

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y MICROCOMPUTADORES, *aliados para el control de plagas*

El proyecto AdapGreenAI desarrollará un sistema para el control de plagas basado en inteligencia artificial y microcomputadoras cuya tecnología promoverá la reducción del uso de plaguicidas y la conservación de la biodiversidad. En colaboración con agricultores y técnicos, identificará barreras y oportunidades para implementar una red regional de alerta temprana con esta tecnología.

JUAN MIGUEL REQUENA MULLOR¹, ESTEFANÍA RODRÍGUEZ NAVARRO²

¹ Departamento de Biología y Geología, Universidad de Almería,

² Departamento de Protección Vegetal Sostenible. Centro la Mojonería.

Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA)

El desarrollo de sistemas de producción agrícola sostenibles es un reto prioritario para la Unión Europea como estrategia de adaptación al cambio climático. Uno de los objetivos clave de esta estrategia es reducir en un 50% el uso de plaguicidas para 2030. La gestión integrada de plagas representa una herramienta fundamental para conseguir dicho objetivo, ya que reduce la dependencia de los plaguicidas y promueve estrategias de manejo adaptativas y respetuosas con el medio ambiente. La gestión integrada fomenta sistemas de producción equilibrados en la horticultura bajo abrigo al preservar insectos beneficiosos que regulan naturalmente las poblaciones de plagas. De esta forma, no solo se potencia la salud y la resiliencia del entorno, sino que se promueve la conservación de la biodiversidad tanto dentro como fuera del invernadero. Dentro de la gestión integrada de plagas, la inteligencia artificial (IA) desempeña un papel fundamental en lo que se conoce como "agricultura de precisión" (Rustia *et al.* 2022).

¿SABÍAS QUÉ?

La agricultura de precisión utiliza tecnología avanzada, como sensores, sistemas de monitoreo y análisis de datos, para detectar y gestionar las plagas de manera específica y localizada.

La agricultura de precisión ayuda a reducir el uso de plaguicidas, a la vez que también promueve prácticas más sostenibles y eficientes en la producción agrícola. La IA permite a las computadoras realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, como aprender de la experiencia, tomar decisiones y reconocer patrones. De esta forma, la aplicación de la IA en el control de plagas resulta especialmente ventajosa, ya que facilita el seguimiento de las infestaciones mediante el análisis de datos en tiempo real, la detección temprana de problemas y la toma de decisiones informadas. La automatización de la detección de plagas permite implementar intervenciones oportunas y

precisas, previniendo brotes de plagas y disminuyendo así la dependencia de los plaguicidas.

Detección temprana de plagas con AdapGreenAI: un enfoque basado en IA

La detección automatizada de plagas utiliza sensores ópticos que capturan regularmente imágenes de insectos atrapados en trampas cromáticas. Estas imágenes son procesadas posteriormente mediante métodos de IA para identificar y contar el número de individuos. Generalmente, se requiere una gran capacidad de computación para diferenciar entre la amplia variedad de insectos que suelen detectarse en entornos de invernadero, de modo que solo se contabilicen aquellos que representan un riesgo para el cultivo (Rustia *et al.* 2021). Para acceder a la potencia de procesamiento necesaria, las imágenes se analizan en la nube, donde se utilizan avanzadas librerías de aprendizaje profundo. Sin embargo, esta dependencia de la nube requiere una conexión de datos estable y confiable, lo cual no siem-

pre es posible en entornos agrícolas remotos o con infraestructura de comunicación limitada. Así, la falta de una conexión a Internet constante y robusta dificulta el procesamiento de imágenes en tiempo real y la toma de decisiones rápidas y precisas, lo que afecta la efectividad en el control integrado de plagas. Además, obstaculiza la implementación a gran escala de esta tecnología como base para desarrollar redes de detección temprana que consideren los patrones de comportamiento de las plagas a escalas más amplias.

Para abordar estos desafíos, el proyecto AdapGreenAI ha sido recientemente financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades a través de la convocatoria de Proyectos de Generación de Conocimiento 2023, impulsada por la Agencia Estatal de Investigación. Su principal objetivo es desarrollar soluciones basadas en algoritmos de IA que detecten y contabilicen plagas de manera temprana y eficiente en entornos de invernadero. El proyecto utilizará microcomputadoras equipadas con sensores ópticos para capturar imágenes que serán procesadas localmente, sin depender de Internet. De forma complementaria a la parte tecnológica, AdapGreenAI trabajará con agricultores, técnicos y tomadores de decisiones para identificar oportunidades y barreras para la implementación de esta tecnología a gran escala. El proyecto adoptará una perspectiva transdisciplinaria para evaluar la disposición de estos actores clave a colaborar en la detección temprana de plagas mediante IA a gran escala y a largo plazo en entornos de invernadero (**Figura 1**).

La llanura costera semiárida del sureste de España, en la provincia de Almería, alberga la mayor concentración de invernaderos del mundo, con 32.827 hectáreas dedicadas a la horticultura bajo abrigo. A medida que el Cambio Global favorece la aparición y proliferación de nuevas plagas exóticas en el sistema productivo de Almería, la dinámica evolutiva de estas poblaciones exige la adopción de nuevas herramientas para su gestión

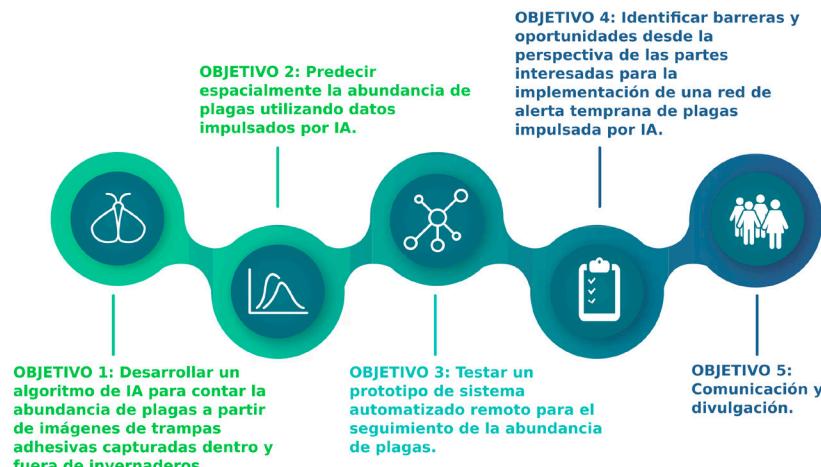


FIGURA 1
Objetivos del proyecto AdapGreenAI financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades

integrada. A pesar de que los métodos impulsados por IA pueden abordar los desafíos que enfrenta la horticultura de Almería, estos son desconocidos para los aproximadamente 15.000 agricultores familiares que desarrollan su actividad en esta región.

¿Cómo abordará AdapGreenAI el reto de reducir la demanda computacional en el conteo de plagas?

El algoritmo propuesto por AdapGreenAI evita la extracción de características complejas asociadas con el contorno y la forma de los insectos plaga, confiando únicamente en su color, tamaño y contraste con el color uniforme de la trampa. Mantener el algoritmo lo más simple posible equilibrará la precisión y el costo computacional, permitiendo el procesamiento de las imágenes sin depender de bibliotecas de aprendizaje profundo en la nube. El algoritmo ha sido testado previamente con mosca blanca (*Bemisia tabaci*, (Gennadius 1889)) sobre hoja de tomate con una tasa de éxito de conteo del 93% (**Figura 2**) (Requena-Mullor 2023). El proyecto se centrará en el conteo de machos de *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917), una plaga exótica devastadora del tomate originaria de América del

Sur. Los individuos serán capturados mediante trampas negras adhesivas impregnadas de feromonas atrayentes. Este enfoque simplificará el desarrollo y mantenimiento del algoritmo al eliminar la necesidad de diferenciar entre otras especies. De este modo, se reduce la complejidad, se asegura la consistencia en las características, y se minimiza la variabilidad, optimizando tanto el entrenamiento como la implementación práctica del algoritmo. Si bien este enfoque tiene ventajas, podría requerir un entrenamiento adicional en áreas donde coexisten múltiples especies. Sin embargo, comenzar con un enfoque simplificado establece una base sólida para mejorar progresivamente las capacidades del algoritmo.

Una vez que el algoritmo de conteo esté optimizado, se implementará un prototipo de red para la detección temprana de *Tuta absoluta* basado en sensores ópticos controlados por microcomputadoras. La Raspberry Pi, una microcomputadora del tamaño de una tarjeta de crédito (**Figura 3**), posee una gran versatilidad, bajo costo y capacidad de procesamiento (Raspberry Pi Foundation, Inc.). Este dispositivo puede ejecutar algoritmos sencillos de IA y procesar datos en tiempo real. Su tamaño compacto facilita la integración en entornos de

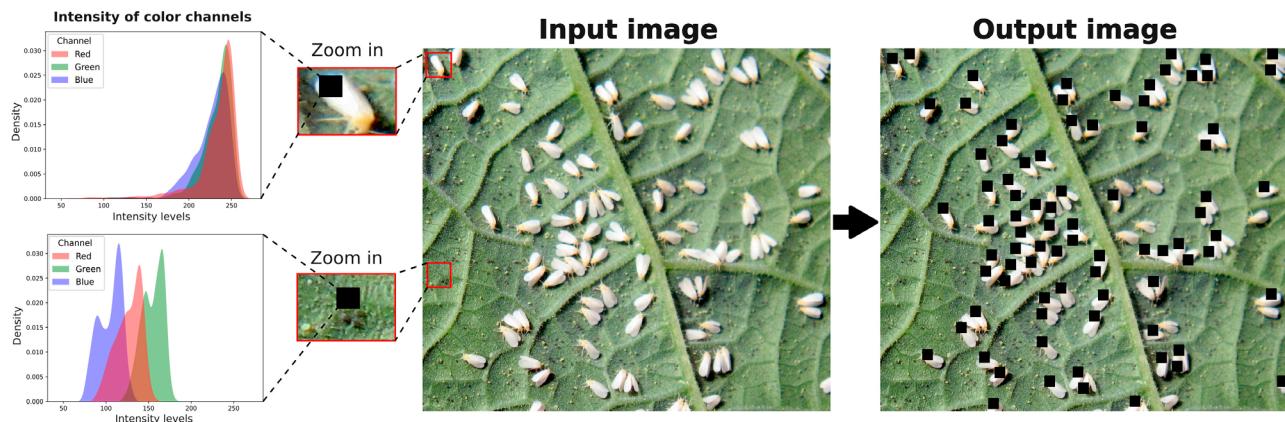
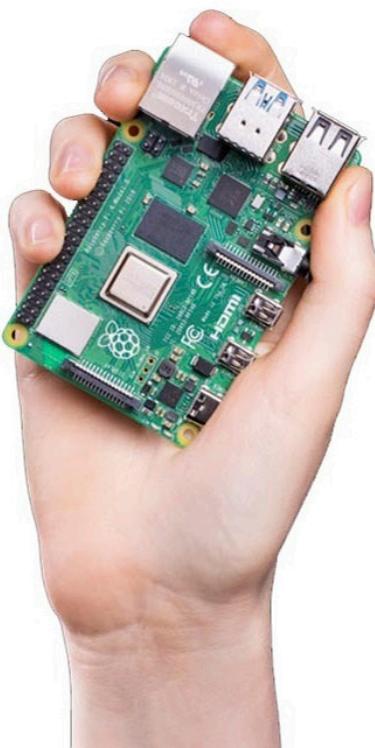
**FIGURA 2**

Ilustración del algoritmo de conteo utilizando una imagen de baja resolución que muestra moscas blancas (*Bemisia tabaci*) sobre una hoja de tomate. Se puede observar la no superposición entre las densidades de color RGB del ala de la mosca (en la parte superior izquierda) y las de la superficie de la hoja (en la parte inferior izquierda). Las moscas blancas que han sido contadas con éxito están marcadas con un cuadrado negro para ilustrar el resultado (a la derecha).

invernadero, donde el espacio suele ser limitado. Además, su arquitectura abierta y la amplia comunidad de desarrolladores permiten acceder a recursos y herramientas que facilitan la personalización y mejora del sistema según las necesidades específicas del cultivo. La Raspberry Pi no solo disminuye la dependencia de la conectividad a Internet, sino que también posibilita una respuesta rápida y autónoma ante infestaciones. Una vez la imagen es procesada y el algoritmo ha contabilizado la abundancia de *Tuta absoluta*, el dato será enviado a través de la red Sigfox. Sigfox es una infraestructura de red global de bajo consumo energético diseñada específicamente para conectar un gran número de dispositivos mediante señales de radio. El módulo Tinyfox, conectado a la Raspberry Pi, permite la transmisión periódica de pequeñas cantidades de datos con un consumo energético mínimo. Este módulo incluye un transceptor de radio, una interfaz de antena y todos los componentes necesarios para codificar, transmitir y recibir datos a través de la red Sigfox. Esta tecnología es especialmente adecuada para aplicaciones donde la eficiencia energética, la independencia de Internet y la comunicación de largo alcance son esenciales, como en la agricultura de precisión.

**FIGURA 3**

Raspberry Pi sostenida en una mano ejemplificando su portabilidad y versatilidad como dispositivo de computación. Este microordenador de bajo costo es ideal para proyectos de monitorización y automatización, y su tamaño compacto permite integrarlo fácilmente en diversos entornos, como invernaderos, para aplicaciones de inteligencia artificial y recolección de datos.

Mapas de abundancia para el control de plagas

Los datos de abundancia de *Tuta absoluta* obtenidos a partir de microcomputadoras Raspberry Pi instaladas en diferentes invernaderos se utilizarán para crear mapas predictivos de su distribución, tanto dentro como fuera de los invernaderos (**Figura 4**). Para ello, se emplearán sofisticados modelos matemáticos que permitirán obtener estimas de abundancia “sin huecos” espaciales, lo que garantizará una representación continua y precisa de la presencia de la plaga, así como de su incertidumbre. Estos mapas predictivos no solo serán herramientas valiosas para visualizar la distribución de *Tuta absoluta*, sino que también podrán ser utilizados para diseñar estrategias integradas de control temprano de brotes de plagas. Este enfoque innovador permitiría abordar la gestión de plagas a una escala espacial que no se había explorado previamente, facilitando intervenciones más eficaces y oportunas en la gestión de plagas.

Enfoque colaborativo para el control efectivo de plagas

AdapGreenAI buscará también involucrar a las partes interesadas y evaluar de manera sistemática los diversos desafíos y oportunidades

asociados con su colaboración para desarrollar una red de alerta temprana de plagas en el sistema productivo de Almería. Este enfoque colaborativo asegurará que la red esté diseñada para satisfacer las necesidades y preocupaciones específicas de quienes participen en ella, incluyendo a agricultores, técnicos y tomadores de decisiones locales. Comprender las preocupaciones de los interesados sobre la viabilidad tecnológica, la rentabilidad, el cumplimiento regulatorio, la privacidad de los datos, la facilidad de uso y el impacto social es crucial para una implementación exitosa de la red. Para ello, se llevará a cabo un muestreo social a través de encuestas, entrevistas, talleres y sesiones demostrativas.

Esta visión transformadora facilitará la integración fluida entre avance tecnológico y participación activa. La identificación de tales barreras y oportunidades es fundamental para elaborar estrategias y soluciones que no solo aborden los aspectos tecnológicos, sino que también consideren las limitaciones del mundo real a las que se enfrentan las partes interesadas. Al analizar y abordar estos desafíos, AdapGreenAI buscará involucrar a los diferentes agentes del sector en la detección temprana de plagas a gran escala, facilitando la transición digital en la agricultura bajo abrigo en el principal sistema productor de hortícolas de Europa. Con un presupuesto de algo más de 110.000 euros, el proyecto contará con la coordinación de la Universidad de Almería, y la participación del Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA La Mojónera), de investigadoras de la Universidad NOVA de Lisboa, así como de la colaboración de varias empresas privadas del sector. A lo largo de los próximos cuatro años, se buscará fomentar la colaboración en la adopción de tecnologías basadas en IA para apoyar las prácticas de gestión integrada de plagas que redunden en una horticultura bajo abrigo más sostenible.

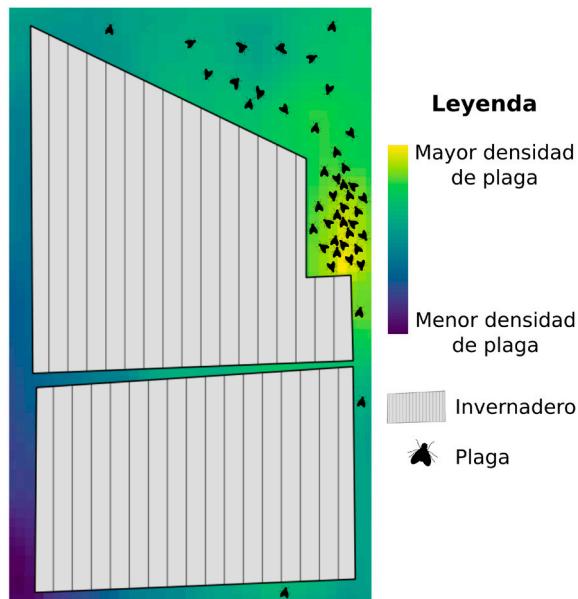


FIGURA 4

Mapa predictivo de la abundancia de plagas. Este mapa ofrece una visualización de las variaciones en la densidad de las plagas, donde los tonos más claros indican una mayor abundancia. Esta información es fundamental para la planificación de estrategias de gestión integrada de plagas a gran escala, ya que permite identificar áreas críticas que requieren atención. La tecnología desarrollada por AdapGreenAI permitirá generar mapas predictivos a la escala espacial deseada utilizando la información extraída de la red de detección temprana.

Conclusiones

En línea con los objetivos de adaptación al cambio climático, AdapGreenAI desarrollará un algoritmo de conteo de plagas como base para la implementación de una red de alerta temprana de plagas escalable impulsada por IA. Este proyecto está alineado con el Pacto Verde Europeo y con la Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación, ya que integra avances tecnológicos y prácticas basadas en datos, así como principios de agricultura de precisión. Además, se enfocará en promover la eficiencia a través de la automatización, la escalabilidad y la colaboración entre actores clave del sector, elementos esenciales para la transformación digital en marcha.

Agradecimientos

AdapGreenAI está financiado por el proyecto PID2023-148677OA-I00 (Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. Proyectos de Generación de Conocimiento del Programa Estatal para Impulsar la Investigación Científico-Técnica y su Transferen-

cia, en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación 2021-2023). Actualmente, el coordinador del proyecto está financiado por el programa de captación de talento internacional “María Zambrano” del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades con fondos europeos Next Generation.

Bibliografía

- Raspberry Pi Foundation, Inc., Cambridge, United Kingdom.*
- Requena-Mullor 2023. Counting Whiteflies: A simple algorithm to count *Bemisia tabaci* using a digital image. Doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8172483>.*
- Rustia et al. 2021. Automatic greenhouse insect pest detection and recognition based on a cascaded deep-learning classification method. Journal of Applied Entomology 145: 206–222.*
- Rustia et al. 2022. Towards intelligent and integrated pest management through an AIoT-based monitoring system. Pest Management Science 78, 4288–4302.*