



## **Informe de resultados del proyecto CERES - Diagnóstico de cultivos mediante visión hiperespectral en tiempo real IMDEEA/2020/93**



## 1 Resumen del proyecto

El mundo se enfrenta en los próximos años a una serie de retos que obligarán a la evolución de la agricultura tal y como la conocemos. La Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) señala como principal reto de la agricultura hasta 2050 la capacidad de alimentar a una población mundial creciente que cada vez dedica menos tierras al cultivo por habitante (fuente: Banco Mundial), que dispone de menos agua salubre debido a la contaminación de los acuíferos y al cambio climático y con una reducción progresiva de la mano de obra. También se exige a la agricultura que sea cada vez más sostenible tanto social como medioambientalmente.

El sector agrícola valenciano no es ajeno a esta problemática y en los próximos años debe conseguir aumentar su capacidad productiva con menos tierras cultivadas y menor aporte de agua. Debe controlar la calidad de sus productos con una reducción tanto de los nutrientes que se han utilizado en exceso en el pasado como de los pesticidas con el fin de preservar la sostenibilidad medioambiental. Y también debe aumentar la rentabilidad de su actividad para conseguir una mayor sostenibilidad social y para resolver el problema del relevo generacional. Para acometer estos retos con garantías es necesario el desarrollo e implantación de técnicas de agricultura de precisión en los procedimientos propios del campo valenciano.

La agricultura de precisión aborda la gestión de parcelas y cultivos sobre la base de la observación, la medida y la actuación frente a la variabilidad inter e intra-cultivo. Para ello requiere de varios conjuntos de tecnologías como las de geoposicionamiento (GNSS), sensores que capten las necesidades de cada planta y tecnologías de inteligencia artificial que ayuden a la toma de decisiones como, por ejemplo, las tecnologías de aplicación variable (VRT).

En el proyecto CERES, AINIA ha colaborado con asociaciones, fundaciones y empresas valencianas líderes en la agricultura para evaluar, validar y difundir las nuevas tecnologías más avanzadas que permitan y faciliten la transformación digital del sector agrícola valenciano. Este avance tecnológico estará concebido desde el principio bajo criterios de aplicabilidad y accesibilidad, de forma que el resultado sea una propuesta basada en dispositivos y herramientas adaptadas a las necesidades de la comunidad agrícola. En este proyecto, se ha desarrollado un sistema compacto dotado de sensores fotónicos de última generación, embarcable en vehículos terrestres o aéreos, que es capaz de evaluar cultivos, diagnosticarlos y tomar decisiones en tiempo real, contribuyendo así a la mejora de la eficiencia del campo valenciano y generando una mejora en la rentabilidad agraria, en el ahorro de insumos y en la sostenibilidad del sector.

El uso masivo de este tipo de dispositivos tendrá un impacto altamente positivo en las explotaciones agrícolas de la Comunidad Valenciana, así como en el tejido formado por empresas de maquinaria, servicios y centros de investigación, favoreciendo el robustecimiento y liderazgo de un sector que puede mejorar la competitividad en los mercados nacionales e internacionales, contribuir a la mejora del producto interior bruto de la Comunidad y asegurar una contribución responsable a la sociedad.

## 2. Innovación del proyecto

En este proyecto se ha plantea el reto innovador de desarrollar un sistema compacto de detección de enfermedades, plagas y daños en cultivos basado en tecnologías fotónicas e inteligencia artificial embarcable en vehículos autónomos, capaz de realizar diagnósticos



en tiempo real y mostrarlo a través de representaciones avanzadas de realidad aumentada.

La innovación que ha aportado este proyecto al sector agrario se centra en tres características:

1. Combinación de tecnologías fotónicas y de su información simultánea sobre la escena.

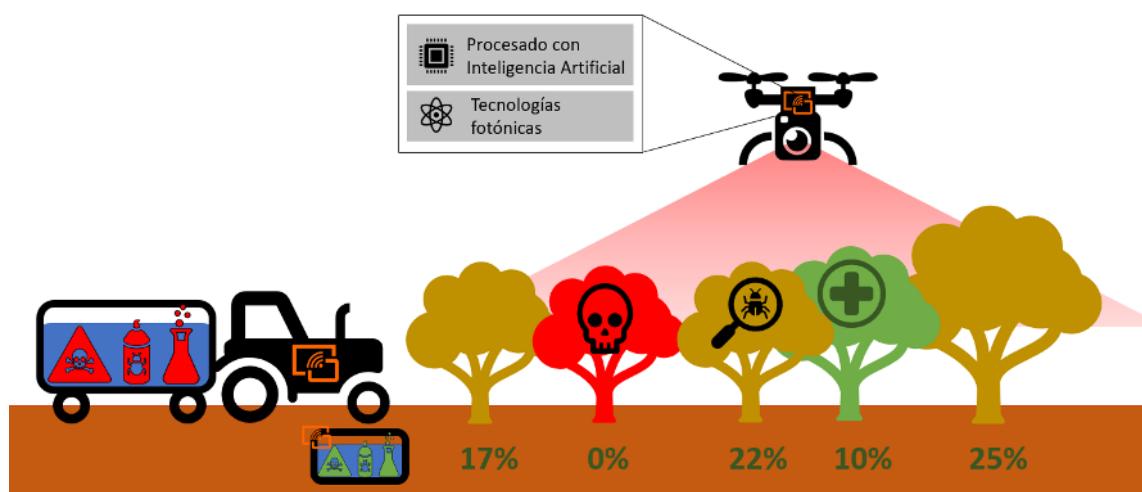
En el proyecto CERES se ha generado un prototipo de dispositivo fotónico que combina tecnologías fotónicas como la visión hiperespectral que multiplica hasta dos órdenes de magnitud la información captada por las tecnologías multiespectrales y la resolución espacial de las imágenes satelitales.

2. Diagnóstico de enfermedades y plagas

En el proyecto CERES se ha podido establecer una relación directa entre la huella espectral captada de los cultivos explorados y el modelo de la enfermedad desarrollado, pudiendo hacer un diagnóstico inequívoco de la presencia de la enfermedad o plaga.

3. Inteligencia artificial y procesado en tiempo real

Se ha desarrollado un algoritmo de inteligencia artificial para el procesado de datos agronómicos que destaca por la velocidad, bajo consumo y su capacidad de cómputo. La optimización para sistemas compactos y portables de algoritmos de inteligencia artificial en el ámbito agronómico es una innovación dirigida a la adopción de las nuevas tecnologías al trabajo en el campo con maquinaria inteligente.





### 3. Resultados del proyecto

Los principales resultados que se han obtenido en el proyecto CERES han sido:

- a) Unidad compacta de captación fotónica de datos agronómicos y procesado en tiempo real mediante estrategias de inteligencia artificial

El primer resultado del proyecto ha sido la unidad compacta y ligera que integra sensores fotónicos y capacidad de cómputo en tiempo real. Dicha unidad es fácilmente integrable en todo tipo de vehículos autónomos o vehículos y maquinaria agrícola de uso habitual por el propio agricultor.

La unidad consta de los siguientes componentes:

1. Cámara hiperespectral
2. Dispositivo lidar
3. IMU/GPS
4. CPU+GPU
5. Radio enlace



- b) Selección de estrategias de inteligencia artificial para diagnóstico agrario en tiempo real



El segundo resultado del proyecto son los algoritmos de inteligencia artificial seleccionados para ser aplicados en la detección de enfermedades, plagas y daños en tiempo real a partir de las imágenes espectrales obtenidas con la plataforma desarrollada.

Las técnicas de IA aplicadas en este proyecto fueron las siguientes:

### 2.1 K Vecinos más cercanos (k-nearest neighbors)

El método de los k vecinos más cercanos (en inglés, k-nearest neighbors, abreviado k-nn) es un método de clasificación supervisada (Aprendizaje, estimación basada en un conjunto de entrenamiento y prototipos) que sirve para estimar la función de densidad  $F(x/C_j)$  de las predictoras  $x$  por cada clase  $C_j$ .

Este es un método de clasificación no paramétrico, que estima el valor de la función de densidad de probabilidad o directamente la probabilidad a posteriori de que un elemento  $x$  pertenezca a la clase  $C_j$  a partir de la información proporcionada por el conjunto de prototipos. En el proceso de aprendizaje no se hace ninguna suposición acerca de la distribución de las variables predictoras.

En el reconocimiento de patrones, el algoritmo k-nn es usado como método de clasificación de objetos (elementos) basado en un entrenamiento mediante ejemplos cercanos en el espacio de los elementos. K-NN es un tipo de aprendizaje vago (lazy learning), donde la función se aproxima solo localmente y todo el cálculo es diferido a la clasificación. La normalización de datos puede mejorar considerablemente la exactitud del algoritmo k-nn.

### 2.2 Support Vector Machines (SVM)

Las máquinas de vectores de soporte o máquinas de vector soporte (del inglés Support Vector Machines, SVM) son un conjunto de algoritmos de métodos que están propiamente relacionados con problemas de clasificación y regresión.

Dado un conjunto de ejemplos de entrenamiento (de muestras) podemos etiquetar las clases y entrenar una SVM para construir un modelo que prediga la clase de una nueva muestra. Intuitivamente, una SVM es un modelo que representa a los puntos de muestra en el espacio, separando las clases a 2 espacios lo más amplios posibles mediante un hiperplano de separación definido como el vector entre los 2 puntos, de las 2 clases, más cercanos al que se llama vector soporte. Cuando las nuevas muestras se ponen en correspondencia con dicho modelo, en función de los espacios a los que pertenezcan, pueden ser clasificadas a una o la otra clase.

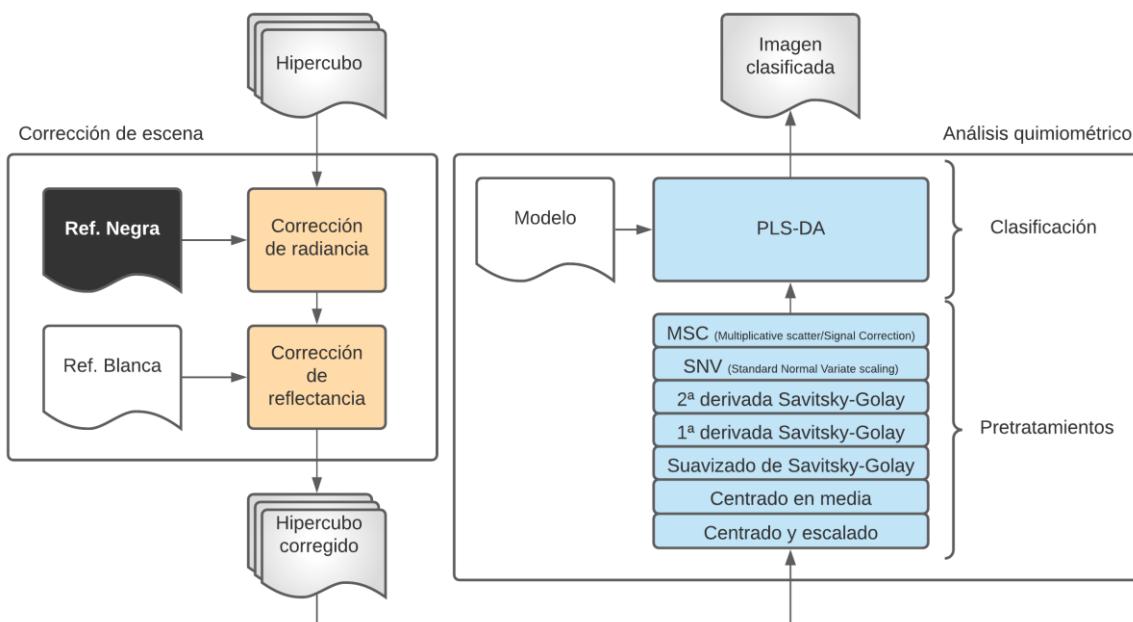
Más formalmente, una SVM construye un hiperplano o conjunto de hiperplanos en un espacio de dimensionalidad muy alta (o incluso infinita) que puede ser utilizado en problemas de clasificación o regresión. Una buena separación entre las clases permitirá una clasificación correcta.

### 2.3 Análisis discriminante con mínimos cuadrados parciales (PLS-DA, Partial Least Squares - Discriminant Analysis)

Es un método supervisado de análisis que se basa en la regresión en mínimos cuadrados parciales. Las variables independientes ( $X$ ) son el espectro de cada muestra (píxel de la imagen del cultivo adquirida con la cámara hiperespectral), mientras que la variable dependiente  $Y$  es una variable categórica, definida por el analista, que codifica cada clase de manera numérica. Habitualmente, la matriz  $Y$  consta de números enteros.

El resultado de la regresión son valores de Y cercanos a los que indican cada categoría. Una muestra del conjunto de predicción se considera que está correctamente categorizada si cumple dos criterios: debe tener un perfil espectral que no sea significativamente diferente de los perfiles de las muestras que forman el conjunto de calibración y el valor calculado de la variable categórica debe estar dentro de un intervalo de valores alrededor del número con el que se codifica la categoría (cut - off value).

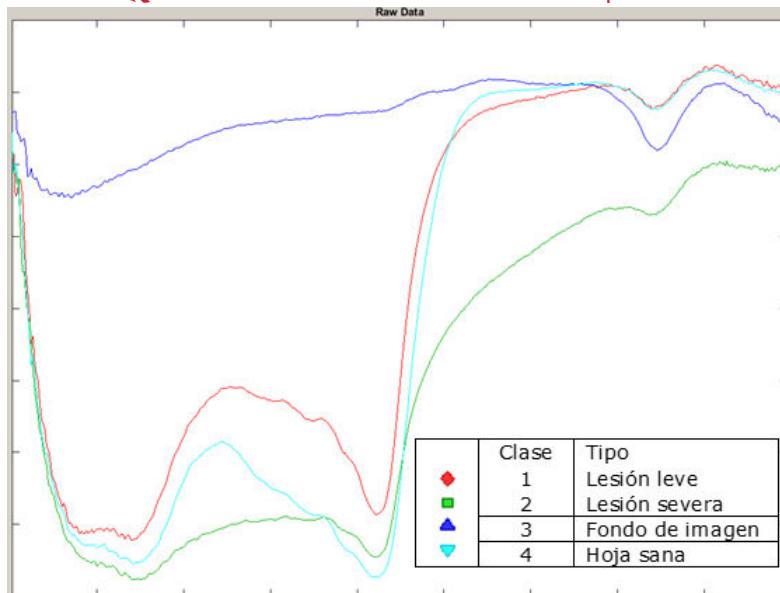
El proceso de corrección, pretratamiento y clasificación espectral se resume en la siguiente imagen:



### c) Modelos de inferencia de enfermedades, plagas y daños

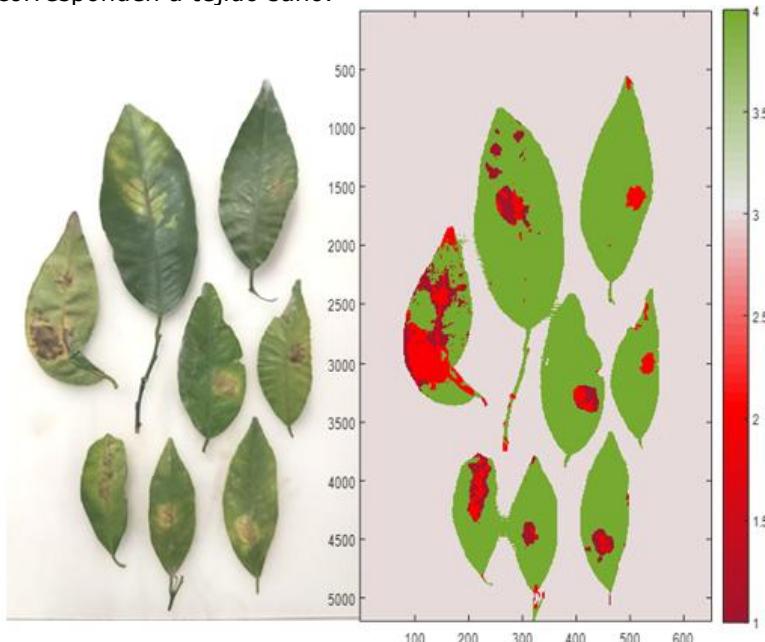
El tercer resultado derivado del proyecto son los modelos matemáticos desarrollados capaces de relacionar la información presente en las imágenes espectrales obtenidas con la plataforma con la presencia en los cultivos de las enfermedades, plagas y daños.

En particular, se desarrolló un modelo para estimar los daños causados por el *tetranychus uticae* en cítricos.



La aplicación del modelo PLS-DA genera una clasificación de cada uno de los píxeles de la imagen de entrada en una de las cuatro clases del modelo. De forma que si asignamos diferentes colores para cada una de las clases podemos obtener una imagen en pseudo color que ofrece información precisa sobre la presencia de daño de la plaga en las hojas

En este caso el daño está representado por los píxeles rojos, separados a su vez entre daño leve (rojo) y daño severo (rojo oscuro). Los píxeles verdes corresponden a tejido sano.



d) Piloto demostrativo de agricultura de precisión



Se ha obtenido un piloto demostrativo con el que se ha validado el funcionamiento de la unidad compacta de captación fotónica de datos agronómicos. La unidad está embarcada en un vehículo autónomo y capta y procesa los datos en tiempo real para hacer un diagnóstico sobre los cultivos y permite realizar demostraciones del potencial de la tecnología a los principales agentes y empresas del sector en la Comunidad Valenciana, como se pudo comprobar en la jornada final de presentación de resultados del proyecto.



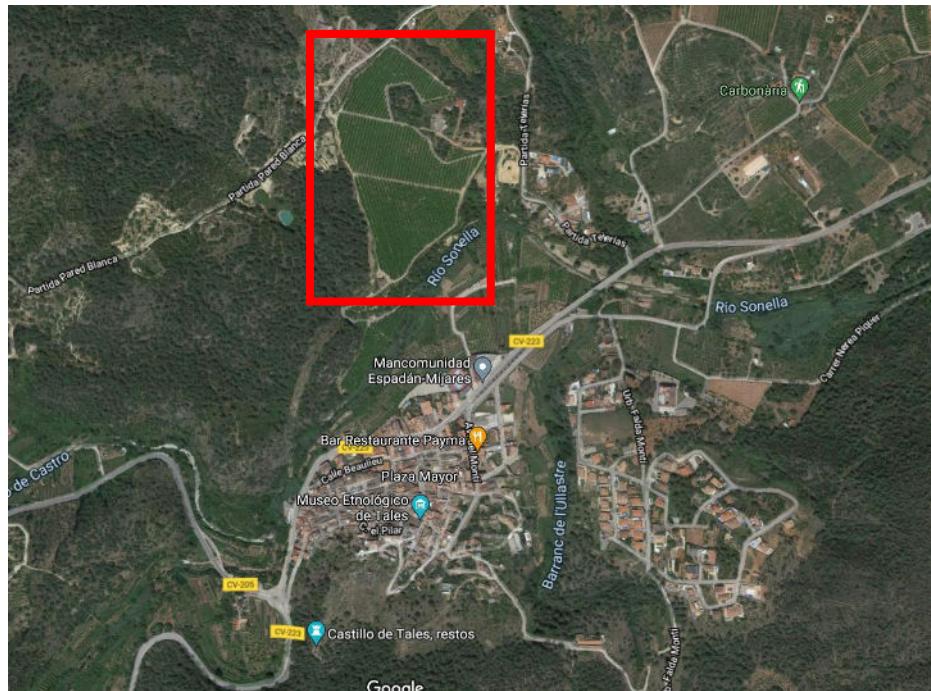
e) Caso práctico de aplicación de la tecnología

Se ha elaborado un caso con datos reales para estimar el beneficio aportado por la tecnología desarrollada aplicada a un escenario real. Este caso está basado en la aplicación de las conclusiones extraídas del proyecto sobre un escenario real, mostrando la diferencia entre la no aplicación de la tecnología y el beneficio simulado de la aplicación práctica.

A continuación, se detallan 2 ejemplos de los resultados de las pruebas en campo.

### **Resultados obtenidos en la finca de la cooperativa de Onda**

Este conjunto de parcelas, propiedad de la cooperativa de Onda, está situado al norte de Tales, Castellón. Las parcelas se eligieron con el apoyo del IVIA. Las características de la zona, cálida y seca, la hacen propicia a la aparición de *tetranychus*.





En este conjunto de parcelas se centraron los mayores esfuerzos de caracterización de cultivos, dadas la idoneidad de sus características para los estudios necesarios para el desarrollo de la unidad CERES. También se trabajó en la detección de *tetranychus urticae* en las imágenes captadas en estas parcelas.

Por ello, se emplearon todos los equipos disponibles: cámaras hiperespectrales, escáneres LiDAR, vehículos y diferentes versiones de hardware y software de apoyo.



En esta parcela, se lograron los mejores resultados del proyecto: series completas de datos hiperespectrales y LiDAR pertenecientes a filas de naranjos de 100 m de longitud empleadas para la calibración y el desarrollo de la unidad CERES.



### **Resultados obtenidos en la Finca Sinyent**

La finca Sinyent es el proyecto de experimentación agraria que AVA-ASAJA desarrolla con la finalidad de realizar ensayos y transferir los resultados obtenidos de la investigación a los agricultores valencianos de forma rápida, útil y eficaz. El centro ocupa una extensión total de 25 hectáreas en el término de Polinyà del Xúquer, en un entorno agrícola y paisajístico de gran valor junto al cauce del río Júcar, y goza de una climatología y edafología que se adapta a la mayoría de los cultivos mediterráneos.



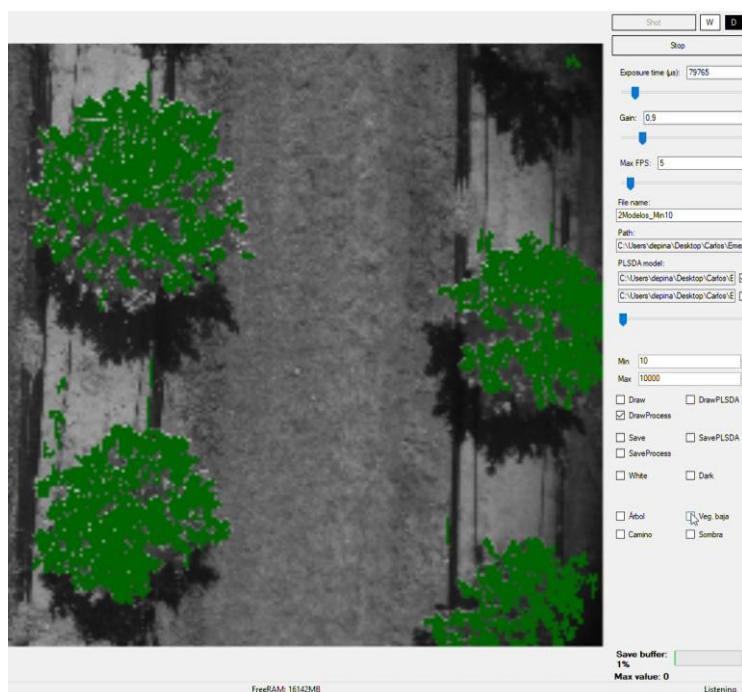
Los trabajos en la finca Sinyent fueron dirigidos a contrastar los resultados obtenidos en las parcelas de Tales.



Se empleó la unidad CERES embarcada en un vehículo terrestre y en un vehículo aéreo equipado con cámara hiperespectral y capacidad de procesado en tiempo real.



Los resultados obtenidos en los trabajos desarrollados en la finca Sinyent permitieron validar la tecnología desarrollada con diferentes cultivos y también mostrar la tecnología directamente a las empresas interesadas.





## 4 Impactos de difusión

En esta sección, se proporcionan otras fuentes donde ampliar información, resultado de las acciones de comunicación, difusión y promoción de los trabajos realizados en el proyecto CERES.

### 4.1 Notas de prensa

[Aprobados los 9 proyectos FEDER presentados a la convocatoria de IVACE](#)

[AINIA desarrollará una nueva tecnología para mejorar el control de plagas en tiempo real](#)

[AINIA desarrolla un dispositivo para el diagnóstico de cultivos en tiempo real basado en tecnologías fotónicas e inteligencia artificial](#)

### 4.2 Eventos

- [Automatización y Control Inteligente. Showroom Digital de Tecnologías Innovadoras \(27 abril de 2021\)](#)
- [Tecnologías para el diagnóstico de cultivos en tiempo real. Jornada demostrativa \(1 Julio de 2021\)](#)
- [Secpho webinar: Deep Tech for Smart Agriculture | Edgar Llop \(AINIA\) \(26 mayo de 2020\)](#)
- [Secpho webinar: Who is Who. Edición especial Drones | Edgar Llop \(AINIA\) \(19 junio de 2020\)](#)
- [chiiOnline community – Spectral Imaging services & applications | Edgar Llop \(18 noviembre de 2020\)](#)
- [Smart Agrifood Industry | «Applications of mobile robotics and high resolution remote sensing» \(25 mayo de 2021\)](#)

### 4.3 Artículos técnicos

- [Agricultura de precisión, tecnologías clave para conseguir una agricultura más sostenible](#)
- [Diagnóstico de cultivos en tiempo real. Fotónica e Inteligencia Artificial](#)