

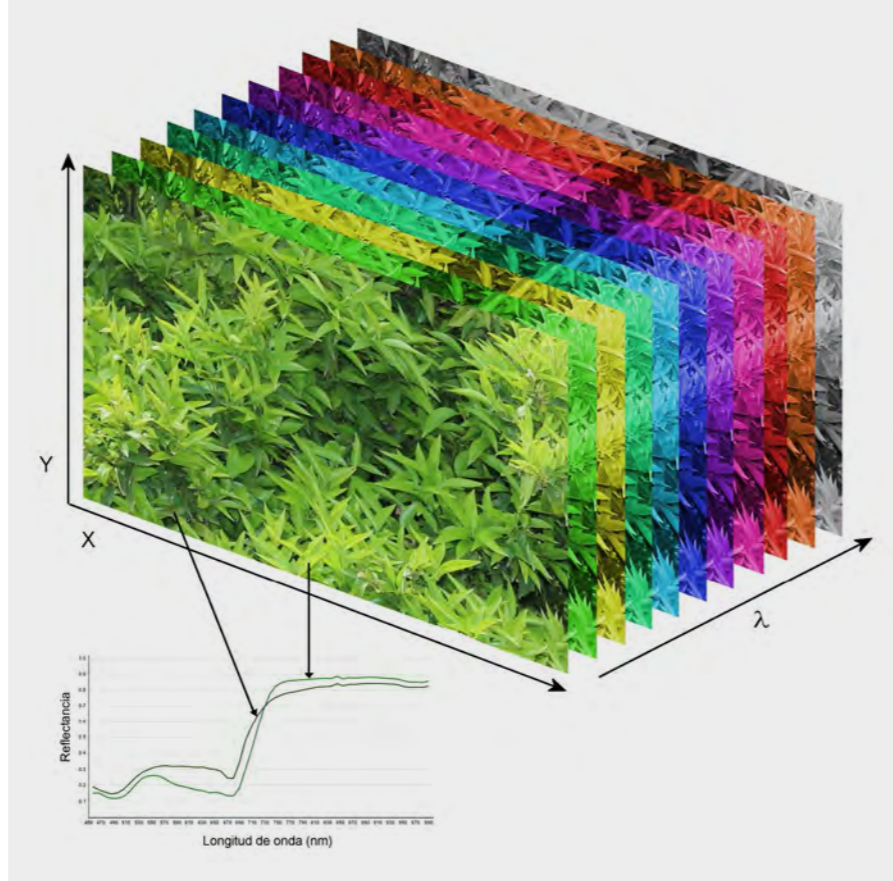
# DIGITALIZACIÓN

## Inteligencia artificial y robots al servicio del campo valenciano

### ROBOTS EN EL CAMPO

Cuando imaginamos un robot agrícola no sabemos bien cómo imaginarlo. En la industria, existen robots que automatizan acciones de forma rápida, idéntica y constante, siguiendo trayectorias programadas y señalizadas. Es relativamente sencillo programar las tareas en un entorno tan controlado y la probabilidad de que surjan imprevistos es relativamente baja. En cambio, el campo es un entorno complejo e imprevisible donde no existen referencias, los objetos están en cualquier sitio y además se mueven, la iluminación cambia y el terreno es irregular. Por ello, los robots agrícolas se diseñan específicamente dependiendo del cultivo, el entorno y la tarea que vaya a realizar.

Existen robots con capacidad de navegación autónoma, capaces de moverse sin supervisión humana. Se programan con un plan de navegación y emplean sistemas de geoposicionamiento global (GPS) para realizarlo. Además, disponen de sensores para reconocer el entorno, detectar el camino y evitar obstáculos. En general, se diseñan



y programan para moverse por cultivos determinados, relativamente grandes y estructurados, como extensivos, hortícolas o viñedo. Como alternativa, otros se pilotan por control remoto y no necesitan sensores ni algoritmos de navegación, lo que reduce su coste y complejidad. Se adaptan con mayor facilidad a cualquier cultivo y pueden realizar maniobras más complejas, lo que los hace más versátiles. Por el contrario, necesitan la intervención de un operario que los maneje.

Se puede distinguir entre los que recopilan información del cultivo y aquellos diseñados para automatizar tareas agrícolas. Los primeros recorren el campo recogiendo información del cultivo a través de unos sensores específicos. Los datos recogidos se procesan y se convierten en información útil para que el agricultor tome decisiones informadas de la forma más temprana posible. Entre otras cosas, permiten detectar plagas o enfermedades en los primeros momentos de infección, detectar deficiencias hídricas o nutricionales de plantas individuales, determinar el estado de la cosecha o predecir el aforo con anticipación para planificar la campaña. Esta información se presen-

ta al agricultor en forma de mapas que muestran gráficamente cómo es su cultivo y la variabilidad dentro de la parcela, y así actuar de forma rápida y eficaz.

Otros robots están diseñados para ejecutar acciones específicas de forma automática y autónoma, como recolectar, escardar, pulverizar, etc. Utilizan la información que recogen los sensores para observar el entorno, tomar decisiones y alcanzar objetivos, como frutas que recolectar, hierbas que eliminar o plantas que tratar. Además, su inteligencia les permite tomar decisiones como, por ejemplo, determinar si la fruta está madura y lista para recolectar o establecer la cantidad de tratamiento fitosanitario en función del volumen y área foliar de la planta. Algo que ambos tipos tienen en común son los sensores. Los robots necesitan percibir el entorno y para ello disponen de sensores de visión artificial, de captación de sonidos y ultrasonidos o, incluso, de tacto.

Imagen superior. Esquema de imagen hiperespectral de cítricos que muestra diferentes bandas y el espectro obtenido para dos tipos diferentes de hojas.



### SENSORES QUE PROPORCIONAN INFORMACIÓN EN 2D

#### CÁMARAS DE COLOR

Perciben las escenas y forman imágenes combinando los tres colores primarios (rojo, verde y azul), imitando el ojo humano. El procesamiento de estas imágenes permite diferenciar objetos por forma o color.

#### CÁMARAS MULTIESPECTRALES E HIPERESPECTRALES

Obtienen imágenes en rangos espectrales o longitudes de onda específicas, incluso fuera de la parte visible del espectro electromagnético, que se pueden asociar a compuestos bioquímicos de las plantas.

#### CÁMARAS TÉRMICAS

Proporcionan imágenes infrarrojas en las que cada píxel representa un valor de la temperatura del objeto, lo que resulta útil para detectar situaciones de estrés en las plantas.

### SENSORES QUE PROPORCIONAN INFORMACIÓN EN 3D

#### CÁMARAS ESTEREOSCÓPICAS

Obtienen la distancia a un objeto comparando su posición relativa en dos imágenes capturadas simultáneamente con una cierta distancia.

#### CÁMARAS DE TIEMPO DE VUELO

Emiten matrices de pulsos de luz infrarroja que rebotan en los objetos y vuelven a la cámara. El tiempo que transcurre entre que se emite y recibe cada uno de los pulsos determina la distancia entre la cámara y el punto donde ha rebotado, obteniendo así un perfil en 3D de la escena observada.

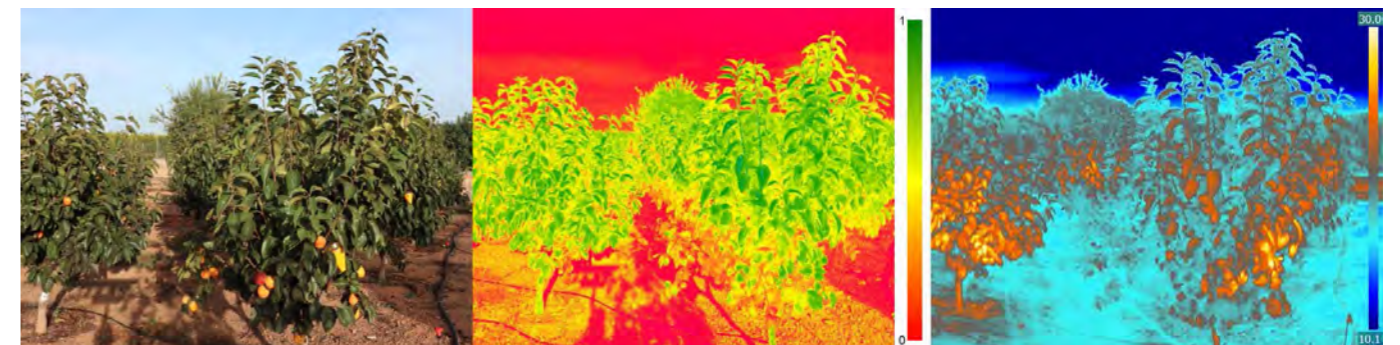
#### ESCÁNERES LÁSER O LIDAR

Obtienen reconstrucciones en 3D muy precisas emitiendo pulsos de un haz láser y calculando el tiempo de retorno de la señal reflejada. El sensor emite un barrido vertical de pulsos y se va obteniendo el perfil 3D de la escena observada conforme el robot avanza. Los equipos más recientes emiten varios haces en ángulos diferentes para aumentar la precisión.

#### SENSORES DE SONIDOS Y ULTRASONIDOS

Emiten un sonido que se refleja en un objeto. El sensor recibe el eco producido y mide el tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción. Son especialmente útiles para detectar obstáculos o masas foliares.

Imágenes de dos caquis obtenidas con diferentes cámaras. De izquierda a derecha, con cámara de color, de índice NDVI y térmica.





## INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y TOMA DE DECISIONES

Ya hay robots capaces de optimizar los tratamientos frente a las plagas; de elegir el momento óptimo de la recolección de acuerdo con la maduración, el precio o el tiempo, y de determinar un abonado personalizado para cada planta.

Uno de los patrimonios más preciados de nuestra agricultura es la experiencia y los conocimientos adquiridos a lo largo de los años por los agricultores. Los robots no disponen de esa experiencia, pero tienen a su alcance varios tipos de herramientas para tomar decisiones, como una elevada velocidad de cálculo para actuar en tiempo real y la posibilidad de percibir cosas que las personas no podemos, como oír ultrasonidos o ver en zonas del espectro invisibles al ojo humano, como la ultravioleta o la infrarroja. Incluso son capaces de «ver» temperatura.

Las imágenes y datos capturados por los sensores se procesan con algoritmos que buscan características concretas. Una alternativa son los algoritmos de inteligencia artificial (IA). La gran ventaja de la IA aplicada a la agricultura es que se alimenta con datos recogidos *in situ* en el campo, pero también con datos provenientes de otras fuentes y de experiencias pasadas para resolver un determinado problema, hacer predicciones y actuar

en consecuencia. Los sistemas basados en IA aprenden de los datos que procesan para predecir comportamientos, detectar anomalías y tomar decisiones óptimas. Estos algoritmos pueden identificar patrones complejos entre grandes cantidades de datos, infiriendo sus propias reglas para detectar patrones similares en nuevos conjuntos de datos. Actualmente, se está poniendo mucho esfuerzo, a nivel mundial, en la investigación y el desarrollo de sistemas IA específicos para resolver problemas agrícolas. Algunos ejemplos del potencial avanzado de estos algoritmos, en los que ya se trabaja, son la creación de robots capaces de (i) optimizar tratamientos en función de las características de la planta o de la probabilidad de incidencia de plaga, (ii) decidir recolectar cada fruto en función de su madurez comercial, pero también de la predicción del tiempo o del precio que puede alcanzar en el mercado o (iii) realizar un diagnóstico nutricional de cada árbol de forma que se abone según las necesidades de cada planta.



Imagen superior. Imagen de color separada en sus bandas verde y azul para segmentar la vegetación (hojas) del resto de la imagen mediante el histograma.

Fig. 1. Reconstrucción 3D de un cultivo de caqui.

## ENLACES WEB

Fig. 2. Robot para la monitorización de cultivos hortícolas desarrollado en el Centro de Agroingeniería (IVIA). La imagen muestra la primera versión del robot.

Fig. 3. Robot para la monitorización de cultivos leñosos desarrollado en el Centro de Agroingeniería (IVIA).



## TRANSMISIÓN DE LA INFORMACIÓN

Los robots se deben comunicar para transmitir datos o informar de situaciones anómalas. Las transmisiones de los robots en campo pueden ser mediante redes inalámbricas wifi, redes de baja potencia y área amplia LPWAN o sistemas de comunicaciones 4G/5G. Cada una tiene sus características y limitaciones, pero existen áreas agrícolas sin cobertura y no siempre pueden comunicarse y transmitir datos, por lo que están equipados con sistemas de almacenamiento de datos. En esos casos, al finalizar una misión, los datos recopilados se pueden enviar por wifi a un servidor que centraliza los datos y los procesa para extraer la información útil y ponerla a disposición del agricultor mediante informes interactivos, recomendaciones o mapas donde se representa visualmente el estado de su cultivo. Una vez analizada, la información se puede facilitar al usuario a través de internet de forma que la pueda consultar en su ordenador, tableta o teléfono móvil.

El futuro de las tecnologías de comunicación de alta velocidad, como las basadas en redes 5G, ayudará a que ciertas labores se realicen en tiempo real, procesando gran cantidad de datos obtenidos por los sensores en potentes servidores remotos localizados en la nube y recibiendo la información necesaria para la actuación.

## ROBOTS EN LA AGRICULTURA VALENCIANA

Nuestros competidores están adoptando rápidamente estas tecnologías en su producción agrícola. Los principales fabricantes mundiales de robots agrícolas son extranjeros, principalmente de Japón, Estados Unidos, Australia, Francia, Alemania y Holanda, por lo que muchos robots comerciales están diseñados para las condiciones y necesidades de los cultivos de estos países. Sin embargo, nuestras explotaciones y condiciones de cultivo son muy diferentes. Uno de los mayores problemas a la hora de introducir tecnología robotizada en la Comunitat Valenciana deriva de las características de nuestras parcelas, generalmente de muy pequeño tamaño y con marcos de plantación estrechos que complían el uso de maquinaria.

Por eso, necesitamos soluciones adaptadas a nuestras condiciones de cultivo, creando tecnología local. El Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) ha apostado por estas tecnologías, liderando varios proyectos relacionados con la robótica y la transición digital y ecológica, como «Robot eléctrico autónomo inteligente para una agricultura digital y sostenible en la Comunitat Valenciana (AgriSmartRobot)» y «Tecnología inteligente para una agricultura digital, sostenible y precisa en la Comunitat Valenciana (AgrIntel·ligència-CV)». Ya se han desarrollado dos robots agrícolas eléctricos y de pequeño tamaño; uno para monitorizar

cultivos hortícolas (Figura 2) y otro para cultivos leñosos (Figura 3). Y se está desarrollando un tercer robot autónomo. Estos robots se alimentan con baterías y disponen de todos los sensores necesarios. Inicialmente, se desarrollaron para la detección temprana de plagas y enfermedades. En la actualidad, su uso se está extendiendo hacia el análisis de suelos, la predicción del aforo (cítricos) o el diagnóstico nutricional en cultivos como cítricos, caqui o aguacate. Además, se está trabajando en el desarrollo de un nuevo robot para recopilar datos de los cultivos con navegación autónoma, de tecnología valenciana y adaptado a nuestras condiciones de cultivo.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es parte de los proyectos «Smart autonomous electrical robot for a digital and sustainable agriculture in the Valencian Community (AgriSmartRobot)», cofinanciado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 (ED2021-130117B-C31) y por UE NextGenerationEU/PRTR, y «Tecnología inteligente para una agricultura digital, sostenible y precisa en la Comunitat Valenciana (AgrIntel·ligència-CV)», cofinanciado por la Generalitat Valenciana-IVIA (52204) y FEDER de la Comunitat Valenciana 2014-2020.

### >Autores del artículo:

Jose Blasco, Enrique Aguilar, Carlos Ruiz-Catalá y Sergio Cubero  
Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), Centro de Agroingeniería.  
blasco\_josiva@gva.es