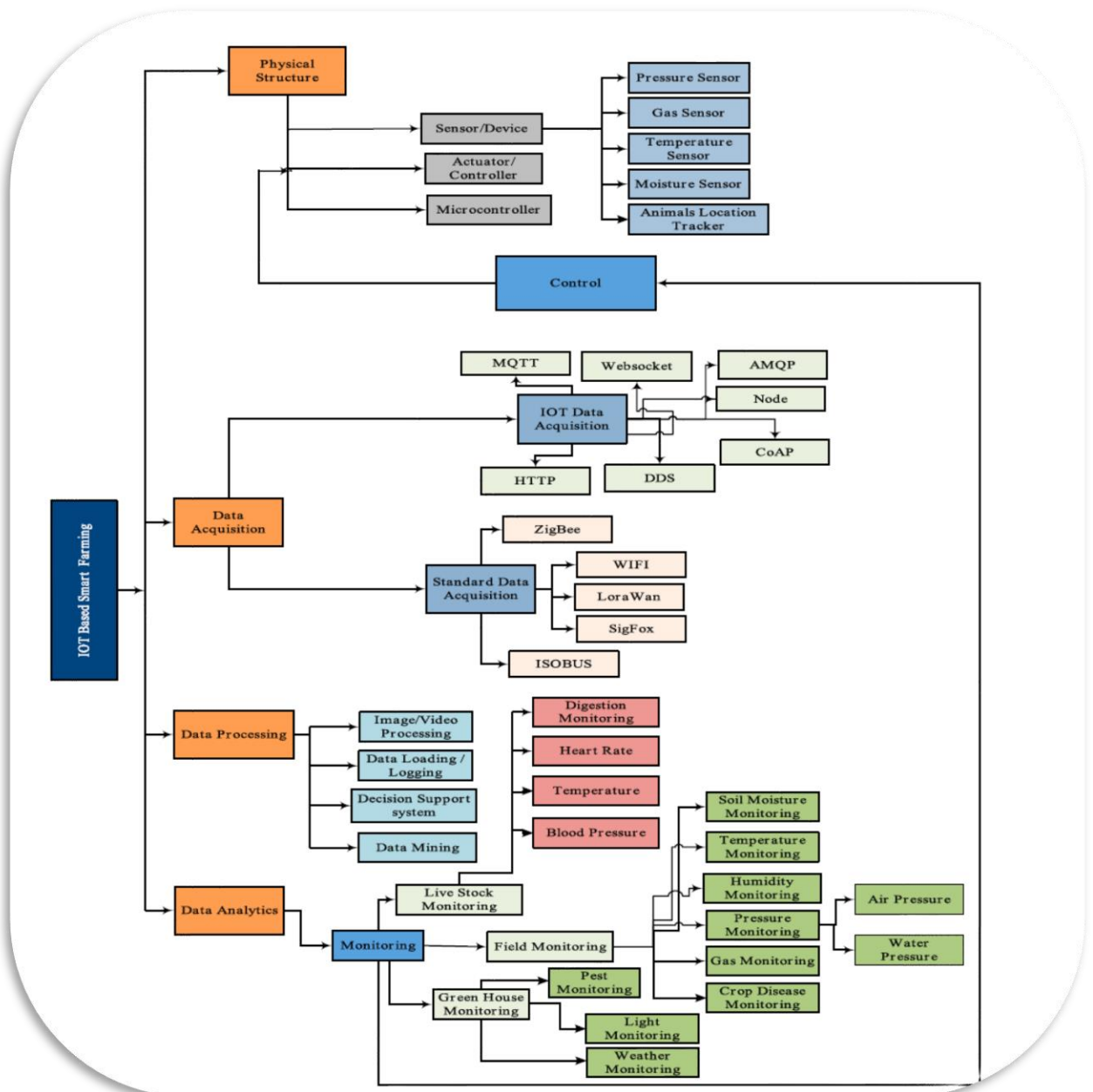


FIGURA 11: PRINCIPALES COMPONENTES DE AI BASADA EN IOT[66]

✔ La **estructura física** es considerada la parte más importante dentro de la AI y se diseña para ser controlada por sensores, actuadores y dispositivos tipo cámaras, drones, etc.

Un sensor realiza múltiples tareas como la detección del suelo, temperatura, luz, humedad, además de llevar a cabo funciones de control, como el descubrimiento de nodos, la identificación de dispositivos, etc. Todas estas funciones son hechas por sensores controlados por un microcontrolador y la operación de control es realizada por un equipo remoto u ordenador conectado a través de Internet. [41]

Los subsistemas de obtención de datos emplean un protocolo de comunicación acorde a los requisitos de ancho de banda de cada uno de ellos. En cuanto al almacenamiento y procesamiento de datos, el sistema de sensores y las cámaras envían los datos e imágenes de forma periódica desde el **gateway** directamente a la nube a través de una conexión

GPRS/3G/LTE. A diferencia de los datos obtenidos por el dron que son procesados en un ordenador de forma local debido al mayor tamaño de datos como imágenes y videos y, los resultados obtenidos se envían a la nube para poder acceder a ellos a través de una conexión a Internet.

Los elementos del sistema son:

- **Sistema de sensores**, se considera uno de los más importantes sistemas para la adquisición de datos. Compuesto por nodos de sensores que contienen sensores de temperatura y humedad tanto del suelo como del ambiente.

Estas variables recogidas contienen información sobre la salud de las plantas y detectan una posible plaga en una zona concreta del cultivo, para poder aplicar los tratamientos fitosanitarios adecuados y gestionar la cantidad de riego adecuada en cada caso.

- **Sistema de dron**, a través del cual se obtienen imágenes multispectrales del cultivo que proporcionan información sobre su salud. El objetivo es la obtención de una visión global del estado del

campo y, en caso de detectar una zona afectada, se combina esta información con la información recogida por los sensores para el análisis de los síntomas y la determinación de



FIGURA 12: PRODUCTOS AGRÍCOLAS IOT SELECCIONADOS [66]

las causas de la planta o zona afectada. En caso de detectarse alguna anomalía se pueden

obtener imágenes más concretas que son llevadas a un ordenador donde se ejecute un algoritmo tipo Deep Learning por ejemplo, para la localización o la determinación de la plaga.

- **Sistema de cámaras**, monitorizan continuamente alguna zona o planta del cultivo a la que se requiera hacer un seguimiento en la aplicación de ciertos tratamientos, fertilizantes, etc. Las cámaras envían estas imágenes a la nube a través de una red WiFi establecida por un router con conexión de datos móviles y también se puede acceder a ellas desde una red local.
- **Nodo de procesamiento local**, se trata de un ordenador local en el que se ejecuta el algoritmo con las imágenes obtenidas por el dron y las cámaras, además del software correspondiente para las imágenes multispectrales. Una vez se han procesado los datos estos resultados se envían a la nube para combinarse con los datos obtenidos por los sensores. [72]

En este nodo de procesamiento local podría integrarse también el nodo coordinador de sensores, con la diferencia que los datos de los sensores se recibirán más frecuentemente y el del nodo coordinador ha de estar funcionando la mayor parte del tiempo clasificando imágenes con una frecuencia menor.

- **Servidor en la nube**, es donde se almacenan y procesan los datos obtenidos por los sensores y los datos obtenidos del sistema de detección de plagas, para que el usuario puede acceder a ellos de forma remota a través de una interfaz web o aplicación. [42], [71]

➤ La **adquisición de datos** se divide a su vez en dos subcomponentes:

- △ Adquisición de datos IoT
- △ Adquisición de datos estándar.

El componente de **adquisición de datos IoT** consta de siete protocolos:

- Message Queuing Telemetry Transport (MQTT),
- WebSocket,
- Advanced Message Queuing Protocol (AMQP),
- Node,
- Constrained Application Protocol (CoAP),
- Data Distribution Service (DDS)
- Hyper Text Transfer Protocol (HTTP).



En función de los requisitos y las condiciones, pueden utilizarse más protocolos para la implantación de la agricultura inteligente.

Mientras que en la **adquisición de datos estándar** se han utilizado los protocolos:

- ZigBee,
- WIFI,
- Long Range Wide Area Network (LoraWan),
- SigFox
- ISOBUS.

✔ El **procesamiento de datos** consta de múltiples características que son:

- △ **Procesamiento de imágenes o vídeo,**
- △ **Carga de datos**
- △ **Sistema de apoyo a la toma de decisiones**
- △ **Minería o extracción de datos.**

Según los requisitos del sistema, se puede añadir cualquier función que trabaje en paralelo para proporcionar otros servicios. [43]

✔ El **análisis de datos** consta de dos funciones principales:

- △ Supervisión o monitorización
- △ Control.

La **monitorización** implica tres aplicaciones principales en la agricultura inteligente:

- △ **Monitorización del ganado vivo** (control de diferentes enfermedades, la temperatura, la frecuencia cardíaca, la digestión, etc)
- △ **Monitorización del campo** (información de riqueza del suelo, temperatura, humedad, gas, presión (presión atmosférica y presión del agua) y enfermedades de los cultivos)
- △ **Monitorización del invernadero** (medición de diferentes parámetros climáticos mediante dispositivos y sensores IoT inteligentes en función de las necesidades de las plantas).

Un posible caso de uso del funcionamiento del sistema en su conjunto sería, por ejemplo:

- a) Se detecta en las imágenes un tipo de enfermedad en una región de la plantación.
- b) Se procesa el histórico de condiciones ambientales del cultivo obtenidas por los sensores en la región afectada, para detectar exceso de humedad, de temperatura, u otros factores.

- d) Se obtiene un informe para el agricultor o agricultora por si hay que modificar algún parámetro del cuidado del cultivo, por ejemplo, un exceso o falta de riego, o la aplicación de un producto fitosanitario específico para la enfermedad detectada. [44]

Sensorización_Terrestre

Con respecto al subsistema de sensores, este consiste en múltiples sensores ubicados en distintos puntos del cultivo para monitorizar variables como la temperatura, la humedad, el pH del suelo, etc.

- **Sensor de temperatura del suelo**, aporta información sobre la temperatura de la raíz de la planta y sus condiciones de actividad productiva o condiciones favorables para la aparición de plagas o enfermedades en el cultivo.
- **Sensor de humedad del suelo**, mide el contenido volumétrico de agua por unidad de volumen de suelo obteniendo información sobre las variaciones de la condición hídrica del suelo para ajustar el programa de riego.
- **Sensor de temperatura y humedad del aire**, ofrece información acerca de parámetros como el nivel de evapotranspiración de las plantas y junto con otras variables como la humedad del suelo nos ayuda a controlar y ajustar el nivel de riego del cultivo.
- **Sensor de pH del suelo**, indican el nivel de acidez del suelo. Esta medida es relevante en los cultivos ya que está relacionada con la solubilidad de los fertilizantes y efectividad de tratamientos con insecticidas y fungicidas.
- **Sensor de humedad de la hoja**, diseñado para reproducir el comportamiento termodinámico de una hoja, que detecta la presencia de condensación y determina el grado de humectación en su superficie sensible. Esta información es relevante para la aplicación correcta de tratamientos fitosanitarios y evitar infecciones en los cultivos.
- **Estación meteorológica**, se trata de un nodo que obtiene información sobre las condiciones meteorológicas compuesto por un anemómetro para medir la velocidad del viento, un pluviómetro para medir las precipitaciones y una veleta de viento para medir la dirección del viento, entre otros elementos. Estos datos son importantes para planificar la aplicación de tratamientos fitosanitarios y para la gestión del riego del cultivo.

La salud de las plantas se ve afectada por muchos factores, como la humedad del suelo, la

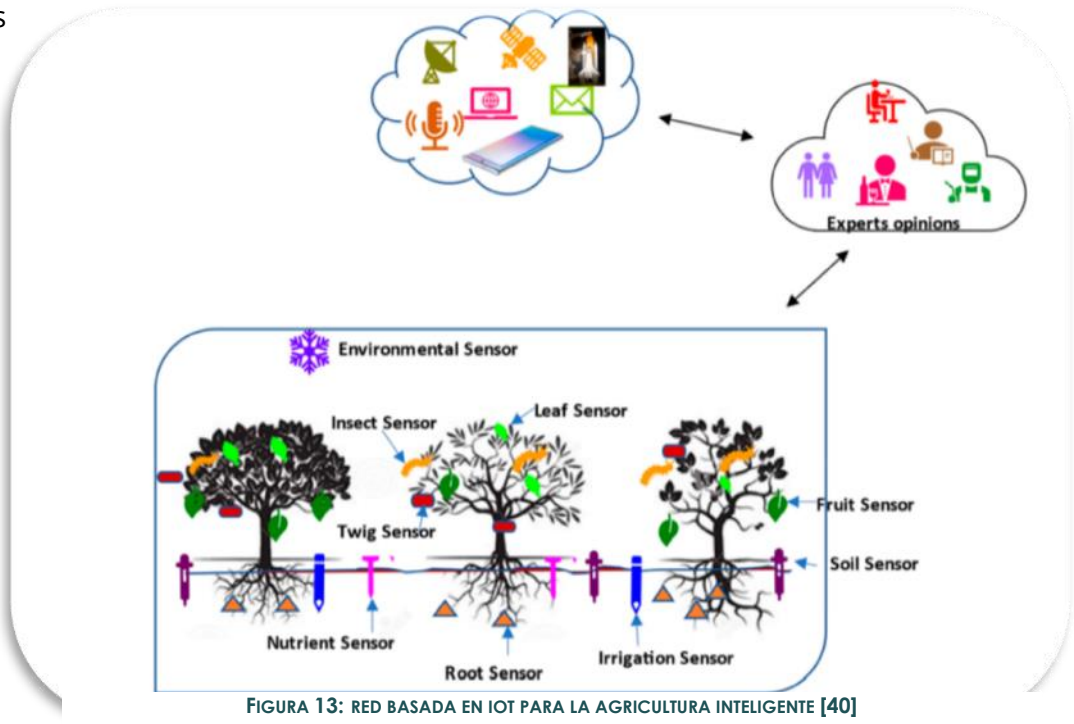


FIGURA 13: RED BASADA EN IOT PARA LA AGRICULTURA INTELIGENTE [40]

disponibilidad

de nutrientes, la exposición a la luz, la cantidad de lluvia, el color de las hojas, etc. Las plantas se controlan manteniendo la temperatura y la intensidad de luz óptimas, y conservando el agua y la energía mediante microrriego.

Se utilizan diferentes sensores para detectar muchos parámetros. Si cruzan un umbral, el sensor muestra los cambios y los transmite al microcontrolador para que realice las acciones necesarias hasta que el parámetro vuelva a su nivel óptimo. [45], [73]

Los sensores de temperatura, humedad, monitorización del suelo, sensor de flujo de aire, localización, CO₂, presión, luz y humedad se utilizan generalmente en las tecnologías de detección. Entre las características más destacadas de los sensores se incluyen la fiabilidad, la memoria, la portabilidad, la durabilidad, la cobertura y la eficiencia computacional, y los hacen adecuados para la agricultura.

Los sensores inalámbricos disponibles en la actualidad desempeñan un papel fundamental a la hora de recopilar datos sobre las condiciones de los cultivos y proporcionar otro tipo de información. Estos sensores son de tipo autónomo y pueden integrarse con avanzadas herramientas agrícolas y maquinaria pesada, en función de las necesidades de la aplicación.

En la tabla 10 se complementa la información de otros tipos de sensores, con su correspondiente procedimiento de trabajo.

Sensores	Aplicaciones	Metodología
Acustica	Control y detección de plagas clasificando variedades de semillas, recolección de frutos	Medición de las variaciones del nivel de ruido al entremezclarse con otros materiales, por ejemplo, partículas del suelo
Sensores de flujo de aire	Medición de la permeabilidad al aire, la humedad y la estructura del suelo en posición estática o móvil	Basándose en diversas propiedades del suelo.
Sensores basados en la covarianza de Foucault	Cuantificación los intercambios de CO ₂ , vapor de agua, metano u otros gases. Medición de la atmósfera superficial y de los flujos de gases en diversos ecosistemas agrícolas.	Medición de flujos continuos en grandes áreas.
Sensores electroquímicos	Análisis de los niveles de nutrientes del suelo y el pH	Los nutrientes del suelo, la salinidad y el pH se miden mediante sensores
Sensores electromagnéticos	Registro de la conductividad eléctrica, las respuestas electromagnéticas, los nitratos residuales y la materia orgánica del suelo	Los circuitos eléctricos miden la capacidad de las partículas del suelo para conducir o acumular carga eléctrica
Matriz de puertas programables en campo (FAAA) basados en sensores	Medición de la transpiración de las plantas en tiempo real, el riego y la humedad	Los chips de silicio programables y los bloques lógicos están rodeados de recursos programables interconectados del circuito digital
Detección y alcance de la luz (LIDAR)	Cartografía de terrenos, determinación del tipo de suelo modelización de explotaciones en 3D, control de la erosión y pérdida de suelo, y previsión de rendimientos.	Los sensores emiten ondas de luz pulsadas y rebotan al chocar con objetos y se devuelven al sensor. El tiempo que tarda cada pulso en volver se utiliza para evaluación
Sensores de flujo másico	Control del rendimiento basado en la cantidad de flujo de grano a través de una cosechadora.	Detección del flujo másico de grano con módulos, p. ej., sensor de humedad del grano, dispositivo de almacenamiento de datos y un software interno.
Sensores mecánicos	Compactación del suelo o resistencia mecánica	Los sensores registran la fuerza evaluada mediante galgas extensométricas o células de carga
Sensores ópticos	Sustancias orgánicas del suelo, humedad del suelo, color, minerales, composición, contenido de arcilla, etc. Los sensores ópticos basados en la fluorescencia se utilizan para supervisar la maduración de los frutos.	Los sensores utilizan fenómenos de reflectancia de la luz para medir los cambios en la reflexión de las ondas
Sensores optoelectrónicos	Diferencian tipos de plantas para detectar malas hierbas en cultivos en hileras anchas	Los sensores diferencian en función de los espectros de reflexión

Sensores basados en el nivel de agua blanda (SWLB)	Utilizados en cuencas hidrográficas para caracterizar comportamientos hidrológicos (nivel y caudal del agua, adquisiciones por pasos temporales)	Medición de precipitaciones, caudal de arroyos y otras opciones de presencia de agua
Sensores ultrasónicos de alcance	Supervisión de depósitos, medición de la distancia de pulverización, cobertura uniforme de la pulverización, detección de objetos, control de la cubierta vegetal y detección de malas hierbas	Un sensor ultrasónico utiliza un transductor para enviar y recibir impulsos ultrasónicos que transmiten información sobre la proximidad de un objeto
Sensores telemáticos	Evaluación de la ubicación, las rutas de desplazamiento y las actividades de las máquinas y las explotaciones.	Telecomunicación entre lugares (especialmente puntos inaccesibles)
Teledetección	Evaluación de cultivos, modelización del rendimiento, previsión de la fecha de rendimiento, cartografía de la cubierta terrestre y la degradación, previsión, identificación de plantas y plagas, etc.	Los sistemas de sensores basados en satélites recogen, procesan y difunden datos medioambientales desde plataformas fijas y móviles.

TABLA 10: TIPOS DE SENSORES Y SUS APLICACIONES[40]

Las técnicas, como la fotoelectricidad, el electromagnetismo, la conductividad y los ultrasonidos, se utilizan para estimar la textura y estructura del suelo, el nivel de nutrientes, la vegetación, la humedad, el vapor, la temperatura, etc. Los datos de teledetección pueden diferenciar entre tipos de cultivos, clasificar plagas y malas hierbas, localizar el estrés en las condiciones del suelo y las plantas, y vigilar la sequía [46], [74]

Las características y requisitos de esta red de sensores son los siguientes:

- **Ancho de banda bajo**, los sensores envían datos periódicamente y estos no sobrepasan la magnitud de kbps por lo que no se requiere un gran ancho de banda.
- **Bajo consumo de energía**, en este tipo de infraestructura es muy importante tener en cuenta la autonomía de los sensores y el consumo de energía de la red. Se trata de múltiples sensores inalámbricos instalados a lo largo de la superficie de cultivo por lo que se espera que no requieran un alto nivel de mantenimiento y que la batería de estos dure un largo periodo de tiempo, o en caso de algún tipo de sensor específico, que disponga de baterías recargables con luz solar.
- **Alta disponibilidad de los datos**. Frente a los cortes de red es importante disponer de alguna tecnología de respaldo para obtener la mayor disponibilidad posible y no perder largos periodos de tiempo sin datos.
- **Escalabilidad**, hay que tener en cuenta que este sistema sea escalable para tener la posibilidad de instalar diferentes sensores o ampliar el área de monitorización.

Teniendo en cuenta los requisitos anteriores, la arquitectura más apropiada para desplegar nuestra red de sensores sería una WSN (Wireless Sensor Network).

Con respecto a WSN (redes de sensores inalámbricos), están definidas como una red formada por nodos autónomos de sensores distribuidos espacialmente y conectados entre sí de forma

inalámbrica, con el propósito de monitorizar y obtener datos ambientales y enviar los datos a un nodo central que los reenviará o los procesará para obtener resultados para el usuario final. [47]

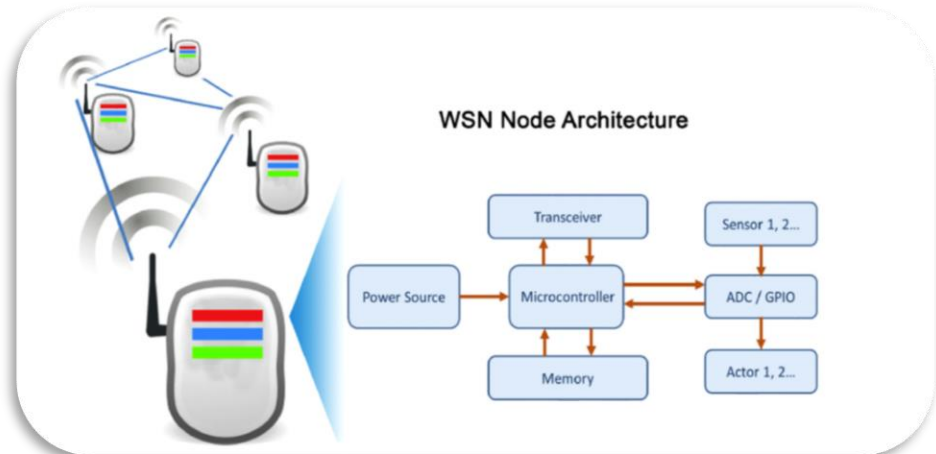


FIGURA 14: ARQUITECTURA DE UN NODO SENSOR[39]

Existen diferentes **arquitecturas o escenarios de WSN**:

- ▲ **Redes de sensores**, utilizadas en la detección y el control de infraestructuras agrícolas como invernaderos, en la que existen múltiples nodos sensores conectados a un nodo coordinador, que se encarga de enviar todos los datos obtenidos a un servidor local. En este tipo de WSN no se requiere conexión a internet ya que los datos se procesan de forma local.
- ▲ **Redes de sensores multimedia** para la captación y el procesamiento de imágenes a distancia para la detección de insectos y enfermedades de las plantas. Envío de datos mediante Internet a un servidor en la nube o para realizar computación en la nube, en este caso los datos serían accesibles a través de una conexión a Internet.
- ▲ **Redes basadas en etiquetas (RFID, NFC)** para el seguimiento de productos y la identificación remota.

Las características específicas de la situación y el entorno deben tenerse en cuenta en el despliegue de los nodos, siendo estas:

- Los cultivos u otros obstáculos en las tierras de cultivo cuyas posiciones pueden moverse, causan considerables interferencias en la comunicación entre los nodos. Este movimiento variable de obstáculos perjudica la calidad de la conexión de los enlaces, haciéndola

variable con el espacio y el tiempo, afectando al despliegue el enrutamiento, el diagnóstico de fallos y otros aspectos de las WSN.

- Los factores ambientales adversos, como la temperatura, la humedad, la lluvia y la alta radiación solar, el efecto sombra de las hojas, así como el ruido producido por las estructuras de los

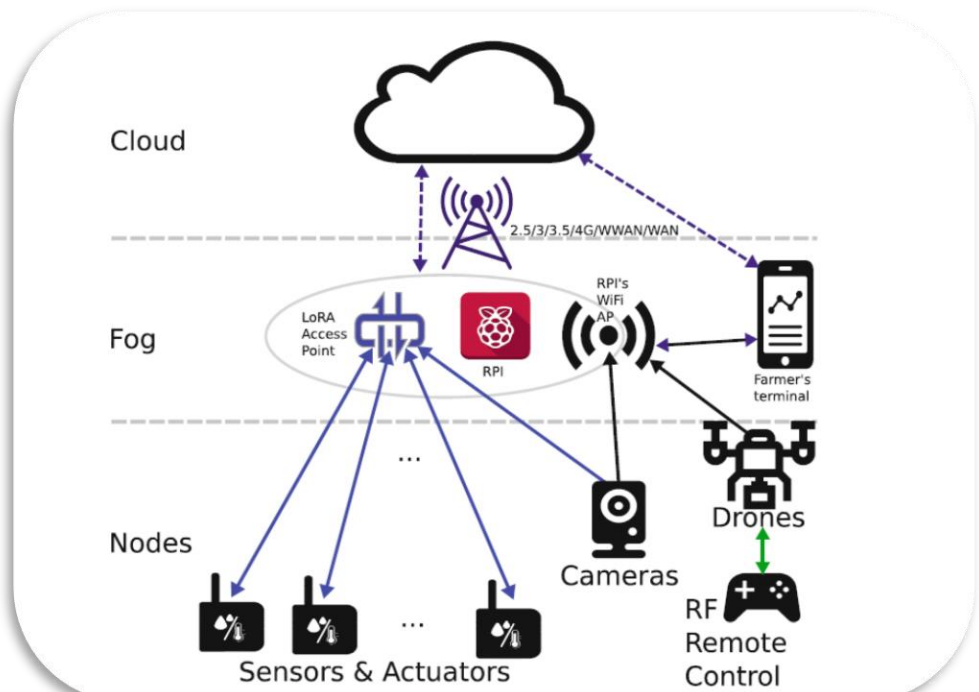


FIGURA 15: ARQUITECTURA PROPUESTA PARA LA AGRICULTURA IMPULSADA POR LA IO[37]

edificios como los invernaderos, perjudica la calidad de la conexión de los enlaces

Los módulos de sensores deben ser lo suficientemente precisos, con el rango de medición adecuado para la situación en cuestión y estar protegidos contra los factores ambientales que pueden crear lecturas falsas o incluso destruir el sensor de forma permanente. [48], [75]

En los casos de nodos que funcionan con baterías, colocados en campos abiertos u otras instalaciones agrícolas, sustituir la fuente de alimentación puede ser una tarea muy difícil, si no imposible. Por lo tanto,

- Las restricciones de energía afectan a la selección del hardware y las características de bajo consumo de los dispositivos periféricos seleccionados siempre se tienen en cuenta al diseñar un nuevo sistema.
- En cuanto al software, los componentes que se van a integrar para implementar la funcionalidad de un dispositivo final tienen que ser cuidadosamente inspeccionados.

Otras características que hacen que un dispositivo integrado de bajo consumo sea seleccionable para un despliegue son:

- Estabilidad a largo plazo,

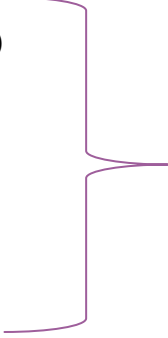
- Número de entradas/salidas digitales y analógicas que determinan el número de dispositivos periféricos (sensores y actuadores) que puede soportar,
- Capacidad de ser sostenible mediante módulos de captación de energía y, el esfuerzo requerido para su programación.

IoT-WSN

Durante los últimos años, el término Internet se ha expandido en la agricultura convirtiéndose para los investigadores en un reto obtener el potencial óptimo. Con el tiempo, el término Internet se ha asociado a las cosas y ahora se reconoce como IoT. Como su nombre indica, establece una conexión o red entre diferentes dispositivos, además de compartir información y almacenarla en las bases de datos con el fin de tener un control y acceso a la información desde cualquier parte del mundo, con el requisito de tener un dispositivo con acceso a internet. [49], [76]

Las cosas se unen a Internet a través de redes de sensores inalámbricos (WSN), identificación por radiofrecuencia (RFID), comunicación de campo cercano (NFC), evolución a largo plazo (LTE) y otras tecnologías de comunicación inteligente.

Las tecnologías inalámbricas dominantes en el ámbito de la IoT se dividen en siete categorías principales:

- Sistema Global de Comunicaciones Móviles (Groupe Special Mobile e GSM)
 - Redes de área personal inalámbricas (WPAN),
 - Redes de área regional inalámbricas (Cognitive Radio/WRAN),
 - Redes de malla,
 - Redes punto a punto (P2P) y
 - Redes de área amplia de baja potencia (LPN/LPWAN).
- 

El estándar GSM se divide a su vez en Red de Acceso Radioeléctrico GSM EDGE (GERAN) y Red de Acceso Radioeléctrico Terrestre UMTS (UTRAN). Se han desarrollado numerosos dispositivos inalámbricos sobre los distintos estándares inalámbricos. Como en muchos aspectos de la IoT, la interoperabilidad es el mayor reto.

- ◉ El concepto de **interoperabilidad** en la IoT puede expresarse de muchas maneras. La interoperabilidad técnica, sintáctica, semántica y organizativa.

- ▷ **Interoperabilidad técnica** está asociada a los componentes de hardware y software, con el objetivo de proporcionar intercambio de información sin fisuras entre sistemas (M2M).
- ▷ **Interoperabilidad sintáctica** tiene que ver con los formatos de datos, es decir, la sintaxis que deben tener los mensajes para ser intercambiados entre los sistemas, en forma de tablas de bits o lenguajes de alto nivel (HTML, XML, etc.).
- ▷ **Interoperabilidad semántica** tiene un valor especial para los usuarios finales, ya que tiene que ver con la interpretación humana y la comprensión de los contenidos producidos por los sistemas de IoT.
- ▷ **Interoperabilidad organizativa** es de gran importancia cuando se trata de la escalabilidad de IoT.

La capacidad de comunicarse eficazmente y de transferir datos significativos a través de sistemas y/o regiones geográficas muy diferentes es la clave del éxito de las infraestructuras de IoT distribuidas y globales.

Otro reto, común en las comunicaciones inalámbricas, es la **interferencia** entre dispositivos que operan en la misma banda (Bluetooth, ZigBee y WiFi, por ejemplo) o en bandas vecinas. Un intento de resumir los estándares inalámbricos más populares del IoT se presenta en la tabla.

Como puede verse en la tabla 11, las comunicaciones inalámbricas del IoT ofrecen una gran variedad de ancho de banda, rango de comunicación, consumo de energía y medidas de seguridad. La variedad de tecnologías y estándares, así como la diferenciación entre los proyectos de IoT y sus requisitos específicos dificultan la interoperabilidad en la capa de red. [50], [78], [39]

Cuando se trata de **extensiones agrícolas**, la alta temperatura y la alta humedad son dos fenómenos muy comunes; la temperatura tiene un efecto significativo en la intensidad de la señal recibida (RSS) cuando aumenta de 25°C a 65°C.

En el caso de los campos abiertos, los nodos inalámbricos están directamente expuestos a la lluvia o a los sistemas de riego.

Wireless technology	Wireless standard	Network type	Operating frequency	Max. range	Max data rate & power	Security
WiFi	IEEE 802.11a, 11b, 11g, 11n, 11ac, 11ad	WLAN	2.4, 3.6, 5 GHz 60 GHz	100 m,	6-780 Mbps 6.75 Gbps at 60 GHz 1 Watt	WEP, WPA, WPA2
Z-wave	Z-wave	Mesh	908.42 MHz	30 m	100 Kbps, 1 mW	Triple DES
Bluetooth	Bluetooth (Formerly IEEE 802.15.1)	WPAN	2400-2483.5 MHz	100 m	1-3 Mbps, 1 W	56/128 bit
6LowPAN	IEEE 802.15.4	WPAN	908.42 MHz or 2400-2483.5 MHz	100 m	250 Kbps, 1 mW	128 bit
Thread	IEEE 802.15.4	WPAN	2400-2483.5 MHz	N/A	N/A	N/A
Sigfox	Sigfox	WPAN	908.42 MHz	30-50 km	10-1000 bps	N/A
LoRaWAN	LoRaWAN	WPAN	Various	2-15 km	0.3-50 kbps	N/A
BluetoothSmart (BLE)	IoT Inter-connect	WPAN	2400-2483.5 MHz	100 m	1 Mbps, 10-500 mW	128 bit AES
Zigbee	IEEE 802.15.4	Mesh	2400-2483.5 MHz	10 m	250 Kbps, 1 mW	128 bit
THREAD	IEEE 802.15.4, 6LoWPAN	Mesh	2400-2483.5 MHz	11 m	251 Kbps, 2 mW	128 bit AES
RFID	Many standards	Point to Point	13.56 MHz	1 m	423 Kbps, about 1 mW	Possible
NFC	ISO/IEC 13157	Point to Point	13.56 MHz	0.1m	424 Kbps, 1-2 mW	Possible
GPRS	3GPP	GERAN	GSM 850, 1900 MHz	25 km/10 km	171 Kbps 2 W/1 W	GEA2/GEA3/GEA4
EDGE	3GPP	GERAN	GSM 850/1900 MHz	26 km/10 km	384 Kbps, 3 W/1 W	AS/4, AS/3
HSDPA/HSUPA	3GPP	UTRAN	850/1700/1900 MHz	27 km/10 km	0.73-56 Mbps, 4 W/1 W	USIM
LTE	3GPP	GERAN/UTRAN	700-2600 MHz	28 km/10 km	0.1-1 Gbps, 5 W/1 W	SNOW 3G Stream Cipher
ANT+	ANT + Alliance	WSN	2.4 GHz	100 m	1 Mbps, 1 mW	AES-128
Cognitive Radio	IEEE 802.22 WG	WRAN	54-862 MHz	100 km	24 Mbps, 1 W	AES-GCM
Weightless-N/W	Weightless SIG	LPWAN	700/900 MHz	5 km	0.001-10 Mbps, 40 mW/4 W	128 bit

TABLA 11: TABLA RESUMEN DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS IOT[39]

En los **invernaderos**, la humedad relativa puede superar el 80% durante largos periodos de tiempo. Se ha demostrado que la humedad afecta en gran medida a la propagación de las ondas radioeléctricas. Por lo tanto, el número de nodos, la distancia entre ellos, la altura de la antena y la frecuencia de funcionamiento en función del tamaño deseado de los mensajes son cuestiones importantes que deben tenerse en cuenta al elegir un transmisor inalámbrico para un despliegue agrícola. [51], [39]

Los elementos estructurales de la IoT revelan claramente el gran potencial de estas tecnologías en los ámbitos de la agricultura inteligente. Los recientes avances en la tecnología de sensores junto con la miniaturización de la electrónica y el gran descenso de su coste han contribuido en gran medida a la evolución de la agricultura tradicional a la agricultura inteligente.

Sensores climáticos, sensores terrestres, sensores de radiación, estaciones meteorológicas (hechas de sensores) ponen de relieve que toda gira en torno a los sensores y flujos de datos de los sensores, que se almacenan y utilizan para la supervisión, la extracción de conocimientos, el razonamiento y el control. Además, en últimos años, hay una creciente demanda de productos agrícolas calidad y seguridad. Esta tendencia ha generado la necesidad de sistemas de trazabilidad logística interoperables, distribuidos, robustos y precisos.

La familia de tecnologías IoT proporciona todas las herramientas adecuadas para construir y mantener dicha infraestructura y servicios, especialmente diseñados para apoyar las cadenas de suministro en los sectores agrícola. [52], [79]

La localización del entorno en el que se produce la respuesta de las plantas al clima es crucial para tomar las

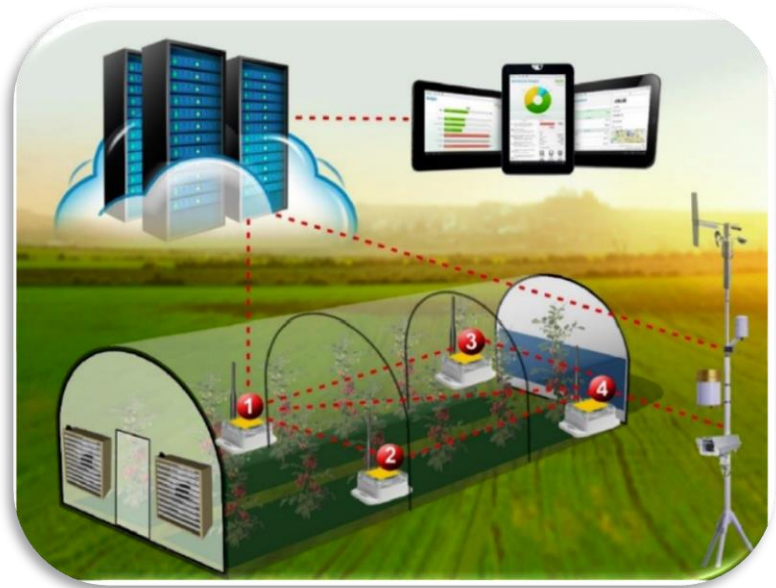


FIGURA 16: SOLUCIONES IoT EN LA NUBE[39]

decisiones correctas y más precisas, optimizando la productividad y la calidad de las variedades cultivadas. Las WSN tradicionales han evolucionado recientemente hacia las **IoT friendly-WSN**, adoptando estándares más genéricos en términos de comunicación, permitiendo el acceso remoto a Internet e implementando algoritmos inteligentes para el meta-procesamiento de los datos con el fin de mejorar la supervisión y/o el control.

Los diversos dispositivos, pueden utilizarse con baterías, y funcionar durante largos periodos con o sin la asistencia de módulos de recolección de energía. Además, los dispositivos integrados modernos tienen recursos suficientes para soportar sensores más exigentes, como los de imagen, y el soporte de protocolos de red más sofisticados, como TCP/IP, que amplían las capacidades de red de las WSN tradicionales. Una clasificación aproximada sobre supervisión y control podría ser:

- **Seguimiento** y, en algunos casos, creación de alertas tempranas, mediante normas simplificadas. Esto incluye el seguimiento multipunto para captar y absorber los gradientes climáticos en los cultivos de invernadero.
- **Monitorización**, metaprocesamiento (implementaciones de algoritmos/modelos en el lado del servidor/nube) y control, incluyendo sugerencias de control al usuario y control totalmente automatizado.
- **Monitorización mediante sensores** más exigentes desde el punto de vista computacional, como los sensores de imagen y los nodos finales más potentes. Las imágenes capturadas se utilizan para la simple supervisión del sistema, o se utilizan para

el procesamiento de imágenes a bordo, en el de la red (Fog computing) o en una infraestructura basada en la nube/servidor.

El rastreo es de gran importancia en la agricultura. Las WSN han sido ampliamente utilizadas en despliegues de monitorización del clima y del suelo tanto en campo abierto como en la agricultura de ambiente controlado. [53], [80]

Se ha demostrado que los **invernaderos** presentan una importante variabilidad climática, que afecta a la productividad de las plantas, si no las perjudica. El cultivo en invernadero es más intenso, por lo

que, en muchos casos, requiere una mayor precisión en términos de seguimiento y control. Varios estudios se han centrado

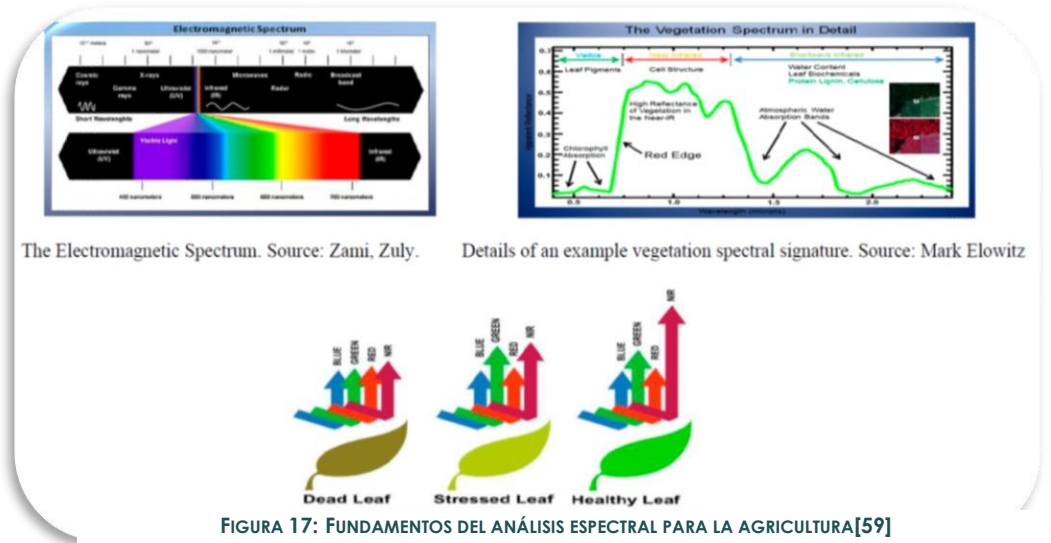


FIGURA 17: FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS ESPECTRAL PARA LA AGRICULTURA[59]

únicamente en el

seguimiento localizado y a distancia. En la mayoría de los casos, los datos se almacenan y representan de diversas formas gráficas.

Además de la **monitorización de alta precisión**, hay estudios que presentan sistemas que incorporan procedimientos de metaprocesamiento con datos transferidos en infraestructuras remotas a través de internet. Utilizando ecuaciones y modelos climáticos o de cultivos bien evaluados, estos sistemas producen estimaciones del clima y/o del estado de los cultivos para que el agricultor y agricultora pueda tomar mejores decisiones u obtener alertas tempranas.

Las soluciones de IoT en la nube agrícola para la supervisión y el control de los invernaderos y control son cada vez más comunes. Los nodos finales recogen diversos datos que se suben a una infraestructura en la nube donde estos datos se analizan en profundidad, de forma más rápida, a un coste menor. [59]

Hay estudios que implementan el control de uno o más de los sistemas de actuación en los invernaderos, como clima o riego. El control puede hacerse a distancia de dos maneras:

- [1] **Control manual por parte del agricultor y agricultora.** En estos casos, el administrador del sistema, basándose en las sugerencias realizadas por un sistema de apoyo a la decisión/sistema experto, elige el control de la maquinaria. Entre las aplicaciones de esta categoría de seguimiento y control se encuentran la Gestión Integrada de Plagas (GIP) y la gestión de la contaminación de plagas (IPM), la supervisión, la alerta y el control remotos en campo abierto y en la agricultura de ambiente controlado.
- [2] **Control automatizado** comunicando las señales de control que son producidas tras procesar los datos detectados, directamente a los actuadores, consiguiendo un control de bucle cerrado.

En los despliegues de **campo abierto** los investigadores suelen medir las condiciones climáticas, pero también se centran mucho en la monitorización del suelo. En muchos casos se utilizan más de un sensor en el suelo, a diferentes profundidades. Optimizar el riego suministrando exactamente la cantidad de agua que necesita la planta es la única manera de preservar el agua, ya que toda la cantidad extra o el riego se pierde en el suelo o en la atmósfera a través de la evaporación. [55], [81]

Los avances en la tecnología de los dispositivos integrados han puesto a disposición plataformas muy potente, dándose la oportunidad a implementar dispositivos finales más sofisticados, como las redes de sensores multimedia que incorporan nodos de detección con una capacidad de cálculo mucho mayor, suficiente para soportar dispositivos periféricos muy exigentes como los sensores de imagen. Este tipo de nodo permite una mayor producción local en el borde de la red, en forma de red de niebla.

Estos trabajos utilizan cámaras con fines de seguridad o de supervisión de instalaciones, o implementan diversos algoritmos de procesamiento de imágenes con el fin de rastrear a los animales invasores, insectos u otras amenazas para las plantas y crecimiento de los cultivos.

Tecnología_Diseño

Son muchas las tecnologías que actualmente se están utilizando en soluciones agrícolas IoT siendo arduo poder abarcarlas todas, por lo que nos centraremos en varias tecnologías que han desempeñado un papel primordial para modernizar los servicios agrícolas IoT.

CLOUD

La participación de IoT y Cloud en la agricultura proporciona un acceso generalizado a recursos compartidos. La computación en la nube desempeña un papel fundamental para satisfacer diversas necesidades agrícolas a través de la red y ejecutar operaciones. Se ha propuesto una arquitectura de software basada en la nube que procesa y recupera información y tareas agrícolas de forma más precisa.

En el ámbito del IoT, **Edge Computing** (permite que los datos producidos por los dispositivos de IoT se procesen más cerca de donde se crearon en lugar de enviarlos a centros de datos y nubes de computación) se considera una solución para facilitar el procesamiento de datos en la fuente de generación, que son los sensores, actuadores y muchos otros dispositivos integrados. La computación de borde o la computación en la niebla se consideran la columna vertebral de la computación en la nube.

La nube proporciona una gran cantidad de almacenamiento a través de grandes servidores virtualizados que están conectados entre sí.

Se ha presentado a través de la figura 18 un diseño de IoT basado en la nube para la agricultura inteligente, en el que se aplican técnicas IoT para analizar y gestionar datos de parcelas a través de sensores y dispositivos para generar información para la toma de decisiones. [56]

Se ha propuesto una plataforma basada en cuatro capas:

- **Almacenamiento en la nube** donde se centraliza los datos relacionados con la agricultura como los relacionados con el clima, el suelo, la fertilización, los cultivos y la comercialización agrícola, y proporciona recursos bajo demanda a través de una infraestructura en red. Los recursos de análisis y de los servicios web también se instalan en la nube o en Internet y son accesibles mediante servicios en la nube.
- **Pasarela**, resuelve el problema de intercambio de datos entre los dispositivos actuando como puente para la conectividad, la seguridad y la capacidad de control. La implementación de la pasarela en el invernadero o en el campo mejora la capacidad de automatización y control del sistema de monitorización del invernadero en tiempo real.
- **Computación en la niebla** reduce la carga computacional de la nube y garantiza el procesamiento en tiempo real. El objetivo básico en esta plataforma de red propuesta

es aprovechar la escalabilidad bajo demanda de los recursos de computación en la nube.

- **Módulos de hardware** se han implementado múltiples actuadores, sensores, microcontroladores y la unidad

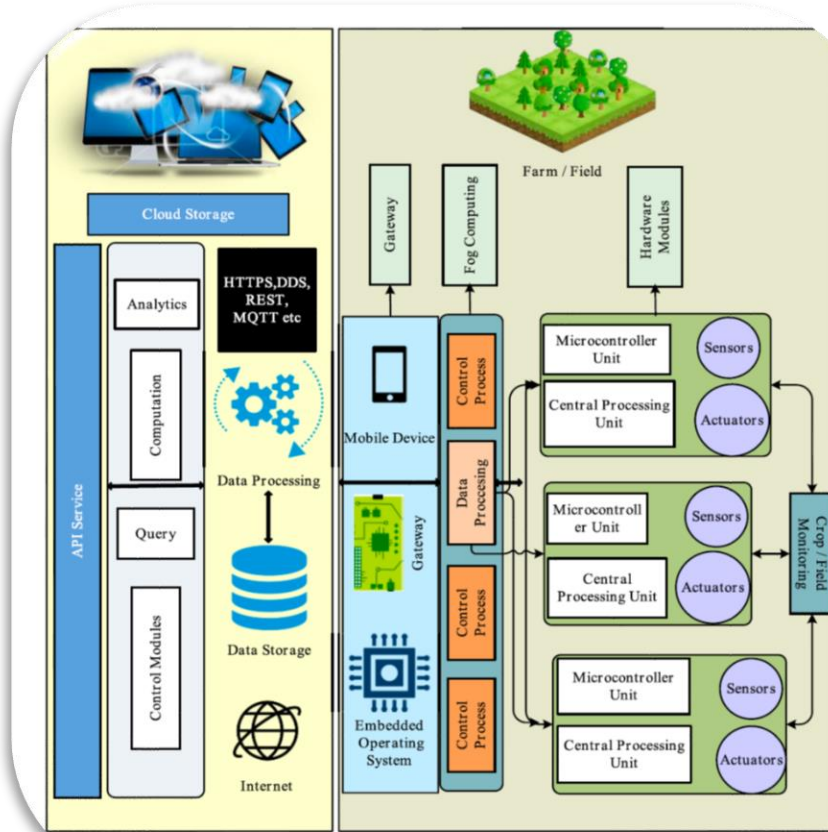


FIGURA 18: PLATAFORMA DE RED AGRÍCOLA IoT BASADA EN LA NUBE[66]

central de procesamiento para controlar y detectar diversas variables agrícolas. Se distribuyen en redes globales o locales y se utilizan para crear servicios o procesos.

La implantación de la Agricultura Inteligente necesita un tiempo de respuesta rápido y capacidad para intercambiar información. Estos dos

requisitos se cumplen

mediante dos protocolos: la

transferencia de estado representacional (REST) y el transporte de telemetría de colas de mensajes (MQTT). En lugar de utilizar grandes centros de datos, el sistema distribuido es más eficaz para la agricultura inteligente porque divide los grandes cálculos en tareas sencillas y más pequeñas, como: Cultivo, temperatura, nutrientes, energía, clima, humedad del suelo, etc. [57]

BIG DATA

Compuesto de una gran cantidad de datos esenciales que son generados por sensores agrícolas. Proporciona diversos y eficientes métodos de supervisión de cultivos en diferentes etapas. Las redes neuronales son muy populares porque proporcionan soluciones óptimas a muy velocidad. La detección de intrusos se ha llevado a cabo utilizando principios y la tecnología de las redes neuronales. La característica más importante de las redes neuronales es que proporcionan un módulo de detección y entrenamiento de datos. [58]

REDES Y PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Redes

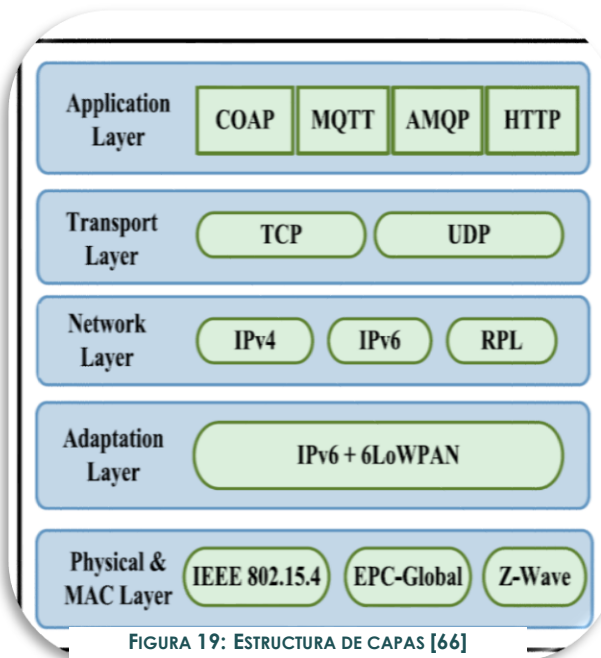


FIGURA 19: ESTRUCTURA DE CAPAS [66]

Constituye uno de los elementos fundamentales de IoT en la agricultura y consta de los siguientes elementos: la arquitectura, la plataforma, las topologías y los protocolos de la red agrícola IoT.

La arquitectura de la red agrícola IoT sugiere un esquema para especificar los elementos físicos de una red agrícola IoT, así como sus principios de funcionamiento y técnicas. La mayoría de las aplicaciones IoT suelen seguir la arquitectura de cuatro capas (Capa de Red, Capa de Aplicación, Capa Física y Mac y Capa de Transporte) debido a la

popularidad e interoperabilidad de IP.

CAPA DE APLICACIÓN

A causa de las limitaciones energéticas y la exigente computación que implican los dispositivos IoT, existen muchos protocolos ligeros en la capa de aplicación, como **CoAP, MQTT, AMQP y HTTP**. Estos protocolos pueden aumentar o disminuir según las necesidades del sistema.

CAPA DE TRANSPORTE

La tarea principal de la capa de red es recoger y encapsular la información agrícola que se obtiene a través de la capa de sensores. Existen dos protocolos:

- ✔ El protocolo de control de transmisión (**TCP**) que garantiza la fiabilidad de los datos.
- ✔ El protocolo de datagramas de usuario (**UDP**) sin conexión que no garantiza la fiabilidad de los datos y con una velocidad de transmisión más alta que TCP.

Ambos protocolos se utilizan en diferentes aplicaciones porque su elección depende de los requisitos de la aplicación. [59]

CAPA DE RED

Esta capa es una tecnología indispensable para la agricultura de precisión y se encarga de transmitir la información agrícola en la capa de aplicación. IP es la opción principal con las dos versiones existentes que son IPv4 (permite aumentar el número de dispositivos direccionales) e IPv6 (se estableció gradualmente en todos los dispositivos de red)

El protocolo de enrutamiento para redes de baja potencia y con pérdidas (RPL) se considera el principal protocolo a la hora de aplicar el enrutamiento en 6LoWPAN. Soporta diferentes tipos de tráfico modificándose a sí mismo según la velocidad de la red.

CAPAS FÍSICA y MAC

Esta es la capa más baja de la arquitectura de redes agrícolas, responsable de detectar y activar diferentes parámetros agrícolas. En la capa física y MAC,

✔ **IEEE 802.15.4** es uno de los estándares más populares y fue diseñado por su bajo coste, bajo consumo y baja complejidad. Este estándar fue adoptado por muchos protocolos como Wireless HART, ZigBee e ISA100. Presenta algunas limitaciones significativas relacionadas con la movilidad y la formación de redes.

✔ **EPC-Global**, diseñado para tecnologías RFID

✔ **Z-wave**, como alternativa de IEEE 802.15.4 para intercambiar información directamente desde protocolo IP.

Protocolos

La red agrícola IoT consta de diferentes tipos de redes de largo y corto alcance para las comunicaciones. Varias tecnologías de redes IoT ayudan a diseñar sensores y dispositivos de monitorización de cultivos o campos. [60]

Los protocolos de comunicación son la columna vertebral del sistema y las aplicaciones de la red agrícola IoT. Se utilizan para intercambiar todos los datos o información agrícola a través de la red.

Mediante el uso de estos protocolos quienes se dedican a la agricultura pueden comunicarse de una manera más conveniente y tomar decisiones más eficientes para la agricultura inteligente para mejorar y controlar el crecimiento de los cultivos. Los protocolos inalámbricos más utilizados son: IEEE 802.11 WIFI, 2G/3G/4 G-Mobile Communications Standards, LoraWan,

WiMax, Low Rate Wireless Personal Area Networks, Bluetooth, RFID, y ZigBee. En la Tabla 12 se comparan todos estos protocolos inalámbricos.

- ⦿ **IEEE 802.11 WIFI** es una compilación de estándares de comunicación de área local inalámbrica que son 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n y 802.11ac. Todos estos estándares funcionan en diferentes anchos de banda: 5 GHz, 2,2 GHz, 2,4/5 GHz, 60 GHz y 5 GHz. El rango de transferencia de datos de estos estándares es de 1 Mb/s a 7 Gb/s. Su alcance de comunicación es de 20 m a 100 m.
- ⦿ **LORAWAN** es un protocolo de comunicación de largo alcance. El objetivo principal de este protocolo LoraWan es garantizar la interoperabilidad entre múltiples operadores.

Comparison of existing wireless protocols.

Parameters	Standard	Frequency Band	Data Rate	Transmission Range	Energy Consumption	Cost
WiFi	IEEE 802.11 a/c/b/d/g/n	5 GHz-60 GHz	1 Mb/s-7 Gb/s	20-100 m	High	High
LoRaWAN	LoRaWAN R1.0	868/900 MHz	0.3-50 Kb/s	<30 KM	Very Low	High
WIMAX	IEEE 802.16	2 GHz-66 GHz	1 Mb/s-1 Gb/s (Fixed) 50-100 Mb/s (mobile)	<50 Km	Medium	High
Mobile Communication	2G-GSM, CDMA-3GUMTS, CDMA2000, 4G-LTE	865 MHz, 2.4 GHz	2G: 50-100 kb/s 3G: 200 kb/s 4G: 0.1-1 Gb/s	Entire Cellular Area	Medium	Medium
LR-WPAN	IEEE 802.15.4	868/915 MHz, 2.4 GHz	40-250 Kb/s	10-20 m	Low	Low
RFID	ISO 18000-6C	860-960MHz	40 to 160 kbit/s	1-5 m	Low	Low
ZigBee	IEEE 802.15.4	2.4 GHz	20-250 Kb/s	10-20 m	Low	Low
MQTT	OASIS	2.4 GHz	250 kbps	-	Low	Low
SigFox	SigFox	200 kHz	100-600 bit/s	30-50 km	Low	Low
Bluetooth	IEEE 802.15.1	24GHz	1-24 Mb/s	8-10m	Very Low	Low

TABLA 12: COMPARACIÓN DE LOS PROTOCOLOS INALÁMBRICOS EXISTENTES [66]

- ⦿ **WIMAX**, el rango de transferencia de datos para acceso por microondas es de 1,5 Mb/s a 1 Gb/s. WiMax proporciona conectividad multiacceso de banda ancha que incluye comunicación fija, portátil, nómada y móvil mediante conectividad por cable o inalámbrica.
- ⦿ **ESTÁNDARES DE COMUNICACIONES MÓVILES 2G/3G/4G**. Existen varias generaciones de estándares de comunicación móvil: segunda, tercera y cuarta generación. Los dispositivos IoT se comunican utilizando estos estándares a través de redes celulares. Mediante el uso de la comunicación móvil, los agricultores pueden detectar la variabilidad temporal en sus campos y controlar el rendimiento de los cultivos, el suelo y las condiciones climáticas [48].

- ⊙ **LR-WPAN**, son redes inalámbricas de área personal de baja velocidad que se basan en la especificación de estándares de comunicación de alto nivel como ZigBee. La velocidad de transferencia de datos de LR-WPAN es de 40 Kb/s-250 Kb/s. La principal propiedad de este estándar es que proporciona servicios de comunicación de baja velocidad y bajo coste [49]. LR-WPAN se utiliza sobre todo para la agricultura de interior, como huertos domésticos o pequeñas granjas.
- ⊙ **RFID**, funciona asignando un número único e individual a cada objeto para registrar información. Consta de lectores, host y etiquetas. Las etiquetas reciben y transmiten ondas de radio, por lo que también se conocen como respondedores. Las etiquetas RFI pueden ser activas o pasivas y están disponibles en distintos tamaños y formas. Las etiquetas tienen un número de identificación único e información ambiental como el nivel de humedad, la temperatura, etc. Estas etiquetas se incrustan y fijan en varios objetos para identificarlos.
- ⊙ **ZIGBEE**, se trata de un conjunto de especificaciones para redes con velocidades de transmisión de datos de baja potencia. Con el avance de la tecnología y el aumento de la demanda de rendimiento, se hace necesaria una tecnología más rápida y de bajo consumo. Estos requisitos se satisfacen con tecnologías más consolidadas que proporcionan una transferencia de datos más rápida. En el entorno agrícola, los sensores IoT detectan los datos y los transfieren a un servidor remoto. Tras la detección, los datos recogidos se analizan para la toma de decisiones
- ⊙ **MQTT**, es un protocolo de mensajería en IoT que está principalmente diseñado para conexiones remotas. Es un protocolo eficiente en ancho de banda y consume poca batería. Se utiliza para el análisis continuo y el despliegue de un sistema inteligente para el sector agrícola.
- ⊙ **SIGFOX**, es una red celular inalámbrica de banda ultraestrecha y baja velocidad de transmisión de datos que es apropiada para IoT y comunicaciones de tipo máquina.
- ⊙ **BLUETOOTH**, es una red de área personal de bajo consumo y bajo alcance que es la mejor para la comunicación móvil de corto alcance. Hay muchos dispositivos agrícolas IoT habilitados para bluetooth, como la pasarela Farmnote Air y el sensor de color que funcionan con sensores habilitados para bluetooth. Bluetooth es omnipresente, por lo que se considera una tecnología adecuada para aplicaciones agrícolas de varios niveles.

ROBÓTICA

Se han desarrollado múltiples **Agribots** para la agricultura inteligente que están minimizando la cantidad de personas dedicadas a la agricultura mediante el aumento de la velocidad de trabajo, a través de técnicas avanzadas. [61]

Los Agribots realizan funciones elementales como desherbar, fumigar, sembrar, etc. Todos estos robots se controlan mediante IoT para aumentar la productividad de los cultivos y la utilización eficiente de los recursos. El enfoque de robótica multisensor se propone para la caracterización y el mapeo del terreno.

Los grandes retos de la ingeniería suelen impulsar grandes soluciones a través de tecnologías disruptivas, y la Agricultura 5.0 es probablemente la de la primera mitad del siglo XXI. El concepto Agricultura 5.0 implica que las explotaciones agrarias siguen los principios de la Agricultura de Precisión y utilizan equipos que implican operaciones no tripuladas y sistemas autónomos de apoyo a la toma de decisiones. Así, la Agricultura 5.0 implica el uso de robots y algunas formas de IA.

Teledetección

Las técnicas de observación remota de la superficie de la Tierra constituyen una herramienta esencial para apoyar sectores como el agrícola aportando beneficios provenientes de los satélites para la monitorización de la agricultura consistente en una información en tiempo real, una frecuencia temporal y una alta resolución temporal.

En la actualidad se ha mejorado con la incursión de satélites y constelaciones que ofrecen información a más altas resoluciones, y sensores a bordo de vehículos aéreos no tripulados que aumentan esta resolución hasta centímetros. [62]

Se añaden metodologías donde se combinan diferentes tipos de información remota (ej. radar, ópticos, térmicos, multiespectrales, etc.) con otras fuentes (ej. datos de campo, meteorológicos, de reanálisis climático, etc.), junto con técnicas de fusión y agregación/desagregación de datos, permitiendo cada vez más el desarrollo de aplicaciones operativas de seguimiento en agricultura.

Con nuevas tendencias, como los **nano/microsatélites** gestionados por empresas que ofrecen imágenes de zonas determinadas a muy alta resolución (p.ej. cubesats <https://www.planet.com/markets/monitoring-for-precision-agriculture/>), o los satélites atmosféricos o pseudo-satélites (Atmospheric_satellite).

Las características de los datos proporcionados por la teledetección los hacen esenciales e imprescindibles cuando los datos en campo son escasos, las redes de monitoreo son poco fiables o el acceso a los datos está restringido y en la falta experiencia técnica para ejecutar campañas en campo. Estas características son:

- ◇ Cobertura global
- ◇ Resoluciones temporales
- ◇ Resoluciones espaciales (de metros a decenas de kilómetros)
- ◇ Naturaleza no destructiva
- ◇ Transmisión inmediata
- ◇ Formato digital
- ◇ Accesibilidad abierta de algunos de ellos

La gran cantidad de información proporcionada por los sensores deben ser procesados y analizados, como es el caso de técnicas estadísticas y de modelado con el fin de extraer la información necesaria para el procesamiento adecuado.

Entre la superficie de la tierra y el sensor se produce una interacción y el sensor registra la energía solar (radiación visible o infrarroja) reflejada por la superficie (conocida como reflectancia), o bien la reflejada por un haz de energía artificial (ej. radar), o la radiación emitida por la superficie (radiación térmica y microondas). La señal es transmitida a través de la atmósfera y capturada por los sensores, y la información es puesta finalmente a disposición para su posterior procesamiento en formato digital. [63]

El volumen de datos generados hace el procesamiento alto, a nivel técnico y de capacidad de computación. Para solucionar con estas problemáticas varias agencias preprocesan y ofrecen datos en diversas plataformas (p.ej., **Google Earth Engine**, las plataformas de explotación temática **TEPS de la ESA**) con la posibilidad de compartir algoritmos y cadenas de procesamiento, integrar diferentes fuentes de datos, y crear productos en servidores externos con capacidad necesaria para integrar un gran volumen de datos, permitiendo de esta manera realizar un seguimiento a largo plazo.

Existen distintas tecnologías que de forma conjunta pueden contribuir a mitigar el efecto de la baja conectividad en las áreas rurales. Recientemente se ha firmado un acuerdo entre **Eurona e Hispasat** para proveer conexión de internet de alta capacidad en municipios de menos de 5.000 habitantes en España. De igual forma el Gobierno de España recientemente ha presentado el Plan de extensión de Banda Ancha que prevé dotar de conexión de internet de 300Mb al 100% de la población en un espacio temporal de 5 años. [64]

Sensorización Remota

Los sensores pueden ir a bordo de plataformas en satélites o ser aeroportados por aviones o drones. El tipo de información producida dependerá de las propiedades específicas del instrumento y la plataforma, por ejemplo: de la órbita del satélite, de la altura de vuelo del dron. Las condiciones meteorológicas deben de ser tenidas en cuenta con el fin que la señal sólo dependa de las propiedades radiactivas del objetivo. [97],[78]

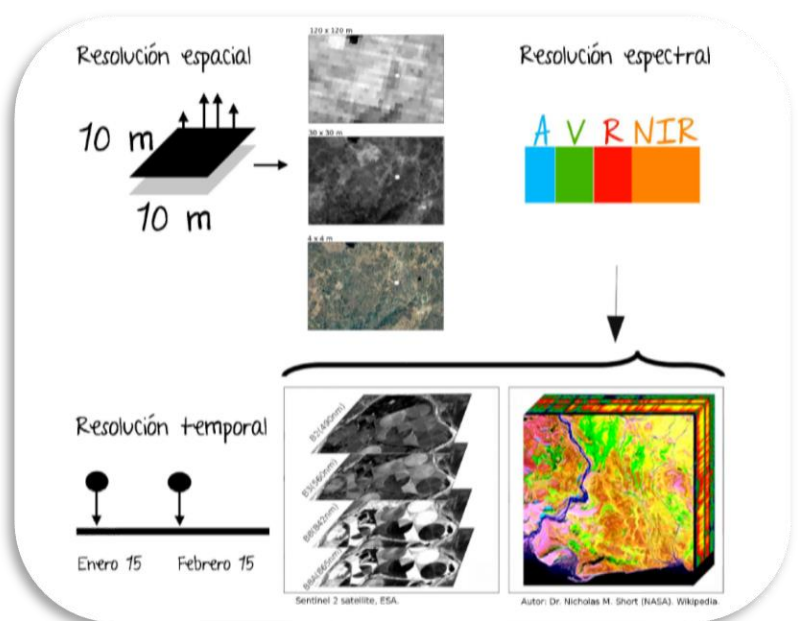


FIGURA 20: RESOLUCIÓN TEMPORAL, ESPECTRAL Y ESPACIAL [78]

Los sensores instalados a bordo de satélites siguen una órbita alrededor de la Tierra dependiendo de los objetivos y características de su misión. En general, las órbitas se definen por su altura, orientación y rotación en relación con la Tierra.

Los satélites de observación de la tierra varían según el tipo de órbita, su carga útil y los instrumentos que miden la señal electromagnética, diseñados dependiendo de su misión. Los sensores diferirán dependiendo de sus características espectrales y su ancho de franja, que determinarán su resolución espectral.

La resolución de un sensor viene dada por su capacidad para registrar y discriminar información, y depende del efecto combinado de una serie de criterios, como su resolución espacial, espectral, radiométrica y temporal.

La información que proporcionan los sensores remotos de interés para la agricultura consiste en la descripción de las características (morfológicas, biogeoquímicas, fisiológicas, estructurales, y fenológicas) que definen el sistema (planta, suelo-planta, ecosistema, etc), y de cómo éstas varían en el espacio y en el tiempo, influenciando el estado del sistema.

Los rasgos agronómicos pueden ser:

- ◇ tipológicos (p.ej., tipo de cultivo),
- ◇ físicos (p.ej., dosel del cultivo, temperatura, o humedad del suelo),
- ◇ químicos (p.ej., contenido de nitrógeno en la hoja),
- ◇ biológicos (p.ej., fenología del cultivo),
- ◇ estructurales (p.ej., inclinación de la hoja) o
- ◇ geométricos (p.ej., densidad de plantas),
- ◇ o el resultado de una serie de procesos relacionados.

Satélites

De todo lo detallado sobre la tecnología IoT se puede extraer las oportunidades de mejora en el sector de la agricultura en un área concreta que en el caso de no ser alcanzada por las conexiones e infraestructuras habituales de la red terrestre entran en el escenario el uso de constelaciones de satélites que proporcionan cobertura y conectividad en zonas remotas. [65]

Una alternativa a los proveedores de Internet es el acceso a Internet por satélite. Las personas que viven en medio de la nada prácticamente sólo disponen de esta opción para tener acceso a Internet; estaría formado por 3 antenas parabólicas: una en el centro del proveedor de internet, otra en el espacio y otra en tu casa. Además de la antena parabólica, se necesita un módem y cables que vayan de la antena al módem.

Se trata de una alternativa que sólo se utiliza cuando no hay proveedores de cable o ADSL cerca o para DSL, o para tener un proveedor de reserva en caso de que una empresa necesite en todo momento.

Existe un gran despliegue de estandarización e implementación entre satélites, dispositivos IoT y redes celulares como 5G denominándose **“Internet of Space Things”**.

Otro factor que ha favorecido la utilización de la tecnología basada en satélites es el avance que existe en las últimas décadas en miniaturización y abaratamiento en diseño de satélites, como es el caso del desarrollo de los denominados **CubeSat**, nanosatélites de dimensiones estandarizadas, compuestos por una o más unidades que tienen un tamaño de 10x10x10cm y una masa de hasta 1.33kg.

La aplicación de los satélites a la Agricultura Inteligente conlleva la introducción de un parámetro como son las órbitas disponibles actuales. En base a la clasificación de las orbitas satelitales por su altura se encuentra la **órbita Clarke** conocida por el nombre común órbita geoestacionaria o **GEO**. Se encuentra a una distancia de 35 786 kilómetros de distancia de la superficie de la Tierra, siendo la órbita más poblada en el espacio cercano a la Tierra y donde las comunicaciones con estos satélites tienen un tiempo de enlace permanente por el acoplamiento de la rotación terrestre.

Esta órbita presenta un inconveniente debido a la distancia a la que se encuentra lo que provoca que el retardo o latencia que se produce en la señal sea considerable, como en el caso de la transmisión de datos en los sistemas de Agricultura Inteligente, lo que conlleva que se estén desarrollando sistemas que puedan operar a orbitas más bajas, en las que la señal tiene que recorrer una distancia menor. [66]

A menor distancia de esta órbita GEO está disponible la órbita media y baja:

- ◇ **MEO** (Medium Earth Orbit): que se expande desde los 2.000 Km hasta una altitud inmediatamente inferior a los 35.786 Km, que es donde se encuentra la órbita GEO.9
- ◇ **LEO** (Low Earth Orbit): que es cualquier órbita posible por debajo de los 2000 Km.

Estas órbitas bajas, al encontrarse más cerca de la red de generación de los datos a transmitir, pueden operar en bandas de frecuencia más bajas que la órbita GEO, requiriéndose una banda S (2 GHz – 4 GHz). Debido a la atenuación de la señal-, es posible encontrar satélites operando en banda L (el servicio IRIDIUM, por ejemplo), presentando como ventaja que se necesita menos energía para colocar satélites en estas órbitas y menos potencia de transmisión.

El inconveniente de utilizar estas órbitas más bajas en los sistemas de agricultura inteligente se encuentra en el tiempo de visibilidad entre la red de sensores y el segmento de satélites no es continuo, surgiendo la necesidad de diseñar la constelación del sistema para que se adecue a la transmisión de datos necesaria y a la cobertura de las zonas rurales.

- ◇ **VLEO (Very Low Orbit) de los sistemas HAPS (High Altitude Platform Station)** se encuentran a menor altura que las órbitas LEO por debajo de aproximadamente 450 km

Han tenido relativamente poco uso, pero debido a lo expuesto, se están realizando investigaciones actuales para indagar los beneficios de estas órbitas y abordar los retos de operar de manera sostenible en altitudes más bajas.

En el caso de la transmisión de datos, esta órbita presenta la ventaja de reducción de latencia (retardo de tiempo) y la potencia de la señal requerida para la transmisión de datos. [67]

Aun presentando estas ventajas, todavía está en proceso de investigación el hecho de operar a baja altura y en regiones densas de la atmosfera, se produce resistencia aerodinámica experimentada por los satélites, añadiendo las variaciones en la densidad atmosférica y la presencia de vientos, lo que ocasiona un efecto de inestabilidad del satélite, provocando un efecto perjudicial en la calidad de las imágenes o en las redes de comunicaciones.

La alternativa se encuentra en el surgimiento de los **CubeSats** con costes inferiores y usados en la órbita baja LEO, donde existe condiciones óptimas para comunicación de datos y se encuentran más protegidos de la radiación solar y cósmica.

Dron (UAV)

El subsistema de **UAV** consistiría en un dron que dispone de una cámara multiespectral y óptica para obtener diferentes imágenes del campo.

Los principales retos y requisitos que presenta la conectividad de UAV son los siguientes:

- ◇ Mayor ancho de banda, los datos obtenidos por el dron se tratan de imágenes o videos de alta calidad, en comparación con los datos obtenidos de los sensores (GB frente a kb).
- ◇ Cobertura muy amplia y conectividad continua para asegurar el control de UAV autónomos o pilotados, en el caso de control del vuelo a través de internet.
- ◇ Baja latencia para permitir control remoto y aplicaciones de tiempo real o streaming, como la monitorización de los campos de cultivo en nuestro escenario.
- ◇ Bajo consumo de energía

En el escenario de una conexión de muy alta velocidad de una zona rural donde la cobertura podría ser de 3G o 2G, el dron realiza un vuelo programado sin conexión y obtiene las imágenes que se almacenan en una tarjeta de almacenamiento. [68]

Una vez finalizado el vuelo, los datos obtenidos se envían a través de WiFi accediendo a la interfaz web del dron, o extrayendo la tarjeta SD y descargando las fotos en el ordenador, para ser procesados de forma local y enviar los resultados de tamaño reducido a la nube a través de internet. En el caso de las imágenes multiespectrales, el dron dispone de un software propio para instalarlo y obtener los mapas NVDI.

Otro posible escenario que habría que tener en cuenta para un futuro en el que la zona rural disponga de conexión de alta velocidad como 5G o 4G+, presentando una latencia muy baja, un mayor ancho de banda y mayor rango de cobertura, se puede plantear:

Sistema donde los datos se envíen directamente desde el dron a la nube en tiempo real, es decir, mientras está operando y captando las imágenes, para que estas sean procesadas y poder obtener los resultados de forma más rápida y automática, sin necesidad de intervención humana para este proceso. En este caso el dron o cámara instalada en el dron debería disponer de un modem de comunicaciones para conectarse a 5G o la red correspondiente.

Otra de las posibilidades mediante esta conexión sería la programación de forma remota y control del vuelo en tiempo real para que el dron capte imágenes de una zona en concreto. [69]

Las redes móviles serían la tecnología más adecuada para UAV debido a su mayor rango de cobertura que las redes WiFi y la baja latencia en el caso de 5G, aunque este campo todavía se encuentra bajo estudio; la actual infraestructura está optimizada para usuarios a nivel de suelo y no para vehículos aéreos.

A continuación, se muestran algunos drones agrícolas que podemos encontrar actualmente en el mercado:

◇ **Phantom 4 Multiespectral.** Se trata de un dron para agricultura con una cámara especializada para capturar imágenes multiespectrales en seis bandas diferentes, incluyendo una cámara de luz visible, que permiten obtener mapas NVDI en tiempo real. Incluye también un módulo RTK integrado, y un sensor de luz para capturar la irradiancia solar. [81]



FIGURA 21: DRON PHANTOM 4 MULTIESPECTRAL[78]

◇ **DJI Agras T16.** Este tipo de dron agrícola es un dron para pulverización de cualquier solución líquida como pesticidas, fertilizantes, herbicidas etc. Dispone de radar contra obstáculos, sensores de altura para adaptarse al terreno, doble posicionamiento GNSS, generación de nubes de puntos 3D que le permiten reconocer árboles frutales, sistema OcuSync para transmisión de imágenes digitales de alta definición y cámara FPV de gran angular.



FIGURA 22: DRON DJI AGRAS T16 [HTTPS://WWW.DJI.COM/ES/T16](https://www.dji.com/es/t16)

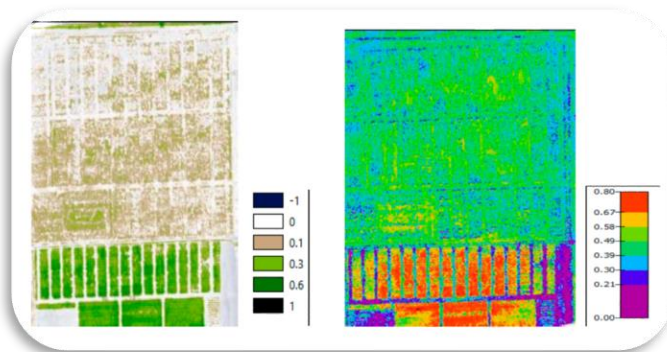


FIGURA 23: MAPA DE NDVI CON AGISOFT PHOTOSCAN[97]

En cuanto a la herramienta de **mapas NVDI** (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada), se obtienen a partir de imágenes multiespectrales captadas por los diferentes sensores de una cámara multiespectral. Calculando el índice de vegetación, podemos saber el estado de

salud y bienestar de la vegetación. Se combinan varias bandas del espectro visible e invisible para obtener un valor que nos indica la cantidad de clorofila activa, si la planta está hidratada o estresada y su estado metabólico. [100]



[5]

Analisis_Comparativo

Comparativa1

Comparativa2

Comparativa3

Comparativa4



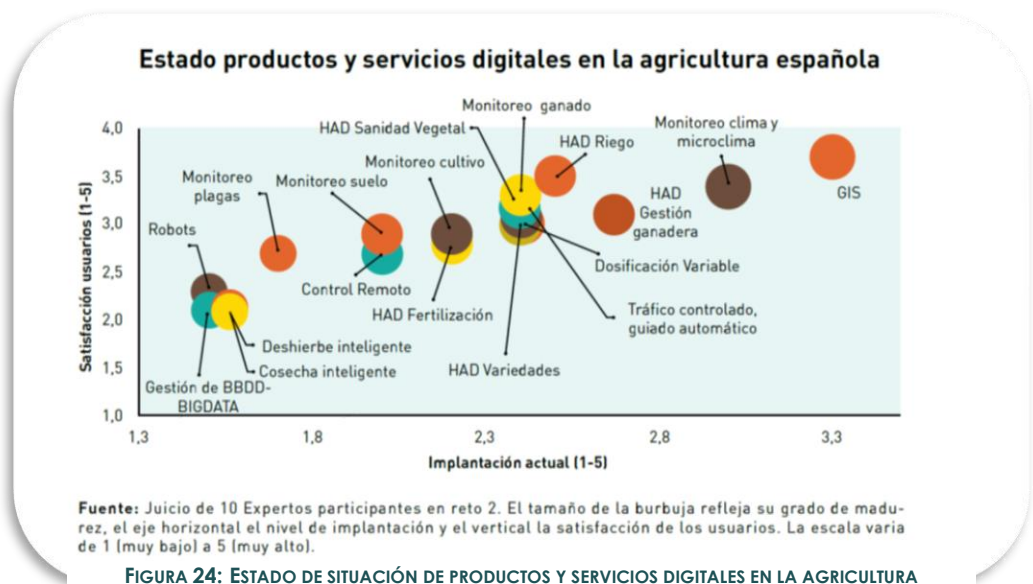
Análisis Comparativo

A través de este análisis se indaga sobre las tecnologías y soluciones aplicadas a la agricultura inteligente presentándose cuatro situaciones diferentes:

- ⦿ Estado de Productos y Servicios Digitales en la Agricultura Española.
- ⦿ Tecnologías para las aplicaciones de la IoT.
- ⦿ Inclusión de los dispositivos sensores en la AI
- ⦿ Tecnologías de sistemas embebidos y software implementado en AI

Comparativa

La incursión de la tecnología en el sector agrícola permite la recogida de datos por medio de la sensorización y la trazabilidad de las



explotaciones (agricultura inteligente) a través del IoT. A su vez posibilita el procesamiento de estos datos, bien mediante la utilización de sistemas de información tradicionales o bien mediante sistemas apoyados en tecnología Big Data.

Este uso de la tecnología está contribuyendo a la mejora de la toma de decisiones basadas en datos por parte de los responsables de las explotaciones, como se ha puesto de manifiesto en los trabajos del Grupo Focal sobre digitalización y Big Data en el que se analiza la situación de las tecnologías para la mejora de la producción y, en concreto, las herramientas de ayuda a la decisión y la gestión de bases de datos. [82]

En la figura 24 de **Estado de Productos y Servicios Digitales en la Agricultura Española** queda representado en el eje horizontal el nivel de implantación de los productos y servicios

digitales en la agricultura de España y el vertical la satisfacción de los usuarios. La escala varía de 1 (muy bajo) a 5 (muy alto). El tamaño de la burbuja refleja su grado de madurez.

Se observa que tecnologías como **GIS** (Sistemas de Información Geográfica) de visualización de la información en mapas son de gran importancia para el sector agrícola. Los agricultores y agricultoras cada día están más acostumbrados a la utilización de los servicios públicos de información parcelaria, SIGPAC y otros servicios WEBGIS ofrecidos por plataformas diferentes. La gestión logística (gestión de flotas y rutas) y la gestión de residuos también se basa en esta tecnología.

La siguiente tecnología a nivel de repercusión, es el **monitoreo del clima y microclima**, consistente en estaciones automáticas propias o redes públicas de estaciones como la del SIAR, AEMET o los servicios de las CCAA. El progreso tal vez esté en la incorporación de las previsiones climáticas y la incorporación de nuevos sensores. La puesta en común de los datos de las redes públicas agro-meteorológicas debiera ser otro objetivo, además de pensar en modelos en que las personas agrícolas particulares puedan compartir con otros los datos de estaciones de clima propias.

Si bien el análisis de las tecnologías disponibles puede estructurarse desde las distintas opciones tecnológicas (sonorización, tratamiento de imágenes, geoposicionamiento, modelización, robótica, etc.), parece más apropiado el organizarlas en relación con las funciones que realizan al servicio de la toma de decisiones.

De este modo, una de las funciones principales que hoy aportan las tecnologías consiste en capturar información (monitoreo) y producir grandes bases de datos de información. Esa ingente cantidad de información es la que posibilita el desarrollo de **Herramientas informáticas de Ayuda a la Decisión (HAD)**, apps y plataformas de servicios, capaces de integrar el conocimiento para la toma de decisiones. [83]

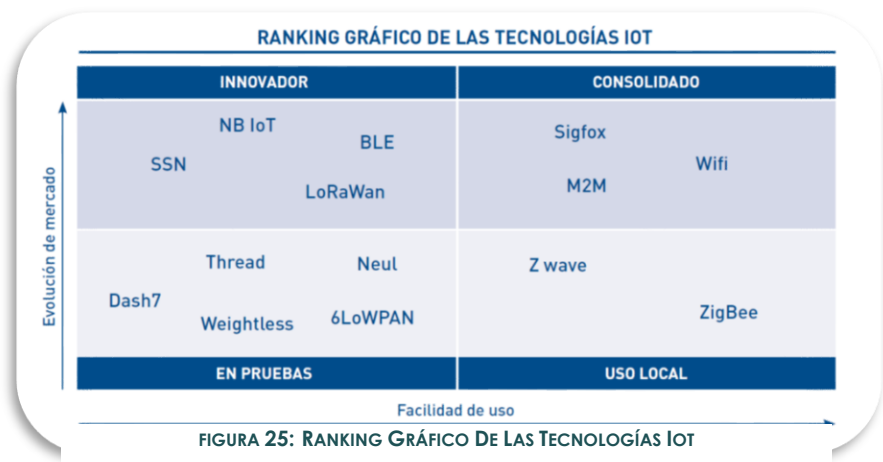
En lo que se refiere al Estado de Productos y Servicios Digitales de la Agricultura en España, se observa que Herramientas de apoyo a la decisión HAD, establecidas en otros países europeos, están fracasando en el nuestro porque no consideran el riego o la gestión del agua como un elemento fundamental en las explotaciones agrícolas.

De hecho, aun cuando podamos creer que el **Big Data** puede ser una tecnología que aporte grandes avances al desarrollo del sector agroalimentario, se puede observar que la percepción

de ésta por parte de los agricultores y agricultoras de España aún no es muy positiva (ver figura 24 sobre estado de productos y servicios digitales en la agricultura española del Mini documento del Reto 2. Conclusiones sobre sostenibilidad, mejora productiva y logística.

Comparativa2

En la actualidad, se utiliza una gran variedad de **tecnologías para las aplicaciones de la IoT**. Cada tecnología tiene sus propios puntos fuertes para satisfacer los requisitos de determinados ámbitos.



Bluetooth, WiFi, ZigBee y **las redes celulares** (2G/3G/4G/5G) se encuentran entre las tecnologías más utilizadas. tecnología.

- ⊙ Wi-Fi y ZigBee son ideales para aplicaciones en las que la distancia de comunicación no supera los 100 metros.
- ⊙ Las redes celulares (2G/3G/4G/5G) permiten una distancia de comunicación, pero consumen mucha energía y son caras.
- ⊙ Las nuevas tecnologías **LPWAN** ofrecen una comunicación de largo alcance, un bajo consumo de energía y una baja tasa de transmisión de datos. Estas tres características son específicas de las aplicaciones agrícolas, por lo que las nuevas tecnologías LPWAN se adaptan a los requisitos de este sector.

Las tecnologías de comunicación LPWAN más populares son **SigFox, LoRa y NB-IoT**.

- ⊙ **Tecnología SigFox** proporciona una buena cobertura en zonas urbanas, especialmente en lugares enterrados. Utiliza bandas ISM sin licencia y puede enviar mensajes a un alcance máximo de 40 km con un límite de 140 mensajes al día y una carga útil de 12 bytes por cada mensaje enviado en el enlace ascendente. Los mensajes del enlace descendente están limitados a 4 mensajes al día y una carga útil de 8 bytes.

- ⊙ **Tecnología LoRa** presenta privilegios entre la cantidad de datos a transmitir, el alcance y la autonomía energética. LoRa es una tecnología de capa física que modula señales en la banda ISM sub-GHZ. Utiliza bandas ISM sin licencia y puede enviar mensajes ilimitados con una carga útil máxima de 243 bytes. La comunicación tiene un alcance de 20 km en zonas rurales y 5 km en zonas urbanas.
- ⊙ **Tecnología NB-IoT** se basa en las redes celulares. Esta tecnología ofrece una calidad de servicio

Table 1
Overview of LPWAN technologies: SigFox, LoRa, and NB-IoT [11].

	SigFox	LoRa	NB-IoT
Allow private network	No	Yes	No
Frequency bands	Unlicensed	Unlicensed	Licensed (paying)
Max messages per day	140 (sends) and 4 (receptions)	Unlimited	Unlimited
Localization	Yes (RSSI)	Yes (TDOA)	No
Encryption of sent messages	No	Yes (AES 128b)	Yes (LTE encryption)
Interference immunity	Very high	Very high	Low
Range	10 km (urban), 40 km (rural)	5 km (urban), 20 km (rural)	1 km (urban), 10 km (rural)
Maximum payload length	UL : 12 bytes DL : 8 bytes	243 bytes	1600 bytes
Bandwidth	100 Hz	250 kHz and 125 kHz	200 kHz
Maximum data rate	0.1 kbps	50 kbps	200 kbps
Modulation	BPSK	CSS	QPSK
Standardization	SigFox company is collaborating with ETSI on the standardization of SigFox-based network	LoRa-Alliance	3GPP

(QoS)

TABLA 13: VISIÓN GENERAL DE LAS TECNOLOGÍAS LPWAN: SIGFOX, LORA Y NB-IOT[80]

superior y también mejora la penetración en el interior de los edificios o en sótanos en comparación con la cobertura 2G/3G/4G.

Basada en la tecnología de radio de banda estrecha y estandarizada por el proyecto 3GPP. El protocolo de comunicación NB-IoT se basa en el protocolo LTE por lo que requiere de comunicaciones celulares móviles, minimizando y mejorando la funcionalidad del protocolo LTE de acuerdo con las necesidades de las aplicaciones de las aplicaciones IoT. Utiliza un espectro con licencia proporcionando una calidad de servicio (QoS) óptima a expensas de los costes.

En la siguiente figura 26 y 27 se muestra una comparativa de las diversas opciones a considerar para un sistema de agricultura inteligente. [83] [84]

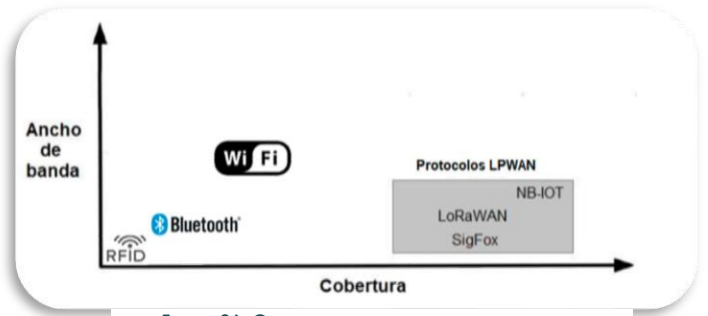


FIGURA 26: COMPARATIVA COBERTURA VS BANDWIDTH DE PROTOCOLOS DE RED IOT[83]

NB-IOT, se muestra como un protocolo con buenas prestaciones, pero su integración e implementación comercial por el momento no se ha producida de forma extensa. No resulta por tanto adecuado para la implementación de comunicación en zonas rurales remotas.

Los protocolos restantes por considerar para la red LPWAN serán LoRaWAN y SigFox, puesto que la cobertura del resto no se presenta suficiente para zonas rurales amplias del sistema de agricultura inteligente.

Para la elección entre estos dos protocolos, se expone en la tabla 14 una comparativa previa de las características de ambos protocolos:

	Sigfox	LoRaWAN
Frecuencia	868/902 MHz (ISM)	433/868/780/915 MHz (ISM)
Alcance	30-50 km	15-20 km
Tamaño de paquete	12 bytes	Definido por usuario
Topología	Estrella	Estrella

TABLA 14: COMPARATIVA DE SIGFOX Y LORAWAN [80]

Sigfox presenta buenas prestaciones, pero es un estándar mucho más cerrado que no permite un tamaño de paquete flexible o la alta configuración e integración con otros sistemas que ofrece LoRaWAN.

Por ello, dado que **LoRaWAN** muestra unas prestaciones y un alcance (hasta 50km) que se pueden estimar como suficientes para cualquier zona rural que se quiera incorporar al sistema de agricultura inteligente, será el protocolo elegido para la implementación.

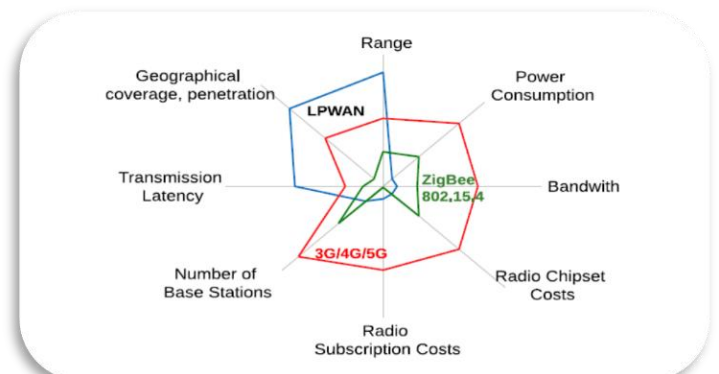
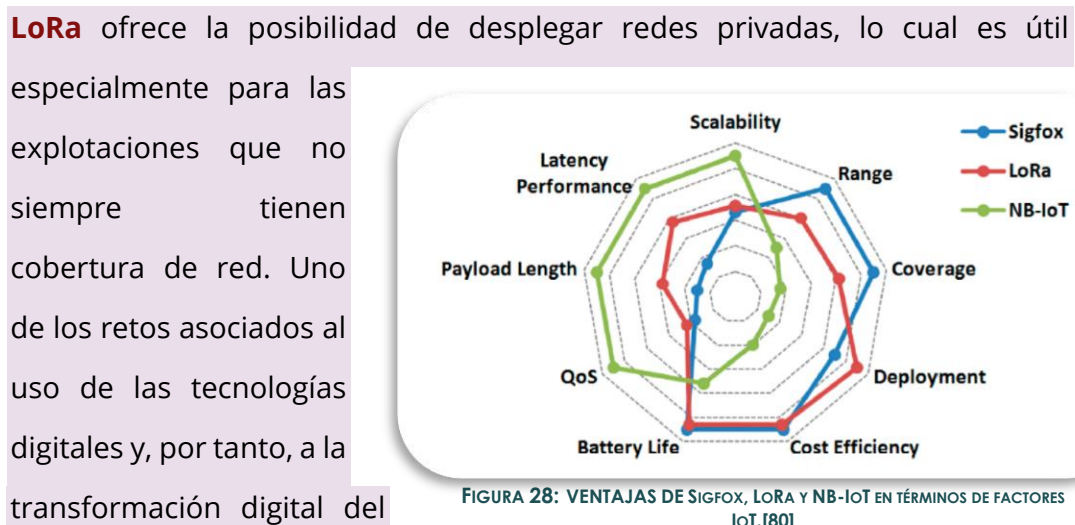


FIGURA 27: TECNOLOGÍA DE COMUNICACIÓN COMPARADA [80]

Muchos estudios han comparado estas tecnologías LPWAN en términos de características físicas y de comunicaciones, como la QoS, la cobertura, el alcance, la latencia, la duración de la batería, la escalabilidad, la longitud de la carga útil, el despliegue y el coste. La figura 28 muestra las ventajas respectivas de Sigfox, LoRa y NB-IoT en términos de factores de IoT. Los estudios existentes intentaron destacar qué tecnología es la más adecuada para cada escenario de aplicación de IoT, llegándose a la conclusión que LoRa es la tecnología más adecuada para las aplicaciones dedicadas a la agricultura inteligente.



sector agrícola y alimentario es que la cobertura de red en las zonas rurales sigue siendo limitada

A pesar de que 4G se está convirtiendo en la conexión móvil más común a nivel mundial y de que el 90% puede acceder a internet a través de una red 3G o de mayor calidad, solo alrededor de un tercio de las poblaciones rurales de países menos desarrollados reciben cobertura de redes 3G.

La tecnología LoRa ofrece una alta cobertura de red como ya ha sido indicado en zonas rurales, consume un mínimo de energía y presenta la posibilidad de crear una red privada.

En la figura 29 se ilustra el porcentaje establecido para cada una de las **tecnologías usadas para intercomunicar diferentes dispositivos desplegados con fines particulares.**

El porcentaje establecido para cada una de las tecnologías se encuentra vinculado sobre las aplicaciones e implementaciones que han tenido en agricultura.

- El 40% corresponde a la tecnología de sistema de posicionamiento global (GPS). Su utilización permite hacer un seguimiento a una ubicación del cultivo en tiempo real, implementándose en la mayoría de los casos por medio de drones direccionados a través de sistemas georeferenciados para el riego de cultivos o monitoreo de estos. [80]
- El 35% está relacionado con la tecnología LoRa, permitiendo el monitoreo de cultivos agrícolas gracias a sus características que

incluyen bajo consumo y largo alcance como ya ha sido mencionado, lo que posibilita su implementación en diferentes entornos para operar de forma eficiente.

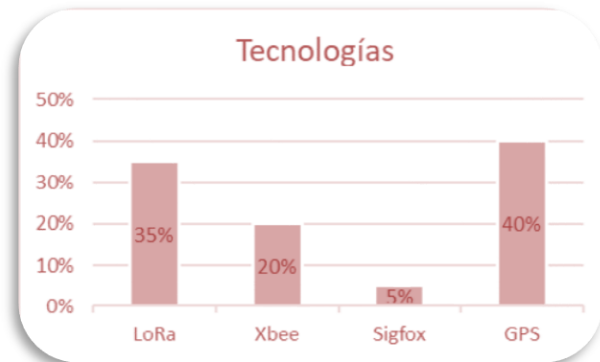


FIGURA 29: TECNOLOGÍA DE REDES DE TELECOMUNICACIONES USADAS EN APLICACIONES

- El 20% se presenta para la tecnología Xbee permitiendo evaluar variables medioambientales con el uso de sensores que recopilan información y las transmiten para su debido tratamiento o uso, todo esto bajo la plataforma IoT.
- Por último, con un porcentaje del 5% se encuentra Sigfox, una tecnología que permite la interconexión de diferentes dispositivos mediante redes inalámbricas y a su vez, la transmisión de datos en frecuencia de baja potencia, que ha sido implementada para el control y monitoreo de riego a cultivos.

Por otro lado, cada una de las tecnologías analizadas tiene una forma de operar. La manera correcta de realizar una transferencia de información es a través de **protocolo** los cuales establecen las **comunicaciones entre los dispositivos** utilizados en las tecnologías ya mencionadas:

- Zigbee es usado en redes inalámbricas y permite la comunicación entre dispositivos, como sensores, para la transmisión de información. Este protocolo ha sido utilizado para realizar monitoreo en cultivos agrícolas y se ha encontrado que es implementado en un 39% de casos.
- WiFi es el protocolo más conocido permitiendo intercomunicar dispositivos a través de diferentes implementaciones de IoT en un 27% de veces.

- Bluetooth se detectó en un porcentaje aproximado al 21%. Este protocolo opera mediante un enlace de radiofrecuencia.
- GSM se encuentra con el 9% siendo un protocolo de comunicación para telefonía celular utilizado en el internet de las cosas IoT
- Por último y cercano al 3%, se encontró el protocolo 6LowPAN, que es utilizado para intercomunicar dispositivos dentro de una red inalámbrica bajo un direccionamiento IPV6 y ha sido implementado para el monitoreo de cultivos en invernaderos

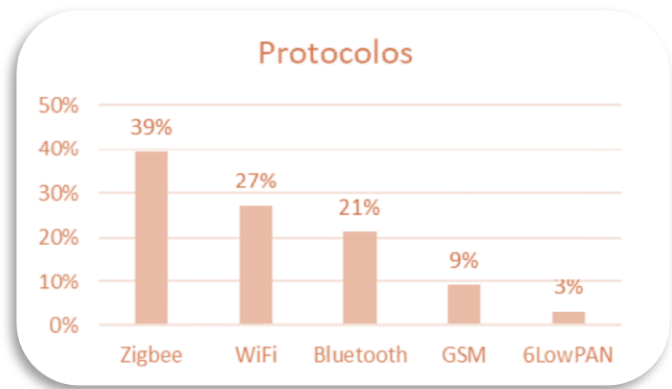


FIGURA 30: PROTOCOLOS DE RED CON MAYOR USO EN APLICACIONES AGRÍCOLAS

Estos protocolos y la tecnología bajo la que operan han permitido un gran avance en lo que respecta al seguimiento e implementación en el sector agrícola, lo que permite obtener información valiosa y pertinente para las oportunas acciones sobre cultivos agrícolas.

Comparativa3

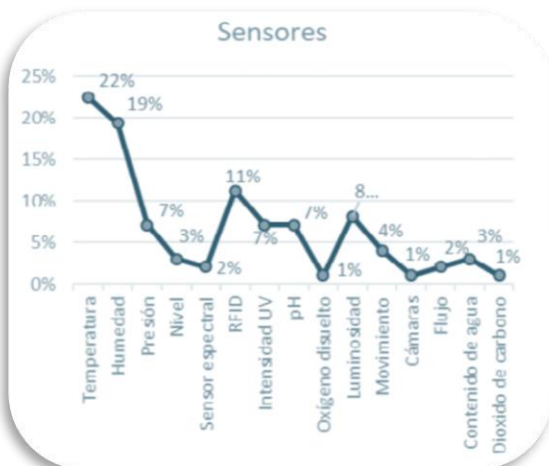


FIGURA 31: PORCENTAJE DE INCLUSIÓN DE DISPOSITIVOS

Las herramientas de hardware más frecuentes en aplicaciones de tecnologías en agricultura están asociadas a dispositivos **sensores** lográndose establecer una clasificación en dispositivos de uso genérico, por variable de medición física y por tecnología, lo que dio como resultado una agrupación final como la representada.

Se observa en la figura 31 que el mayor porcentaje de sensores implementados en tecnologías IoT en agricultura corresponde a **dispositivos de medición de temperatura y humedad**, que incluyen tantas mediciones de condiciones del ambiente y condiciones propias de la fisiología del suelo (se distingue temperatura ambiente, temperatura del suelo, humedad ambiente, y humedad del suelo) [86]

En un segundo nivel de recurrencia se encuentran los sensores de **identificación por radio frecuencia (RFID), luminosidad, nivel de acidez (pH), intensidad de rayos ultravioleta**

(rayos UV) y presión, que corresponde según la figura a los sensores encontrados con un porcentaje entre 7% y 12%.

Por último, en un conjunto minoritario de aplicación, se distinguió un grupo de 8 variables físicas o tecnologías de medición, se encontraron porcentajes de repetición menores al 4%, lo que permitió inducir que estos sensores son utilizados con una frecuencia muy baja, y que no son de gran relevancia en la mayoría de las aplicaciones agrícolas. Este conjunto está comprendido por **sensores de nivel, sensores espectrales, sensores de oxígeno disuelto, sensores de movimiento, sensores de flujo, sensores de contenido de agua, sensores de dióxido de carbono y por cámaras.**

Comparativa4

En esta siguiente comparativa se parte de tecnologías de **sistemas embebidos o tarjetas de desarrollo** que son usualmente utilizadas. En el estudio para la elección de los sistemas embebidos, se parte de la siguiente pregunta:

- ⊙ ¿Qué tarjetas de desarrollo están implicadas en tareas como servidor central de datos, unidad de procesamiento y como dispositivo de comunicación entre el usuario, el cultivo y las herramientas de monitoreo y control?

En la figura 32, se proporciona los índices en porcentaje de uso de diferentes dispositivos:

controlador lógico programable (PLC), Arduino (microcontrolador), Raspberry Pi (sistema embebido con sistema operativo), sensores de nodo (Mote), controlador programable de interrupciones (PIC), NODE (microcontrolador). Los resultados evidencian que cerca del 39% de los casos de aplicación de IoT hacen uso de placas de Arduino, indicando la facilidad de implementación de esta plataforma.

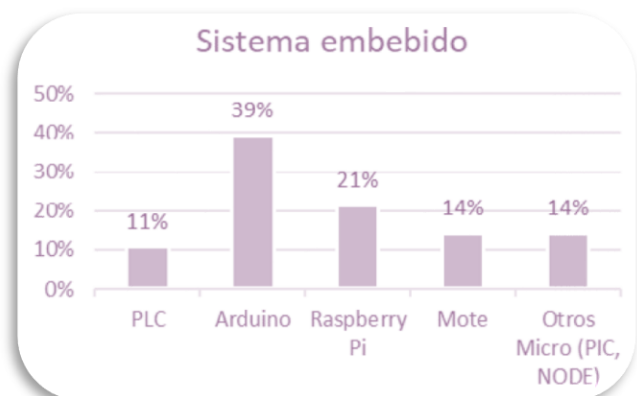


FIGURA 32: SISTEMAS EMBEBIDOS DE MAYOR USO EN APLICACIONES AGRÍCOLAS

La implementación de **Arduino** se debe a la versatilidad que suministra la placa para extender sus funciones mediante tarjetas de expansión, que permiten interconectar otras placas, ya sea Arduino u otra tarjeta de desarrollo. La ampliación de las funciones de la placa original aumenta

las posibilidades de comunicación de la capa de red, de modo que abarca un gran abanico de posibles opciones de transferencia de datos desde los sensores. [83]

Por debajo de la placa Arduino se halla la tarjeta de desarrollo **Raspberry Pi**, que es utilizada en una ponderación alta, pero corresponde a la mitad de los casos de implementación de Arduino (21%). Una de las principales ventajas de este hardware, que incluye un sistema operativo basado en Linux, es que responde a la implementación de servidores web y alojamiento de bases de datos para la generación de gran cantidad de información. Lo anterior, junto con la posible implementación gráfica y la posibilidad de realizar la programación en diferentes lenguajes de alto nivel, posicionan a esta tarjeta como una herramienta útil si se requieren aplicaciones más complejas con interfaces de usuario más agradables en términos de software.

Por otra parte, también se determinó un conjunto de otros microcontroladores no menos importantes como los sensores de nodo (Mote), el controlador programable de interrupciones (PIC) y los NODE (microcontroladores). El estudio detalla que son utilizados con más baja frecuencia que Arduino y Raspberry Pi, pero son alternativas de muy bajo costo. Además, poseen fortalezas en términos de implementación debido a su tamaño y portabilidad, así como la integración funcional con otros dispositivos externos.

En último lugar se encuentran los controladores lógicos programables (PLC) con un porcentaje de implementación del 11%. Lo anterior responde a la naturaleza misma del dispositivo, dado que, al ser un dispositivo comercial, los costos asociados crecen y no se vuelve conveniente para aplicaciones en las cuales se puede tener acceso a tecnologías de mejor costo asociado, como Arduino o Raspberry Pi.

Finalmente, en el análisis de la capa de percepción se determinó el **software implementado** en las iniciativas de IoT en agricultura, partiéndose de las siguientes preguntas:

- ⊙ ¿Cómo se gestiona la información obtenida de los sensores?
- ⊙ ¿Se trata de una programación orientada al servicio, al cliente, o a la plataforma?
- ⊙ ¿Cuáles son las plataformas de software que mayor impacto presentan en el sector agrícola?

En la figura 33 surgida de la información consultadas se visualiza un total de 7 divisiones en la utilización de software para la implementación de proyectos IoT en agricultura: **aplicaciones**

webs, aplicaciones móviles, servidores web, programas comerciales, sistema operativo Tiny, Python, SIG (sistemas de información geográfica).

- ✔ La mayoría de aplicaciones agrícolas hacen uso de **servidores web** como herramienta computacional para el manejo de gran cantidad de información con un 44%.

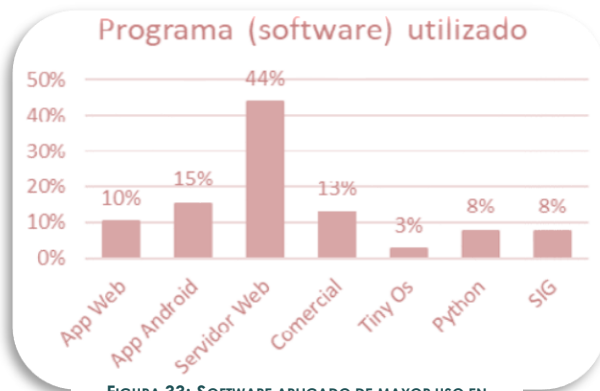


FIGURA 33: SOFTWARE APLICADO DE MAYOR USO EN APLICACIONES AGRÍCOLAS

- ✔ En un segundo lugar se encuentran los demás recursos por debajo del 15% como es el caso de las **aplicaciones móviles** en la plataforma Android y a las aplicaciones web (diferentes a los llamados servidores web). En ese orden de ideas, el segundo grupo con mayor utilización en la agricultura está enmarcado en los programas de dispositivos móviles y aplicativos alojados en la internet, que suman en conjunto un 25%, y junto con los programas de uso comercial, se incrementa a un 38%, una tasa similar a la aplicación de servidores web, que se encontró en un 44%.
- ✔ Programas de uso comercial que proveen las funcionalidades de un sistema SIG, con un amplio rango de opciones que permiten obtener gran cantidad de mediciones en tiempo real y que logran ser almacenadas en lo que se conoce como la nube.
 - ◇ Dentro de los programas de uso comercial se aprecia que los más utilizados son Matlab y Labview, que en términos de porcentaje se corresponden al 13% de utilización
- ✔ Lenguaje de programación Python proporciona una enorme cantidad de posibilidades desde el programa (software) para el manejo de muchos sensores, protocolos de comunicación y datos en grandes cantidades.
 - ◇ El porcentaje de recurrencia de uso de los otros tres lenguajes o programas de aplicación (Python, sistema operativo Tiny y SIG) suman en su totalidad un 19% de aplicación, que es un índice muy bajo respecto a los otros dos grupos discriminados. [80]

A pesar de que las tendencias sugieren que las aplicaciones móviles van en aumento, en el caso de la persona agrícola lo importante es lograr grandes cantidades de datos que puedan visualizarse.

**[6]**

Analisis_Casos

Caso1

Caso2

Caso3

Caso4

Caso5



Análisis_Casos

En este análisis se exponen cinco casos en los que se examinan diferentes técnicas aplicadas a la Agricultura Inteligente:

- [1] Sistema de monitoreo remoto de variables ambientales con una red inalámbrica en un invernadero.
- [2] Sistema de monitoreo remoto de variables ambientales con una red inalámbrica en un área extensa.
- [3] Aplicación de algoritmos de aprendizaje automático.
- [4] Redes 5G designadas a la agricultura inteligente (AI)
- [5] Blockchain y sus aplicaciones en la AI

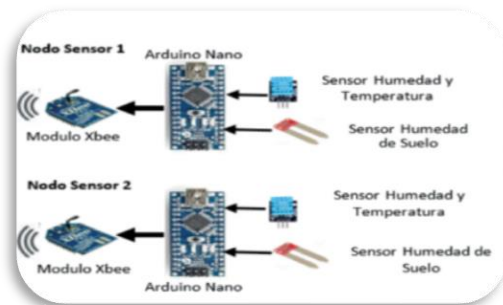
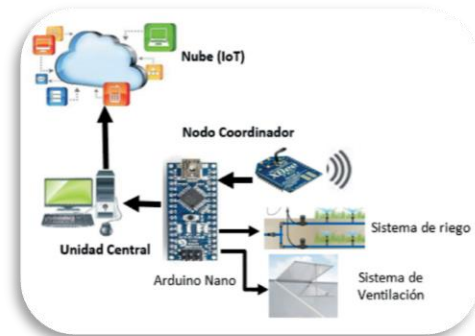
Caso1

Los **sistemas de control y automatización del riego** basado en IoT para la calidad de los productos agrícolas están razonados para lograr un uso eficiente del agua con el fin de conseguir una producción constante como es el caso de las regiones donde hay largas épocas de sequía. Un ejemplo de esta situación es la India donde el crecimiento poblacional y la demanda de alimentos han llevado a que haya un mayor aumento de población se dedique al sector agrícola siendo el motivo principal de investigación en el desarrollado de prototipos de sistemas de control y automatización de riegos basados en IoT. [87]

Los **prototipos** analizados constan de:

- Sensores de diferente tipo
 - Sensor de humedad para determinar los horarios acordes al riego
 - Sensor de temperatura para establecer límites climáticos en función de los alimentos
 - Sensor de luminosidad
- Almacenamiento de datos recopilados en tiempo real en la nube mediante un servicio web
- Tecnología GSM con el fin de informar al usuario o usuaria mediante mensajes de texto cada cierto tiempo con el fin de realizar el análisis y las evaluaciones a partir del estado de los cultivos.

Sistema de monitoreo remoto de variables ambientales con una red inalámbrica	
Aplicación	Invernadero
Dispositivos	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Sensores: Módulo de hardware encargado de las mediciones de las variables estudiadas en el invernadero, permitiendo una lectura exacta para iniciar el proceso de riego. ◊ Módulo de Visualización de Variables permite hacer la monitorización de los valores de las variables y revisión de alarmas presentes para mantenimiento correctivo y preventivo. ◊ Módulo de potencia encargado de realizar la conversión AC/DC necesaria de voltaje y corriente para la conexión hardware. ◊ Actuador electroválvula encargada de suministrar el agua al sistema de riego controlado por los módulos de sensores y microcontrolador, la electroválvula es activada por el solenoide quien recibe la instrucción del microcontrolador. ◊ ThingSpeak aplicación para guardar datos y su posterior consulta para la toma de decisiones del proceso de cultivo. ◊ Microcontrolador encargado de recibir la lectura de los sensores, procesar la información, enviar las instrucciones de control hacia el actuador y la información recolectada hacia el módulo de comunicación. ◊ Módulo de comunicación permite la comunicación entre dispositivos mediante el protocolo WLAN.
Descripción	<p>Sistema formado por nodos de sensores (denominados dispositivo final) y un dispositivo coordinador.</p> <ul style="list-style-type: none"> ◊ Nodos interconectados con topología en estrella ◊ Nodo sensor recopila datos de variables ambientales (temperatura ambiental, humedad relativa, humedad del suelo y presión atmosférica) <p>El dispositivo coordinador opera como unidad central del sistema. Es la encargada de recibir los datos adquiridos por los nodos sensores para procesarlos y enviarlos a un computador por medio de cable USB</p>
Transmisión_ Comunicación inalámbrica	<p>Medidas de las variables transmitidas al dispositivo coordinador por medio de dispositivos Xbee que funcionan con el protocolo de telecomunicación inalámbrica Zigbee</p>



<p>Recepción</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Dispositivo coordinador opera como unidad central del sistema y recibe los datos tomados por los nodos sensores para procesarlos y enviarlos a un computador. ◊ Sistema de alarma cuando el parámetro de medida de las variables ambientales está fuera de los rangos establecidos.
<p>Monitoreo</p>	<p>Datos analizados y mostrados en un entorno gráfico con software Processing, presentando señales de alertas</p>
<p>Plataformas IoT</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Datos subidos a la nube para que los usuarios accedan a la información remotamente desde cualquier lugar. ◊ Plataformas IoT registran los datos obtenidos por sensores, enrutan los datos en tiempo real y controlana der manera remota los dispositivos. ◊ Interfaz para acceso a sus recursos a través de protocolos de internet que permite interactuar con lenguajes de alto nivel como LabView, Matlab y Python, para procesamiento de datos y accionamiento remoto de un dispositivo
<p>Software</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Software Processing, lenguaje de programación y entorno de desarrollo integrado de código abierto basado en Java ◊ Software Ubidots provee a cada usuario de una clave utilizada como identificador de autenticación en la transmisión de los datos de los sensores a la nube. Permite un registro de hasta 30.000 datos de forma gratuita por mes.
<p>Resultados</p>	<p>El diseño dispone en su programación el control de un sistema de riego automatizado que permitirá el suministro de agua al suelo si este lo requiere. Cuando los nodos de sensores detectan que el suelo se encuentra seco, el dispositivo activa el sistema de riego para suministrar agua hasta el punto de humedad que lo requiera. El sistema de riego admite la aplicación de agua y químicos, de manera directa y puntual. El sistema de ventilación natural o pasiva funciona por medio de apertura o cierre de escotillas o ventanas ubicadas ya sea en el techo o sobre las paredes laterales de los invernaderos. La ventilación consiste en la renovación del aire dentro del invernadero para actuar sobre la temperatura y humedad en el interior del invernadero, de esta forma, la entrada de corrientes de aire contribuye a disminuir las temperaturas elevadas y reducir el nivel higrométrico (humedad).</p>
<p>Conexiones</p>	
<p>Diagrama</p>	<pre> graph TD Inicio([Inicio]) --> Lectura[Lectura de sensores] Lectura --> Procesamiento[Procesamiento de datos] Procesamiento --> Impresion[Impresión datos LCD] Impresion --> Transmision[Transmisión de datos] Transmision --> Visualizacion[Visualización Thing Speak] Visualizacion --> Decision{Humedad <65 %} Decision -- SI --> Encender[Encender Electroválvula] Encender --> Fin([Fin]) Decision -- NO --> Lectura </pre>

Caso2

En este caso para el diseño de un sistema de agricultura inteligente se parte de **áreas extensas y remotas en zonas rurales**. De los distintos **protocolos** actuales de diversas características y prestaciones, se tienen en cuenta las siguientes consideraciones iniciales: [88]

- Se requiere que el sistema pueda adaptarse a áreas amplias y además sea flexible y escalable
- Se precisa de un bajo consumo de energía, para optimizar la autonomía y ciclo de vida de los sensores hardware, dispositivos autónomos y móviles, con batería.
- El ancho de banda para la comunicación no es un requisito restrictivo, puesto que la transmisión será de datos de tipo mensaje-texto.

La red flexible y adaptable a distintas zonas rurales para el sistema de AI, será del tipo denominado **LPWAN** (Low Power Wide Area Network), una red amplia y de bajo consumo para cubrir zonas rurales que puedan ser extensas.

Sistema de monitoreo remoto de variables ambientales con una red inalámbrica																			
Aplicación	Áreas rurales extensas y alejadas																		
Dispositivos	<p>Sensores tienen que cumplir unas condiciones básicas en base al sistema de agricultura inteligente:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◇ Implementar el protocolo LoRaWAN, con comunicación con un Gateway para el sistema IoT indirecto. ◇ Proveer el hardware necesario para recoger las métricas agrícolas que se van a ofrecer en el sistema, con posibilidad de seleccionar entre ellas para cada cliente o zona rural. Las posibles medidas planteadas para el sistema de agricultura inteligente son: temperatura y humedad del suelo, luminosidad y presión atmosférica. <table border="1"> <thead> <tr> <th>Sensor</th> <th>Medidas</th> <th>Fabricante</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>VH-400</td> <td>Humedad del suelo</td> <td>Vegetronix</td> </tr> <tr> <td>07-L temperature Sensor BetaTherm 100K6A1B Thermistor)</td> <td>Temperatura del suelo</td> <td>Campbell Scientific</td> </tr> <tr> <td>M-100 compact weather station</td> <td>Presión atmosférica</td> <td>Stevens Water</td> </tr> <tr> <td>XFAM-115KPASR</td> <td>Presión atmosférica</td> <td>Pewatron AG</td> </tr> <tr> <td>BH1750</td> <td>Luminosidad</td> <td>Rohm</td> </tr> </tbody> </table>	Sensor	Medidas	Fabricante	VH-400	Humedad del suelo	Vegetronix	07-L temperature Sensor BetaTherm 100K6A1B Thermistor)	Temperatura del suelo	Campbell Scientific	M-100 compact weather station	Presión atmosférica	Stevens Water	XFAM-115KPASR	Presión atmosférica	Pewatron AG	BH1750	Luminosidad	Rohm
Sensor	Medidas	Fabricante																	
VH-400	Humedad del suelo	Vegetronix																	
07-L temperature Sensor BetaTherm 100K6A1B Thermistor)	Temperatura del suelo	Campbell Scientific																	
M-100 compact weather station	Presión atmosférica	Stevens Water																	
XFAM-115KPASR	Presión atmosférica	Pewatron AG																	
BH1750	Luminosidad	Rohm																	
Descripción	Implementación de un sistema flexible y adaptable a las zonas rurales, donde no se especifica el diseño de una red de nodos-gateway concreto, sino se detallarán las especificaciones y restricciones de estos dispositivos hardware y del protocolo para ser tenidas en cuenta en la posible adaptación del sistema a cualquier zona rural futura																		

<p>Transmisión_ Comunicación inalámbrica</p>	<p>Una infraestructura de Gateway/s que se despliegan en el área rural del cliente, se puedan incorporar de forma flexible distintos sensores/nodos que se despliegan siguiendo la topología en estrella del protocolo. Para proporcionar esta flexibilidad de despliegue de los sensores IoT, los gateways LoRaWAN disponen del mecanismo de incorporación dinámica de nodos hijo.</p> <p>Hay que tener en cuenta que los sensores son módulos simples sin conectividad ni emisión de señal LoRaWAN. Por ello es necesario combinarlos con un emisor de este tipo.</p> <p>Así, para transmitir los datos de estos sensores IoT hacia el Gateway correspondiente, se puede utilizar el módulo transceptor REYAX RYLR896 LoRa (de Semtech)</p> <p>Este transceptor funciona en los rangos de frecuencia de LoRaWAN, contiene para ello una pequeña antena helicoidal integrada en el PCB</p>	
<p>Plataformas IoT</p>	<p>Como se observa en el diagrama cada Gateway LoRaWAN mantiene una child_list de nodos/sensores unidos a su red, inicialmente vacía en el despliegue de la red en la zona rural.</p> <p>En la etapa inicial, el Gateway (GW) emite balizas (beacon) periódicamente permitiendo a los nodos LoRaWAN (en adelante denominados nodos) unirse a su red.</p> <p>Un nodo LoRaWAN que escucha la baliza desde el GW cercano, puede unirse a esta red enviando un JOIN, y configurar así el GW como padre.</p> <p>Una vez el Gateway tiene el primer hijo y child_list por tanto no está vacío, se dejará de transmitir la baliza periódica. En cambio, el GW podrá utilizar paquetes enviados a sus hijos como balizas, notificando a otros nodos que se unan a él si es necesario.</p>	

Caso3

Aplicación de **algoritmos de aprendizaje automático** y otras técnicas como **visión artificial o procesamiento de imágenes** para detección de plagas o características específicas en los campos de cultivo: [89]

[1] Detección de líneas curvas y rectas en campos de maíz durante los estados iniciales de crecimiento de cultivo y malas hierbas, con el objetivo de guiar de forma más precisa a los vehículos autónomos y aplicar tratamientos específicos y eliminar las malas hierbas situadas entre las líneas de cultivo consisten en sistemas de visión por computador, y constan de tres fases:

- segmentación de la imagen,
- identificación de puntos de comienzo de las líneas de cultivo
- detección de las propias líneas.

Uno de los métodos se basa en la acumulación de píxeles verdes, y el otro en el concepto de micro-ROIs (Region Of Interest).

Por otro lado, para la clasificación entre cultivo y malas hierbas, se diseña un método de clasificación Bayesiano, siguiendo las fases de segmentación, entrenamiento y prueba. [90]

[2] Detección de variedad y estado de maduración de ciruelas, mediante análisis de imágenes multispectrales y aprendizaje profundo.

Además de utilizar características de las imágenes multispectrales, que aportan información de los componentes químicos y físicos de la fruta, se combina con adquisición de imágenes para obtener información sobre la morfología o el tamaño. Una vez obtenidas las imágenes correspondientes, se utilizan técnicas de aprendizaje profundo para generar modelos de clasificación basados en CNNs (redes neuronales convolucionales) y obtener clasificadores para detectar la variedad y la maduración de los frutos.

[3] Detección de plagas en tomates mediante técnicas de procesamiento de imágenes. Se

obtienen imágenes de las diferentes frutas afectadas, y se procesan siguiendo los siguientes pasos: recorte de imágenes, segmentación de imágenes, conversión a HSV, umbral de componentes H y S, negación de imagen, enmascarado de imagen binaria original y negativa, extracción de características,

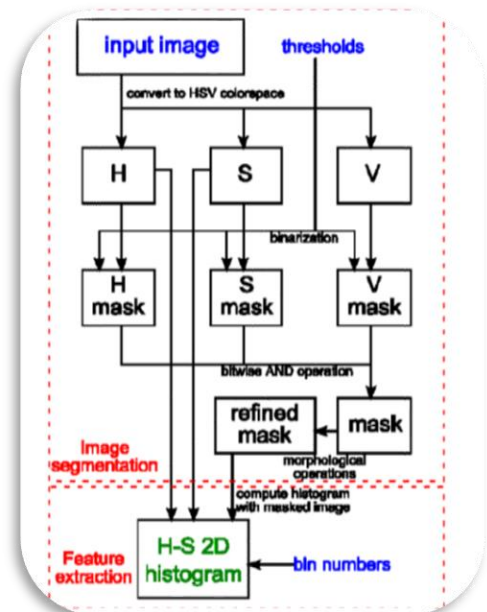


FIGURA 34: ETAPAS DEL PROCESO DE SEGMENTACIÓN DE IMÁGENES [90]



FIGURA 35: RESULTADO COMBINADO DE LOS TRES VECTORES DE CARACTERÍSTICAS [88]

y, por último, se aplica una técnica de clasificador de SVM (Support Vector Machines). [88] [91], [106]

<p>Herramientas</p>	<p>[1] MATLAB proporciona herramientas para aplicar técnicas de aprendizaje automático y aprendizaje profundo, tanto para diseñar algoritmos como para etiquetar datos. Permite crear, modificar y analizar arquitecturas de Deep Learning o aprendizaje profundo mediante herramientas de visualización y apps específicas, además de entrenar y comparar modelos aprendizaje supervisado y no supervisado, extraer funcionalidad y ajustar hiperparámetros para optimizar el rendimiento de los modelos. Además, con el entorno de Simulink se pueden ejecutar simulaciones y verificar los sistemas.</p> <p>[2] Microsoft Azure dispone de una plataforma de servicios de Machine Learning de nivel empresarial para crear e implementar modelos. Es compatible con plataformas y lenguajes de código abierto como MLflow, TensorFlow, Python o R</p> <p>[3] Google nos ofrece también su propia herramienta de reconocimiento de imagen mediante Inteligencia Artificial y Machine Learning. Las opciones son AutoML Vision o API de Vision dependiendo de si se clasifican imágenes con etiquetas predefinidas, etiquetas personalizadas, o si se desea detectar objetos o también textos, rostros, lugares, etc.</p> <p>[4] Amazon proporciona un servicio de reconocimiento de imágenes con tecnología de Deep Learning o aprendizaje profundo, que detecta objetos, escenas, rostros y texto.</p>
<p>Productos_Existentes</p>	<p>Empresa tecnológica AINIA está desarrollando un sistema de teledetección de enfermedades de cultivos en tiempo real, permite detectar, evaluar y diagnosticar enfermedades, plagas y otros daños en cultivos, así como tomar decisiones en base a los diagnósticos</p> <p>El sistema consiste en vehículos autónomos tanto terrestres como aéreos, basados en tecnologías de teledetección, combinando sensores fotónicos e Inteligencia Artificial. La idea es que el propio dispositivo contenga unidades de procesamiento y sistemas de IA para poder analizar los datos en tiempo real ser empleado en zonas sin cobertura en áreas rurales</p> <p style="text-align: right;">TABLA 15:HERRAMIENTAS PROCESAMIENTO IMÁGENES [90]</p>

1) Procesamiento de imágenes inicial donde se extraen las características por parámetros de color, morfología, y la clasificación se realiza mediante un algoritmo de K-Means. A continuación, se utiliza SVM (Support Vector Machines) para clasificar la imagen como infectada o no infectada. Se obtuvieron los mejores resultados clasificando las imágenes utilizando el parámetro de morfología.

a) Herramientas de procesamiento de imagen además de redes neuronales artificiales para monitorizar y detectar plagas en los frutos y categorizarlos en diferentes categorías.

i. Se extraen tres vectores de características: color, forma y textura.

ii. Posteriormente las imágenes se clasifican utilizando redes neuronales artificiales (ANN).

Caso4

Con la puesta en marcha de las **redes 5G**, se han dado a conocer numerosas propuestas y proyectos tanto en España como en otros países, de técnicas aplicables a la agricultura inteligente (AI) que presentan prestaciones muy interesantes gracias a ventajas como la baja latencia. [92], [100]

La infraestructura de 5G todavía no está implantada de forma general y aunque en un futuro puede mejorar o crear nuevas soluciones en AI, hay que tener en cuenta la infraestructura de telecomunicaciones actual en zonas rurales y la existencia de otras alternativas en cuanto a protocolos de comunicación más desarrollados que cumplen con las actuales exigencias de las técnicas de agricultura inteligente.

[1] Proyecto ATHOS 5G creado por varias empresas del sector agrícola y Universidades de Sevilla, Córdoba y Almería, para promover el uso del 5G y la conectividad en zonas rurales.

Se trata de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) con conectividad 5G para la aplicación inteligente de



FIGURA 36: DRON ATHOS PARA APLICACIÓN DE TRATAMIENTO DE PLAGAS[89]

fitosanitarios en tiempo real, a través de la detección y el tratamiento inteligente de plagas.

El dron dispone de un sensor multiespectral, una cámara RGB y una cámara termográfica, además del sistema de aplicación de tratamientos fitosanitarios.

Los datos recogidos por los sensores se envían en tiempo real a una plataforma cloud gracias al ancho de banda proporcionado por la red 5G. En los servidores de la nube se ejecutan los algoritmos correspondientes y técnicas de visión artificial para detectar las plagas, y a continuación el sistema determina si es necesario aplicar algún tratamiento a la zona afectada. [89], [105]

[2] Pilotos 5G en España, concretamente en Andalucía, se trata de una **máquina recolectora dotada de inteligencia artificial** que en tiempo real determina si debe

o no recolectar el fruto, analizando factores como el calibre, aspecto y punto de maduración a través de cámaras que toman imágenes del color y diámetro de la fruta.

Se utiliza tecnología 5G para la transmisión de datos y ejecución de algoritmos mientras la máquina va realizando la recolección en el borde de la red. Gracias a la baja latencia y la capacidad de enviar imágenes de alta calidad en poco tiempo, se recibe un diagnóstico ejecutado en la nube prácticamente en tiempo real, lo cual no sería posible con una red 4G.

[3] **Proyecto 5G FieldLab** desarrollado con éxito en los Países Bajos destaca como aplicación de 5G para la agricultura inteligente.

Consiste en el escaneo de un **campo de cultivo de patatas** mediante un dron para obtener un mapa con información sobre la fumigación u otro tipo de pulverización que necesita el campo. Este mapa se carga en el sistema de pulverización para realizar esta tarea.

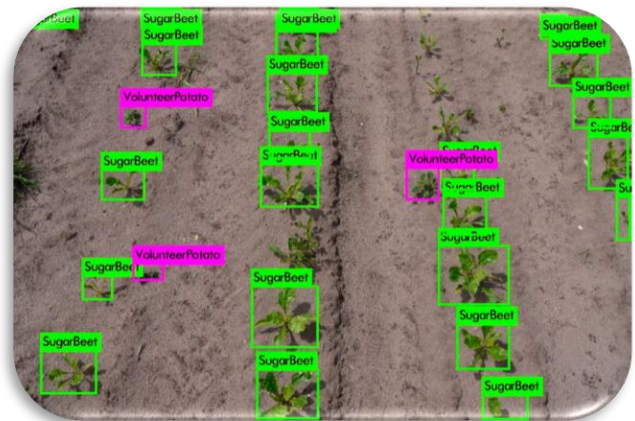


FIGURA 37 RESULTADO DEL ANÁLISIS 5G FIELDLAB[92]

Gracias al 5G los datos que obtiene el dron pueden enviarse y analizarse en tiempo real por lo que el proceso completo se acelera desde uno o dos días con la tecnología existente hasta ahora, hasta 2 horas con la tecnología 5G.[92]

[4] **Proyecto de plantación de kiwis** en la provincia de Guizhou donde se incorporan diferentes técnicas de agricultura inteligente, consistente en un ecosistema global donde se han aplicado diferentes tecnologías como cámaras de videovigilancia, placas solares (dotando de energía a sistemas de control de plagas) y sensores que recogen datos de diferentes tipos de variables desde condiciones meteorológicas hasta el grado de maduración de la fruta y las plagas que le afectan. La aplicación de estas técnicas permite mejorar la eficiencia y aumentar la producción. [99]

[5] **Root-AI**, una empresa de Massachusetts, ha desarrollado un **robot móvil autónomo** capaz de cosechar tomates según madurez y calidad. Utiliza sensores y cámaras para navegar



FIGURA 38: ROBOT CON SISTEMA DE DETECCIÓN DE MADURACION DEL TOMATE[94]

por grandes invernaderos comerciales a cualquier hora del día o de la noche, detectando qué tomates están lo suficientemente maduros para cosechar. Un «sistema en módulo» ejecuta el cerebro del software de inteligencia artificial de Virgo. Un brazo robótico se mueve con la suficiente suavidad para recoger tomates de forma independiente sin maltratar las plantas. [94]

[6] **VineRobot** consiste en el diseño de un **robot agrícola terrestre no tripulado** (UGV)

equipado con varias tecnologías no invasivas de detección y **monitorización del rendimiento de la uva**, crecimiento vegetativo, incidencia de plagas y enfermedades, estrés hídrico y



FIGURA 39: VINEROBOT[95]

composición de la uva para optimizar la gestión del viñedo y mejorar la composición de la uva y la calidad del vino.

El robot incorpora sistemas de visión artificial, termografía y sensores basados en fluorescencia, además se aplica inteligencia artificial y técnicas de aprendizaje automático. Se pueden ejecutar algoritmos personalizados en base al procesamiento de datos adquiridos en tiempo real para obtener mapas de producción específicos, que el usuario podrá consultar mediante una app en su dispositivo móvil. [95]

[7] **DronFruit**

desarrollado por Cooperativas Agroalimentarias y la Universidad de Sevilla consiste en la

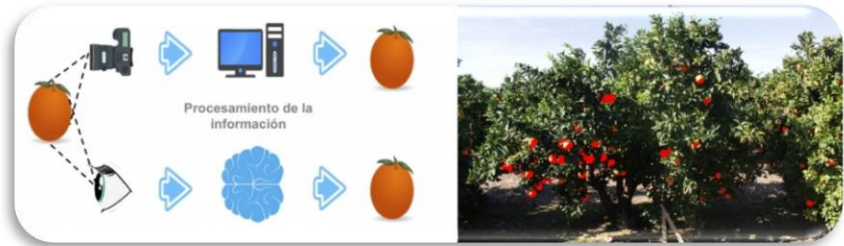


FIGURA 40: A) VISIÓN ARTIFICIAL Y B) NARANJAS IDENTIFICADAS EN ÁRBOL TÍPICO EN LA ZONA DE SEVILLA[96]

gestión de frutales mediante drones y visión artificial. Se trata de un sistema de **detección de naranjas** mediante el uso de imágenes RGB obtenidas por vuelo de un UAV combinadas con un modelo de Machine Learning. Con las imágenes RGB se obtienen resultados muy aproximados a los reales en cuanto a detección de fruta, pero para evitar los errores de identificación que pueden producir las sombras o luz insuficiente en las imágenes, se incorporan técnicas de aprendizaje automático o Machine Learning.[96]

[8] **Pruebas experimentales utilizando un vehículo aéreo no tripulado** para obtener fotogrametría multiespectral, concretamente para el **mapeo de sembrados de caña de azúcar.**

Utilizan dos softwares de procesamiento de imágenes, Agisoft Photoscan y pix4D para generar ortomosaicos 3D y mapas de índices NDVI (índice Normalizado Diferencial de Vegetación). [94], [108]

La captura de imágenes del terreno se realiza en varias bandas del espectro electromagnético, debido a que las propiedades espectrales (reflectancia, transmitancia, absorbancia) del suelo y de las plantas en sus diferentes etapas de crecimiento están asociadas a factores como la fotosíntesis, cantidad de agua, clorofila o biomasa.

[9] **Prueba experimental para evaluar el estado de concentración de nitrógeno en la planta del arroz,** con el objetivo de obtener imágenes multiespectrales. Una vez obtenidas las imágenes hiperespectrales se obtiene la información NDVI (Índice Normalizado Diferencial de Vegetación).

[10] **BeanIoT** ha creado un dispositivo IoT con forma de pequeña haba o semilla, que incluye un conjunto de sensores de temperatura, humedad, entre otros. Puede ser usado en diferentes ámbitos y uno de ellos es la agricultura. Al ser mezclado con el

grano en el contenido de un granero, este sensor reportará datos sobre la temperatura, humedad, niveles de dióxido de carbono, lo cual puede dar información sobre descomposición del grano, o

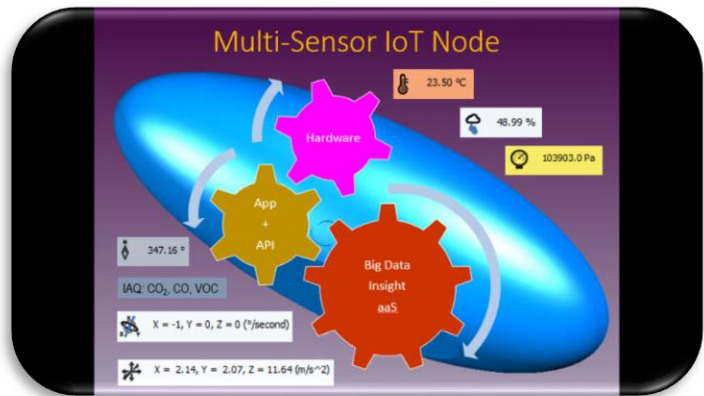


FIGURA 41: BEANIoT[101]

si hay alguna plaga de insectos. La plataforma BeanIoT ofrece una interfaz gráfica BeanIoT pod para observar las variables monitorizadas. [101]

- [11] **Agri-Gaia an AI ecosystem**, su objetivo es crear un ecosistema de IA para la industria agrícola y alimentaria basado en Gaia-X. Para ello se pondrá en marcha una innovadora plataforma que proporcionará módulos de IA adaptados a cada sector y fáciles de usar. Agri-Gaia cierra el círculo desde la adquisición de datos de sensores en la máquina agrícola, el entrenamiento de los algoritmos en los servidores adecuados y la actualización/optimización continua de los algoritmos. Se están desarrollando interfaces y normas para crear una infraestructura de intercambio de datos y algoritmos independiente del fabricante. [102]

Caso5

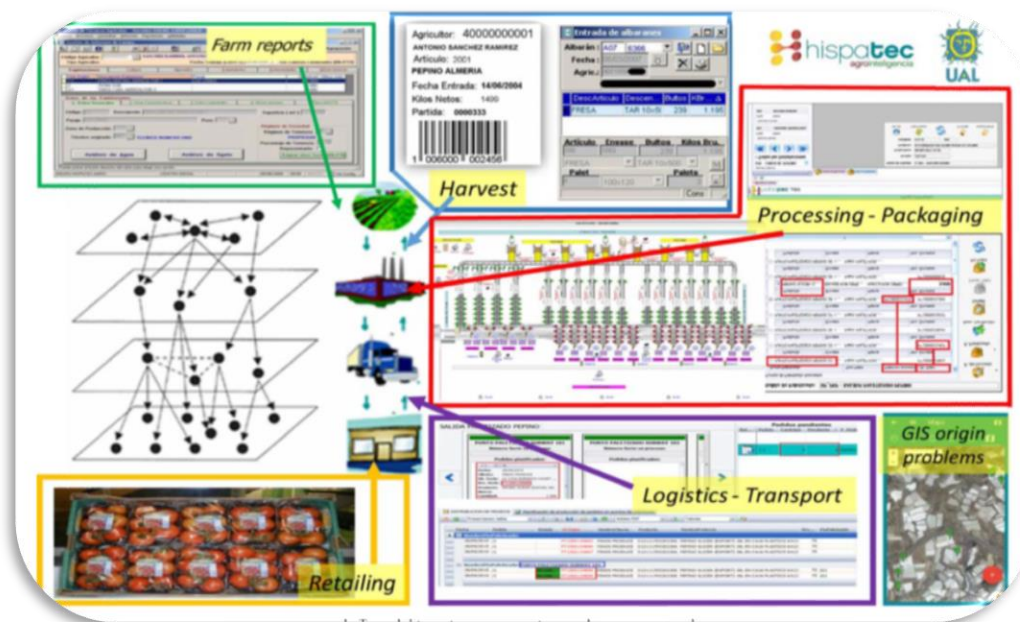


FIGURA 42: SISTEMA DE TRAZABILIDAD[60]

A partir de finales del siglo XX, la revolución de las TIC permitió la creación de cadenas de valor mundiales (CVM). Esto brindó oportunidades para acceder a nuevos mercados y diversificar las exportaciones.

Una tecnología prometedora en el ámbito de las cadenas de valor es la conocida como tecnología de libro mayor distribuido (DLT), en particular **blockchain**, y sus aplicaciones en la agricultura, por ejemplo: [95], [101]

- a) la trazabilidad de las cadenas de suministro agrícola
- b) los registros de tierras de cultivo;
- c) los sistemas de seguros agrícolas;
- d) las identificaciones digitales y
- e) la inocuidad y la seguridad alimentaria.

En el ámbito de las grandes empresas y las grandes compañías, es destacar algunos de los siguientes ejemplos:

- a) **IBM Food Trust**. Esta trazabilidad de datos proporcionada por la plataforma de IBM redujo el tiempo necesario para rastrear un mango desde la tienda hasta su origen de 7 días a 2,2121 segundos. Esta trazabilidad puede permitir la identificación de productos contaminados y su retirada antes de que sean consumidos.
- b) **Carrefour** es pionero en este sentido y en marzo de 2018 se convirtió en el primer minorista en utilizar la tecnología blockchain para productos alimenticios, aplicándola a su pollo Carrefour Quality Line Auvergne. Actualmente, la tecnología está desplegada en nueve líneas de productos animales y vegetales, como pollo de corral, huevos, queso, leche, naranjas, tomates, salmón y filete de carne picada. La tecnología ha permitido a los consumidores disponer de capacidades de trazabilidad. Con un simple escaneado QR de un smartphone, los consumidores pueden descargar y acceder a un conjunto completo de información sobre el producto escaneado: dónde y cómo se ha criado el animal, el nombre del ganadero, los piensos y tratamientos utilizados, las normas de calidad cumplidas y dónde se ha sacrificado al animal. Carrefour desea haber aplicado esta tecnología a todos sus productos alimentarios de la Línea de Calidad de aquí a 2022.

La elaboración de tecnologías y sistemas inteligentes es la principal vía para el desarrollo de la agricultura digital. Los sensores inteligentes y los robots autónomos pueden perfeccionar todo el sistema de control aumentando la precisión y el progreso racional de las señales recibidas de los elementos sensoriales. [96], [60]

Machine Learning o **aprendizaje automático** (ML) se define como el campo científico que da a las máquinas la capacidad de aprender de la "experiencia" (datos de entrenamiento) sin estar estrictamente programadas para realizar una tarea. El ML se aplica cada vez a más campos científicos.

Gracias al éxito de sus aplicaciones en sectores el **aprendizaje profundo (deep learning (DL))** también ha entrado recientemente en el ámbito de la agricultura. Una de las aplicaciones del DL en la agricultura es el reconocimiento de imágenes, que ha superado muchos obstáculos que limitan el rápido desarrollo en la robótica y la mecanización de la agroindustria y la agricultura.

Las aplicaciones de la DL en los sistemas de producción agrícola pueden clasificarse en: [102]

- ✔ gestión de cultivos, incluidas aplicaciones sobre rendimiento predicción, detección de enfermedades, detección de malas hierbas cultivo, calidad de los cultivos y reconocimiento de especies;
- ✔ gestión del ganado, incluidas aplicaciones sobre bienestar animal y producción ganadera;
- ✔ gestión del agua; y
- ✔ gestión del suelo.

El ML se ha utilizado en múltiples aplicaciones para la gestión de cultivos, la predicción del rendimiento y la detección. Sin embargo, tradicionalmente la inteligencia impulsora detrás de la **IA (Artificial Intelligence)** era el método ML, que determina las decisiones que toman las tecnologías de AI y descubre patrones o tendencias ocultos que pueden utilizarse para realizar predicciones. IA hace posible que las máquinas aprendan de la experiencia, se ajusten a nuevas entradas y realicen tareas similares a las humanas.

Las empresas que utilizan la IA ayudan a los agricultores y agricultoras a escanear sus campos y supervisar cada fase del ciclo de producción. Esto facilitará a quienes se dedican a la agricultura a tomar decisiones basadas en datos. [97]

Esta tecnología de IA está transformando el sector agrícola, ya que los agricultores y agricultoras pueden depender de los datos que registran los satélites o los UAV para determinar el estado de la finca en lugar de recorrer toda la distancia. Esto da a la persona

agrícola tiempo para centrarse en el panorama general de producción y la expansión, en lugar de dedicar tiempo los cultivos y el estado de la explotación.

Los cambios en los patrones climáticos, temperatura, niveles de lluvia y la densidad de las aguas subterráneas pueden afectar a las personas que cultivan tierras de secano y dependen mucho de las lluvias para sus cultivos.

Aprovechando la **tecnología de la nube y la IA** para emitir avisos de siembra y predecir el control de plagas y los precios de las materias primas es un paso importante para la creación de mayores ingresos para la comunidad agrícola.

La fuente potencial de datos meteorológicos seguirá y los nuevos avances en ML que están haciendo posible que los organismos públicos y las empresas puedan mejorar el uso de todos estos datos. La predicción meteorológica nunca será realmente perfecta, pero la IA permitirá que la práctica continúe mejorando su precisión y su resolución. Crear un modelo de predicción de ataques de plagas aprovecha de nuevo **IA y ML** para indicar con antelación el riesgo de ataque de plagas. [103]

Los ataques de plagas comunes, como jassids, trips(insectos), mosca blanca y pulgones, pueden causar graves daños a los cultivos y afectar al rendimiento de los cultivos. Las personas agrícolas obtendrán información predictiva sobre la posibilidad de infestación de plagas, lo que les ayudará a planificar, adoptar medidas preventivas y reducir las pérdidas de cosechas causadas por las plagas. Todo ello contribuirá sin duda a duplicar la renta agraria. La medida para indicar el riesgo de ataques de plagas, en función de las condiciones meteorológicas y además de los avisos de siembra, es una ayuda que se necesitaba desde hace tiempo. [98]

Al incluir datos, por ejemplo, condiciones climáticas, tipo de suelo, posibles invasiones e información en el algoritmo, la IA puede ayudar a los agricultores y agricultoras a decidir cuál es la mejor semilla para maximizar la producción. En tiempos de escasez de agua, la agricultura basada en IA ayudará a ahorrar agua



[7]

Manual_Uso





Manual_Uso

Agricultura Inteligente



María Francisca Rubio Palomino



¿Qué es la agricultura inteligente?

La agricultura inteligente

(AI) representa la aplicación de las modernas Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) a la agricultura, dando lugar a lo que puede denominarse una Tercera Revolución Verde (TRV).

TRV se basa

- ✔ equipos de precisión
- ✔ Internet de las Cosas (IoT)
- ✔ sensores y actuadores
- ✔ sistemas de geoposicionamiento,
- ✔ Big Data
- ✔ vehículos aéreos no tripulados (UAV, drones)
- ✔ robótica, etc.

La AI tiene un potencial:

producción agrícola más beneficiosa y sostenible, basada en un enfoque más preciso y eficiente de los recursos.

una mejor toma de decisiones o de operaciones y gestión de la explotación más eficientes.

Las bases de la agricultura inteligente:

- ◊ variabilidad espacial y temporal del suelo
- ◊ factores que afectan al cultivo

son aspectos ya tenidos en cuenta a lo largo de la historia de la agricultura

Las nuevas tecnologías al alcance del agricultor, ligadas con la AI, van a comportarse como:

- ✔ "ojos suplementarios" (captadores instalados sobre los equipos o sobre los satélites) encargados de observar las parcelas y generar información para la elaboración de las bases de datos,

herramienta imprescindible de ayuda a la toma de decisiones en cuanto al sistema productivo.

- ✔ "memoria suplementaria" para el almacenamiento y análisis (Sistemas de Información Geográfica)
- ✔ "brazos suplementarios" capaces de accionar en el momento preciso los mecanismos necesarios para modificar las condiciones de trabajo de los equipos.

- Despliegue IoT y sensores remotos
- Visión general de interconexiones urbano-rural

Oportunidades

- IoT
- Blockchain
- Big Data

Tecnologías

- Conectividad e interoperabilidad
- Falta habilidades digitales y personal especializado TIC

Barreras

- Extensión banda ancha en todo el territorio
- Apoyo nuevos modelos de negocio

Incentivos

España está ante una nueva "revolución verde" y cuenta con un gran potencial de automatización

La digitalización se convierte así en "una apuesta clave" para ofrecer igualdad de oportunidades en términos de servicios, empleo y posibilidades de desarrollo a los habitantes de los territorios rurales.

En el potencial de tecnificación de la actividad del sector agroalimentario existen unos factores que tienen un papel fundamental, como son:

- ✔ Mejora de la conectividad en todo el territorio y la interoperabilidad de los datos.
- ✔ Uso de las tecnologías habilitadoras digitales para el co-desarrollo de nuevas soluciones y servicios para el

sector (Big Data, IoT, Blockchain, Inteligencia Artificial).

- ✔ Mejora de la accesibilidad y abaratamiento de tecnologías (drones, imágenes por satélite, sensórica, robots...)

El empleo de estos sistemas supone una inversión para la persona agrícola. Por eso, antes de embarcarse en las nuevas tecnologías, deberá tener en cuenta qué objetivo

Análisis de las Tecnologías

Organizadas en relación con la toma de decisiones:

- [1] **Control y monitoreo.** Monitorización del Medio: suelo, clima, cultivo, instalaciones
 - ✔ Capturar un volumen de información con gran precisión y frecuencia
 - ✔ Poner a disposición del profesional de la agricultura y ganadería o a través de máquinas inteligentes que actúan automáticamente

extensión de la banda ancha y abaratamiento de las tecnologías contribuirán a reducir la brecha digital en el medio rural.”

Monitoreo del suelo. Sensores.

- Control de la humedad en el suelo.
- Otros sensores de suelo:
 - Nitrógeno
 - otros elementos/condiciones

Monitoreo del clima y microclima.

- Estaciones automáticas propias o redes públicas de estaciones (SIAR, AEMET o los servicios de las CCAA)
- Puesta en común de los datos de las redes públicas agro meteorológicas

Monitoreo del cultivo.

- Teledetección: usos diversos, diferentes medios y precisión de imágenes.
- Sensores monitorizar cultivos o
- Drones con cámaras multispectrales para monitorizar el contenido de nitrógeno.

Monitoreo de plagas, enfermedades y malas hierbas.

- Tratamiento de imágenes puede aportar soluciones,
- Visión artificial,
- Trampas inteligentes, etc.

[2] Análisis y optimización. Herramientas de Ayuda a la Decisión (HAD). Gestión de Bases de Datos

Precisión y Representatividad de los datos disponibles

Riego

- Gran cantidad de aplicaciones, apps y servicios, públicos como privados.
- Utilizan al menos sensores meteo y a menudo sensores de humedad o incluso correcciones con teledetección.

No se tiene calibrada ni comparada la respuesta de unos y otros ni existen mecanismos de certificación para ofrecer garantías al agricultor

Fertilización

- Mapas de cosecha y teledetección.
- Uso de máquinas inteligentes de dosificación variable.
- Sensores de suelo y agua de riego que permitan conocer la concentración de iones (aporte de nutriente más eficiente, reduciendo la contaminación)

Gestión de BBDD- BIGDATA

- Ingente cantidad de datos
- Datos públicos (PAC, suelos, meteo, variables climáticas, etc) y pueden

Gran apuesta de la administración para impulsar la innovación agraria en España, si se publican de una forma armonizada y de fácil explotación.

Gestión en organizaciones, cooperativas, comunidades de regantes, asociaciones agrarias permite también la generación y gestión de datos

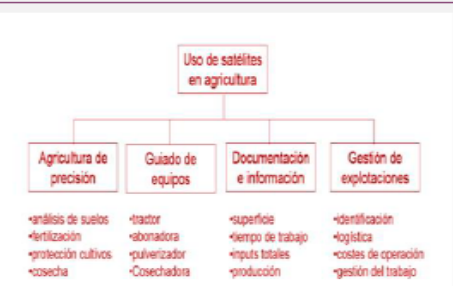
Incentivación y facilitación de datos públicos y compartición por parte de agricultores para aplicar análisis de datos descriptivo, predictivo y prescriptivo.

Sistemas de Información Geográfica

- Gran importancia la visualización de la información en mapas, mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG o GIS en inglés).

Agricultores más familiarizados con la utilización de los servicios públicos de información parcelaria, SIGPAC y otros servicios WEBGIS ofrecidos por plataformas diferentes.

[3] Intervención en la producción, integración en sistemas complejos y/o extra parcelarios.



La contribución del GPS a la agricultura de precisión es fundamental y son muchas las aplicaciones de precisión y de mapeo de variables.

Un 70% de la maquinaria europea incorpora implementos de agricultura de precisión.

En el caso que se realicen labores agrícolas que requieran mayor precisión, puede hacerse con dos sistemas diferentes:

- Satélites geoestacionarios.
- Estaciones RTK.

La utilización de satélites supone un gasto adicional para el agricultor: requieren el pago de una cuota durante el tiempo de utilización.

El empleo minimiza las fuentes de error que intervienen en las transmisiones de señal GPS



- Corrección a través de una estación fija RTK es directa,
- Adquirirla supone un gasto muy grande, pero no tiene cuotas de conexión

Navarra utiliza RGAN (Red de Geodesia Activa de Navarra), propiedad del Gobierno de Navarra, consistente en una red de 16 estaciones RTK, que hacen la corrección de la señal emitida por los satélites y las transmite al tractor vía GNSS, GPRS.

- Equipar una cosechadora con un monitor de cosecha conectado a un GPS, va a permitir realizar mapas de rendimientos, humedades, impurezas, etc, de las parcelas cosechadas.
- Estos mapas de cosecha planifican parámetros del cultivo como las dosis de siembra, tratamientos fitosanitarios y abonados.

Dosificación variable

- mapa (rendimientos, NDVI) elaborado o
- información obtenida a tiempo real por sensores montados en el tractor, la abonadora, sembradora o aplicador fitosanitario

Deshierbe inteligente

- Sensores montados en el tractor se comunican a través de la conexión ISOBUS

Robots

- Barras de aplicación fitosanitaria en invernaderos son una realidad.
- Fase menos avanzada, tractores autónomos o minirobots para siembra,
- Uso de robots para estimación y cosecha.

Control Remoto

- Comunicación de los instrumentos y máquinas y las unidades de control y gestión.
- Información se produce en todo momento y en cualquier punto de una parcela agrícola o de una granja
- Herramientas den traslado de esa información al centro de control. Telecontrol de máquinas de riego, redes de sensores.

Modos de Actuación



- determinación de las necesidades, toma de datos y acopio de información,
- análisis e interpretación de los datos obtenidos,
- procedimiento de actuación

Oportunidades

- La agricultura inteligente facilitadora de una cadena de valor sostenible y transparente
- Desarrollar una estrategia de interoperabilidad común.

Tecnologías

- SIG y monitoreo de clima y microclima
- Sistemas de apoyo a la decisión orientados a variedades, fertilización, riego...
- Monitoreo de plagas y enfermedades y aplicaciones de Big Data

Barreras

- Conectividad e interoperabilidad
- Falta de capacidades / formación en nuevas habilidades de AgTech

Incentivos

- capacidades de la tecnología para aumentar la rentabilidad y la sostenibilidad
- Promover un repositorio común de datos con la participación de los diferentes actores.

Herramientas

SISTEMAS DE LOCALIZACION	El GPS permite conocer la posición de un vehículo en la parcela. Está basado en la utilización de un conjunto de satélites. Teniendo en cuenta las "interferencias" es necesario disponer, de un receptor GPS, de señal de corrección para obtener precisión de medida compatible con los requerimientos agrícolas. Se habla entonces de un dGPS o GPS diferencial
CAPTADORES DE RENDIMIENTO	Asociados a un sistema GPS permiten la realización de cartografías de rendimiento, utilizables para posteriores razonamientos de actuación.
OTROS CAPTADORES DE ADQUISICION DE INFORMACION (SUELO, PLANTA, CLIMA)	Sistemas capaces de recoger y almacenar información sobre los distintos aspectos de la parcela (textura del suelo, contenido de humedad, contenido en M.O y nutrientes), la planta (nivel de clorofila,...) y el clima. Se convierten en "ojos suplementarios" del agricultor.
SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG)	Paquetes informáticos que permiten tratar la información de diversas fuentes en su conjunto y establecer de forma ordenada la información relativa a un punto determinado
MODELOS LA TOMA DE DECISIONES	Diferentes modelos de ayuda basados en las características agronómicas de los cultivos y en los datos obtenidos con los captadores.
SISTEMAS MODULACION DURANTE EL TRABAJO	A partir de las cartografías establecidas, estos sistemas permiten la modificación en continuo y en tiempo real de las características de trabajo de los equipos.



[8]

Conclusión

Tendencias_TrabajoFuturo



Conclusión

Tras el desarrollo del trabajo se puede decir que los objetivos planteados consistentes en comparar y analizar tecnologías y soluciones aplicadas a la agricultura inteligente, aprender técnicas idóneas, proponer diseños y capacitar a la comunidad agrícola sobre el sistema más adecuado, se han cumplido a través de la indagación y consulta de múltiples artículos científicos, revistas especializadas, trabajos expuestos vinculados con el tema, de los que se han extraídos los conceptos presentes en el trabajo para obtener la base documental y científica necesaria para una mejor comprensión del tema.

El uso de las tecnologías digitales ha sido reconocido como uno de los grandes retos para la agricultura del siglo XXI. Se ha podido constatar que las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) desempeñan un papel fundamental a la hora de mantener informados a quienes se dedican a la agricultura sobre las innovaciones agrícolas, las condiciones meteorológicas, la disponibilidad de insumos, etc. La utilización de Internet, especialmente a través de banda ancha, facilita el acceso de la población agrícola a la información y a un gran número de servicios, al tiempo que contribuye a la digitalización de las actividades agrícolas, favoreciendo el crecimiento económico de las zonas rurales. En este contexto, la agricultura inteligente está transformando el sector agrícola en términos de sostenibilidad económica, social y medioambiental.

Las tecnologías más utilizadas actualmente en la agricultura inteligente son aquellas vinculadas con sensores, IoT, Cloud, Apps de gestión, sistemas de guiado-control tráfico, robótica, inteligencia artificial y tecnologías RFID. En términos de sostenibilidad medioambiental, el impacto de tecnologías como IoT es notable para reducir el consumo de agua o pesticidas y luchar contra el cambio climático.

En cualquier caso, para hacer un uso efectivo de las distintas tecnologías es necesario primero digitalizar los datos para posteriormente poder extraer todas las capacidades que de estos se puedan desarrollar.

En el despliegue de la agricultura 4.0 es necesario regular los aspectos relacionados con el intercambio de datos que garantice la equidad, la ética y los principios europeos del ecosistema digital.

Existe tecnología suficiente para acometer proyectos de gran utilidad. El reto está en difundirlas, implementarlas, demostrar su utilidad y hacerlo transversalmente y de forma generalizada, además de promover acciones acordes con las tecnologías disponibles, especialmente en el caso de la disponibilidad de conectividad y en el soporte técnico.

La eficaz digitalización agrícola se consigue abordando acciones claves encaminadas a favorecer el impulso de proyectos pilotos y acciones demostrativas que permitan la adaptación de tecnologías a la realidad del sector agrícola.

La adopción de manera generalizada de prácticas de AI sólo será posible a través de la formación (en agricultura 4.0 y AI) del personal agrícola y la difusión de las ventajas que este tipo de agricultura tiene en comparación con el manejo tradicional.

Además, la digitalización de este sector permite responder a los retos medioambientales de adaptación al cambio climático, seguridad alimentaria y sanidad animal y vegetal, y atender de forma más directa y precisa a las demandas de la sociedad y los consumidores y a un mercado globalizado.

Existen parámetros fiables para afirmar que con la AI contribuye al cuidado del medioambiente lo que permitirá alcanzar los compromisos medioambientales fijados por Europa como los ODS de Naciones Unidas.

Tendencias_Trabajos Futuros

Se espera que el IoT optimice la producción agrícola a través de muchos medios. En el caso de las tierras de cultivo se prevé hacer uso de la microprecisión referida al medio tecnológico para identificar lo que se necesita con la mayor precisión posible y luego realizar el trabajo necesario para satisfacer las necesidades cuantitativas y cualitativas identificadas. La computación distribuida y omnipresente junto con la monitorización precisa de las instalaciones proporcionarán las condiciones óptimas de crecimiento o de vida de los vegetales.

Las tecnologías de microprecisión incluyen detección, modelización, control, información y mecatrónica para la producción en planta. Existen tecnologías básicas de microprecisión ya disponibles, como la Inteligencia Artificial, redes neuronales, algoritmos, biorobótica, bioinstrumentación, medición no invasiva y biomecatrónica

Con respecto a los sistemas autónomos, estos serán capaces no sólo de gobernar de forma eficiente a los actuadores, optimizando la utilidad y el uso de los recursos, sino también de controlar la producción de acuerdo con la situación del mercado, maximizando el beneficio y minimizando los costes de todas las maneras posibles

Por otro lado, las cadenas de suministro, equipadas con WSN y equipos RFID, podrán supervisar cada etapa de la vida de un producto, hacer razonamientos automáticos, en caso de un producto defectuoso y aumentar la sensación de seguridad del consumidor, a través de un sistema de información transparente del ciclo de vida del producto.

Todo lo anterior supone la integración del IoT en la agricultura de forma optimista, sin embargo, en este concepto participan redes locales que tienen que estar protegidas contra las interferencias de otras redes, especialmente cuando estas tecnologías alcancen todo su potencial.

Además, en un escenario real de IoT, la mayor parte de los elementos utilizarán equipos diferentes, con especificaciones técnicas y/o características de los sensores distintas. La interoperabilidad, el filtrado y la anotación semántica de los datos, procedentes de cada agricultor y agricultora serán utilizados para mejorar un sistema experto o de apoyo compartido en la toma de decisiones.

La seguridad, el anonimato y el control de los derechos de acceso a la información es vital para que se adopte un sistema de este tipo y que el entorno esté a salvo de tácticas poco ortodoxas.



[9]

Bibliografía



Bibliografía_Datos

- [1] Cómo los datos abiertos pueden impulsar el sector agrícola y forestal. Jose Luis Marín de la Iglesia. Abril 2019
- [2] Informes y estudios | datos.gob.es. <https://datos.gob.es/es/doc-types/informes-y-estudios>.2022
- [3] Verónica Saiz-Rubio, Francisco Rovira-Más From Smart Farming towards Agriculture 5.0: A Review on Crop Data Management. February 2020.Agronomy 10(2), 207. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020207>
- [4] Precision agriculture yields higher profits, lower risks | HPE. <https://www.hpe.com/us/en/insights/articles/precision-agriculture-yields-higher-profits-lower-risks-1806.html>.2018
- [5] F. de A. de C. Pinto, D. M. de Queiroz, E. Chartuni, and E. Ruz, "Agricultura de precisión: nuevas herramientas para mejorar la gestión tecnológica en la empresa agropecuaria," Rev. Palmas, 2007. 28(4), 29–34. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1234>
- [6] Key data categories for agriculture, datasets and data standards. <https://opendatacharter.net/agriculture-open-data-package/section-2-towards-open-data-infrastructure-agriculture/key-data-categories-agriculture-datasets-data-standards/>.2022
- [7] Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas. <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sistema-de-informacion-geografica-de-parcelas-agricolas-sigpac-/default.aspx>.2022
- [8] Agriculture & economics - European Commission – DataM. <https://datam.jrc.ec.europa.eu/datam/area/IMAP>.2022
- [9] The State of Food and Agriculture 2021. FAO 2021. ISBN: 978-92-5-134329-6
- [10] Precision Agriculture and the Future of Farming in Europe. [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_STU\(2016\)581892](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_STU(2016)581892).2016.
- [11] La agricultura de precisión y el futuro del sector agropecuario en Europa. Estudio de prospectiva científica. ISBN 978-92-846-1028-0.2016
- [12] Pago de Carraovejas o la viticultura predictiva – Innovagri. <https://www.innovagri.es/comunidad/pago-de-carraovejas-o-la-viticultura-predictiva.html>.2017
- [13] The future of agriculture. <https://www.economist.com/technology-quarterly/2016-06-09/factory-fresh>.2016

- [14] Using artificial intelligence, agricultural robots are on the rise. <https://www.agricultureportal.co.za/index.php/agri-index/74-technology/3856-using-artificial-intelligence-agricultural-robots-are-on-the-rise.2022>
- [15] EIP-AGRI Workshop on Farm data: final report.2021. European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels
- [16] EIP-AGRI. <https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en>.2022
- [17] The 25 Most Innovative AgTech Startups In 2018 . <https://www.forbes.com/sites/maggiemcgrath/2018/06/27/the-25-most-innovative-agtech-startups-in-2018/?sh=60fc4a522302>.2018
- [18] Aplicaciones de la ciencia de datos [abiertos] para la agricultura. 2018. <https://datos.gob.es/es/blog/aplicaciones-de-la-ciencia-de-datos-abiertos-para-la-agricultura>
- [19] Los beneficios de los datos de abiertos en el sector agrícola y forestal: el caso de Fruktia y Arbaria. 2022. <https://datos.gob.es/es/blog/los-beneficios-de-los-datos-de-abiertos-en-el-sector-agricola-y-forestal-el-caso-de-fruktia-y>
- [20] Use cases - Data Europa - European Union. <https://data.europa.eu/es/publications/use-cases>
- [21] Top 9 Farm Management Software in 2022. <https://www.predictiveanalyticstoday.com/top-farm-management-software/>.2022
- [22] VisualNACert. <https://visualnacert.com/nuestra-historia/>.2022
- [23] SPIDERwebGIS. <http://www.spiderwebgis.org/spider/>.2023
- [24] Agroptima. <https://www.agroptima.com/es/>.2022
- [25] Corizon. Data Analysis. <https://corizon.nl/data-analysis>.2022
- [26] Sebastián Saavedra-Rincón, Óscar Chaparro-Anaya Desarrollo de una aplicación en Python para mapeo de variabilidad espacial en la agricultura digital. 2022 <https://doi.org/10.53807/revAIA.22.26.01>
- [27] La Transformación Digital Del Sector Agrario Español
- [28] II Plan De Acción 2021-2023 Estrategia De Digitalización Del Sector Agroalimentario Y Del Medio Rural. Ministerio De Agricultura, Pesca Y Alimentación
- [29] Mehdi Sine, Haezebrouck Théo-Paul, Emeric Emonet. An Open Data and Open API platform to promote interoperability standards for Farm Services and Ag Web Applications. 2015. Journal of Agricultural Informatics 6(4). <https://doi.org/10.17700/jai.2015.6.4.209>

- [30] Centro de Competencias Digitales: MAPA.
<https://centrocompetencias.mapa.es/>.2021
- [31] FIWARE | Open Source Platform for the Smart Digital Future.
<https://www.fiware.org/>.2022
- [32] IoF2020: Internet of Food and Farm 2020. <https://www.iof2020.eu/>.2020
- [33] SmartAgriHubs. <https://www.smartagrihubs.eu/>.2022
- [34] Datagri 2022. <https://www.datagri.org/>.2022
- [35] Sécurisez, échangez, valorisez les data agricoles - Agdatahub <https://api-agro.eu/en/>.2022
- [36] Measurements and Data Analysis for Agricultural Engineers Using Python.
<https://pyageng.mpastell.com/book/>.2022

Bibliografía IoT

- [37] Czekalski, Piotr, Molua, Ernest, Grochla, Krzysztof, Kuaban, Godlove, Grochla, Krzysztof. An Architectural framework Proposal for IoT Driven Agriculture. 2019. Communications in Computer and Information Science. *1039*, 18–33. https://doi.org/10.1007/978-3-030-21952-9_2
- [38] Abhishek Khanna, Sanmeet Kaur, Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of Precision Agriculture. 2019. Computers and Electronics in Agriculture. Vol. 157, pp. 218–231). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.039>
- [39] Antonis Tzounis, Nikolaos Katsoulas, Thomas Bartzanas, Constantinos Kittas. Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. 2017. Biosystems Engineering. (Vol. 164, pp. 31–48). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007>
- [40] Dhanaraju, M.;Chenniappan, P.; Ramalingam, K.;Pazhanivelan, S.; Kaliaperumal, R. Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture. 2022. Agriculture *12*(10), 1745. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101745>
- [41] Arkeman, Y., Kailaku, S. I., Saefurahman, G., & Fatullah, R. (n.d.). Special issue: Smart and Resilient Agri-Food Systems for Integrating Smallholder Farmers into Global Value Chains Applications of the Internet of Things (IoT) and Blockchain for Agriculture in Indonesia.
- [42] Krithika L.B. Survey on the Applications of Blockchain in Agriculture. Agriculture 2022. FFTC Journal of Agricultural Policy. (9), 1333. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091333>
- [43] Barcelo-Ordinas, J.M.; Chanet, J.P.; Hou, K.M.; García-Vidal, J. A survey of wireless sensor technologies applied to precision agriculture. 2013. Context-aware approach for e-agriculture View project LABEX-IMOB3 View project. <https://www.researchgate.net/publication/239937504>

- [44] P. Ferrer-Cid, Barcelo-Ordinas, J. M., and Garcia-Vidal, J., Data reconstruction applications for IoT air pollution sensor networks using graph signal processing, *Journal of Network and Computer Applications (JNCA, Elsevier)* 2022, 205. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2022.103434>
- [45] Anandhan, C. Gananaprakasam. Implementation of Internet of Things in Agriculture Zone. 2017. *International Journal of Engineering Research in Computer Science and Engineering (Vol. 4, Issue 7)*.
- [46] Mahaling Salimath, Rajesh Yakkundimath, Recent advances and future challenges of IoT in Agriculture. 2018. *International Journal of Creative Research Thoughts (Vol. 6, Issue 1)*. www.ijcrt.org
- [47] O. Friha, M. A. Ferrag, L. Shu, L. Maglaras and X. Wang, Internet of Things for the Future of Smart Agriculture: A Comprehensive Survey of Emerging Technologies. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 2021 (Vol. 8, Issue 4, pp. 718–752). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/JAS.2021.1003925>
- [48] T Setiaji, C Budiyanto and R A Yuana. The contribution of the Internet of Things and smart systems to agricultural practices: A survey. *The 5th Annual Applied Science and Engineering Conference 2020*.
- [49] Berthet, Elsa T, Hickey, Gordon M, Klerkx, Laurens Opening design and innovation processes in agriculture: Insights from design and management sciences and future directions. 2018. *Journal Title: Agricultural Systems*
- [50] Richard J. Lehmann, Robert Reiche, Gerhard Schiefer Future internet and the agri-food sector: State-of-the-art in literature and research. 2012. *Computers and Electronics in Agriculture. (Vol. 89, pp. 158–174)*. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.09.005>
- [51] Talking 2030. Growing agriculture into a \$100 billion industry. 2018
- [52] Melchiori, R.J.M.; Albarenque, S. M.; Kemerer A.C. Uso, Adopción Limitaciones de la Agricultura de Precisión en Argentina
- [53] Robert Bramley, Sam Trengove. Precision Agriculture in Australia: Present Status And Recent Developments.
- [54] Krijn J. Poppe, Sjaak Wolfert, Cor Verdouw, Tim Verwaart. Information and Communication Technology as a Driver for Change in Agri-food Chains. 2013 *The Agricultural Economics Society and the European Association of Agricultural Economists*

- [55] Waltera I, Robert Fingerb, Robert Huberb, and Nina Buchmann. Smart farming is key to developing sustainable agriculture Achim. 2017 In Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (Vol. 114, Issue 24, pp. 6148–6150). National Academy of Sciences. <https://doi.org/10.1073/pnas.1707462114>
- [56] Dimitris S. Paraforos, Vangelis Vassiliadis, Dietrich Kortenbruck, Kostas Stamkopoulos, Vasileios Ziogas, Athanasios A. Sapounas, Hans W. Griepentrog. A Farm Management Information System Using Future Internet Technologies. IFAC-PapersOnLine 49-16 (2016)
- [57] Verdouw, Cor, Sundmaeker, Harald, Tekinerdogan, Bedir, Conzon, Davide, Montanaro, Teodoro. Architecture framework of IoT-based food and farm systems: A multiple case study. 2019. Computers and Electronics in Agriculture
- [58] Ian F. Akyıldiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci. A Survey on Sensor Networks. IEEE Communications Magazine. 2002
- [59] Kirkaya. Smart Farming- Precision Agriculture Technologies. Journal of Scientific Perspectives. 2020
- [60] Cynthia Giagnocavo, Fernando Bienvenido, Li Ming, Zhao Yurong, Jorge Antonio Sanchez-Molina, Yang Xinting. Agricultural cooperatives and the role of organisational models in new intelligent traceability systems and big data analysis. 2017. International Journal of Agricultural and Biological Engineering
- [61] Neha Kailash Nawandar, Vishal Satpute. IoT based intelligent irrigation support system for smart farming applications. 2019. Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal
- [62] ¿Qué nos dicen los sensores sobre los cultivos? www.newaginternational.com
- [63] Emerson Borghi, Junior Avanzi, Leandro Bortolon, Ariovaldo Luchiar Junior, Elisandra Bortolon. Adoption and Use of Precision Agriculture in Brazil: Perception of Growers and Service Dealership. Journal of Agricultural Science; 2016
- [64] Akhil Gupta, And Rakesh Kumar Jha, A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies. in IEEE Access 2015,
- [65] J. P. Shanmuga Sundaram, W. Du and Z. Zhao, A Survey on LoRa Networking: Research Problems, Current Solutions, and Open Issues. In IEEE Communications Surveys & Tutorials 2020.

- [66] . M. S. Farooq, S. Riaz, A. Abid, K. Abid and M. A. Naeem A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming, In IEEE Access, 2019.
- [67] Havinal, Ramanna. The Role and Potential of Information Technology in Agricultural Development. 2020. International Journal of Engineering and Technical Research *And*, V9(07). <https://doi.org/10.17577/IJERTV9IS070663>
- [68] Shaik. N. Meera, Anita Jhamtani, and. Rao Information and Communication Technology in Agricultural Development: A Comparative Analysis Of Three Projects From India. Network PaperNo. 2004
- [69] Gestión en terrenos específicos utilizando tecnologías de velocidad variable. www.newaginternational.com
- [70] Marucci, A., Colantoni, A., Zambon, I., & Egidi, G. (2017). Precision Farming in Hilly Areas: The Use of Network RTK in GNSS Technology. *Agriculture*, 7(7), 60. <https://doi.org/10.3390/agriculture7070060>
- [71] Saiz-Rubio, V., & Rovira-Más, F. (2020). From Smart Farming towards Agriculture 5.0: A Review on Crop Data Management. *Agronomy*,
- [72] Walch, K. How AI Is Transforming Agriculture. Available online: <https://www.forbes.com/sites/cognitiveworld/2019/07/05/how-ai-ittransforming-agriculture/> (acceso diciembre 2022).
- [73] Bechar, A., & Vigneault, C. (2016). Agricultural robots for field operations: Concepts and components. *Biosystems Engineering.*, 149, 94-111. <https://doi.org/10.1016/j.BIOSYSTEMSENG.2016.06.014>
- [74] Bechar, A., & Vigneault, C. (2017). Agricultural robots for field operations. Part 2: Operations and systems. *Biosystems Engineering* 153, 110-128. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.11.004>
- [75] Plug Things In. What is satellite internet? URL <http://www.plugthingsin.com/internet/satellite/>.2023
- [76] UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES UIT. Internet de los Objetos. Naciones Unidas: La Empresa [citado 28 octubre, 2020] Disponible en Internet: <http://www.itu.int/itu-news/manager/display.asp?lang=es&year=2005&issue=09&ipage=things&ext=html>.
- [77] Ossa, S.I. Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos. 2017.Revista Vector

- [78] Dron Phantom 4 Multispectral. <https://www.dji.com/es/p4-multispectral>

Bibliografía Comparativa

- [79] Mekki, Kais, Bajic, Eddy, Chaxel, Frederic, Meyer, Fernand. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express* 5 (2019) 5(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.icte.2017.12.005>
- [80] Badreddine Miles, El-Bay Bourennane, Samia Boucherkha, Salim Chikhi. A study of LoRaWAN protocol performance for IoT applications in smart agriculture. *Computer Communications*, 164, 148–157. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.10.009>
- [81] Haider Mahmood Jawad 1,2, Rosdiadee Nordin 1, Sadik Kamel Gharghan 3, Aqeel Mahmood Jawad 1,2 and Mahamod Ismail 1. Energy-Efficient Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture: A Review. In *Sensors (Switzerland)* (Vol. 17, Issue 8). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s17081781>
- [82] Ismael Muñoz. Grupo focal sobre digitalización y big data en el sector agroalimentario, forestal y el medio rural. ISSN 2254-0857, 2018,
- [83] Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. 2019. *ICT Express*, 5(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.icte.2017.12.005>

Bibliografía Casos

- [84] Danilo and G. Santillán, Métodos de visión por computador para detección automática de líneas de cultivo curvas/rectas y malas hierbas en campos de maíz, 2018.
- [85] F. J. Rodr and R. M. Luque-baena, Detección de variedad y estado de maduración del ciruelo japonés utilizando imágenes hiperespectrales y aprendizaje profundo. <https://hdl.handle.net/10630/16782>
- [86] S. Karmarkar, G. Jadhav, M. Parkhe, A. Kadam, and H. Patel, Tomato Disease Detection using Image. pp. 4212–4220, 2018, doi: 10.15662/IJAREEIE.2018.0712012.
- [87] M. Bhang and H. A. Hingoliwala, Smart Farming: Pomegranate Disease Detection Using Image Processing, *Procedia Comput. Sci.*, vol. 58, pp. 280–288, 2015, doi: 10.1016/j.procs.2015.08.022.
- [88] M. Jhuria and A. Kum, g for Smart Farming: Detection of Disease and Fruit Grading,. pp. 521–526, 2021. [32] "AINIA desarrolla tecnología para control de plagas en tiempo real."

- [89] Proyecto Athos 5G. <https://agrosap.es/blog/agrosap-corteva-proyecto-innovacion-athos-5g-drones/>
- [90] Dang, K., Sun, H., Chanet, J.-P., Garcia-Vidal, J., Barcelo-Ordinas, J. M., Shi, H. L., Hou, K. M., & Barcelo, J. M. (n.d.). Wireless multimedia sensor network for plant disease detections. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00876433>
- [91] 5G FieldLab.
<https://www.redestelecom.es/infraestructuras/noticias/1108149001803/aplicacion-5g-agricultura-de-precision.1.html>
- [92] Booi, J., Nieuwenhuizen, A., van Boheemen, K., de Vissr, C., Veldhuisen, B., Vroegop, A., Stokkermans, T., & Ruigrok, T. (2020). 5G Fieldlab Rural Drenthe: duurzame en autonome onkruidbestrijding. <https://doi.org/10.18174/517141>
- [93] Big Data, IoT en plantación de kiwis. https://elpais.com/elpais/2020/09/28/planeta_futuro/1601290581_004051.html.
- [94] R. T. Sataloff, M. M. Johns, and K. M. Kost, ROOT AI. <https://root-ai.com/>
- [95] Vine Robot. <http://www.vinerobot.eu/>
- [96] Drones y visión artificial para la estimación de producción en cítricos. <https://www.interempresas.net/Grandes-cultivos/Articulos/246173-Drones-y-vision-artificial-para-la-estimacion-de-produccion-en-citricos.html>
- [97] S. Kharuf-Gutierrez, L. Hernández-Santana, R. Orozco-Morales, O. de la C. Aday Díaz, and I. Delgado Mora, Análisis de imágenes multispectrales adquiridas con vehículos aéreos no tripulados. 2018. *Ing. Electrónica, Automática y Común*, 39(2), 79–91. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S181559282018000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [98] Zheng, H., Zhou, X., Cheng, T., Yao, X., Tian, Y., Cao, W., & Zhu, Y. Evaluation of a UAV-based hyperspectral frame camera for monitoring the leaf nitrogen concentration in rice. 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). 7350–7353. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2016.7730917>
- [99] D. Stroppiana et al., Rice yield estimation using multispectral data from UAV: A preliminary experiment in northern Italy, 2015. *Int. Geosci. Remote Sens.*
- [100] Parrot Sequoia. <https://www.parrot.com/es/shop/recambiosaccesorios/otros-drones/sequoia>.

- [101]** Bean IoT. <http://www.beaniot.com/>
- [102]** Gaia-X Domain Agriculture.
https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/Digitale-Welt/211116-pp-agriculture.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- [103]** Nikola M. Trendov, Samuel Varas, and Meng Zeng. Digital Technologies in Agriculture and Rural Areas Status Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2019 . <http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules>
- [104]** AINIA desarrolla tecnología para control de plagas en tiempo real
<https://www.ainia.es/ainia-news/ainia-desarrollara-nueva-tecnologia-mejorar-control-plagas-tiempo-real/>