

RHEA: un proyecto europeo para el desarrollo de robots aplicados a la protección vegetal

Cesar Fernández-Quintanilla y José Dorado (Instituto de Ciencias Agrarias, CSIC)
Ángela Ribeiro y Pablo González de Santos (Centro de Automática y Robótica, CSIC)

Los vehículos autónomos ya no son un sueño de los ingenieros. Desde hace años, numerosas fuerzas armadas disponen de vehículos aéreos autónomos para llevar a cabo tareas de inspección así como de pequeños robots para la desactivación de explosivos. En el ámbito de la minería, varias empresas del sector han desarrollado camiones autónomos destinados a ser utilizados en minas a cielo abierto. En la actualidad, la empresa RioTinto Mining dispone de dos flotas de estos vehículos en las explotaciones que esta empresa posee en Chile y en Australia. En el ámbito del transporte de mercancías, Volvo está desarrollando un camión sin conductor y pronostica que en el año 2020 estos vehículos podrán estar circulando por las autopistas. La industria automovilista está también en esta línea. Recientemente, el estado de Nevada autorizó la circulación de vehículos autónomos por las carreteras y autopistas de ese estado. Dicha autorización viene precedida de un importante trabajo de desarrollo por parte de los ingenieros de Google y de varios cientos de miles de kilómetros de pruebas por las carreteras de California. En nuestro país, en el pasado mes de junio un vehículo desarrollado por el CSIC logró completar un recorrido de aproximadamente 100 kilómetros entre las localidades madrileñas de San Lorenzo de El Escorial y Arganda del Rey sin necesidad de ser manejado por un conductor (Figura 1).

Todos esos avances inciden claramente en el sector agrario. Si un vehículo sin conductor puede circular por las carreteras no debería existir ningún impedimento para que también lo haga en los campos de cultivo.

La robótica llega a la agricultura

En la actualidad, dentro del sector de la maquinaria agrícola ya se están utilizando sistemas intermedios entre vehículos manuales y autónomos. El objetivo, por el momento, es asistir al agricultor en la conducción del tractor (p.ej. el sistema de autoguiado AutoTrac, de John Deere) o en la configuración de la cosechadora para optimizar su capacidad (p. ej. los sistemas Opti-Clean, Grain Cam e Intellicruise, de New Holland). De ahí al empleo de vehículos totalmente autónomos solo hay un paso.

Hasta la fecha, la tendencia en el empleo de maquinaria agrícola ha ido en la dirección de equipos cada vez mayores. Las economías de escala conseguidas por estos grandes equipos, manejados por un operador, dejan de ser válidas



Figura 1. Recorrido de ensayo del automóvil sin conductor desarrollado por el CSIC (Cortesía del Grupo AUTOPIA del Centro de Automática y Robótica, CSIC).

con el uso de vehículos autónomos de menor tamaño. Así por ejemplo, una flota de 3 tractores autónomos de 30 CV podría hacer el mismo trabajo que un tractor de 236 CV. Si, para simplificar, consideramos que todos estos tractores van a ser empleados únicamente para realizar operaciones de siembra, podemos estimar que el coste de todas las operaciones realizadas con las tres unidades autónomas a lo largo de su vida útil sería de 38.000 € mientras que en el caso de emplear un solo tractor sería 148.000 €. Con la diferencia entre los dos sistemas (110.000 €) podríamos invertir en sistemas de control para los vehículos autónomos.

La necesidad de avanzar en la automatización de las operaciones agrícolas y forestales y de llevar a cabo dichas operaciones con una mayor precisión y seguridad nos llevó a plantear, hace tres años, el Proyecto RHEA.

El Proyecto RHEA

La Unión Europea es plenamente consciente del potencial de estas técnicas. Por ello, dentro de su Séptimo Programa Marco, en el año 2009 convocó una acción específica sobre "Automatización y Robótica para una Gestión Sustentable Agrícola y Forestal". En dicha convocatoria el CSIC lideró una propuesta (RHEA "Robot fleets for highly effective agriculture and forestry management") en la que participan importantes organismos y empresas de ocho países europeos y en la que se pretendía desarrollar una flota de vehículos autónomos de pequeño o mediano tamaño con diversas aplicaciones agrícolas y forestales. El proyecto fue financiado por la Unión Europea por un periodo de cuatro años con un presupuesto total de 8.827.423 €.

Los trabajos del proyecto se han centrado en torno a tres tipos de situaciones agronómicas: a) la aplicación de herbicidas en cultivos de trigo, b) el control físico (mecánico y térmico) de malas hierbas en cultivos de maíz y c) la fumigación de los olivares superintensivos con insecticidas y fungicidas. En la actualidad ya se han establecido los procedimientos y las pautas de las operaciones requeridas y se han diseñado y construido la mayor parte de los equipos encargados de llevar a cabo dichas operaciones. Se espera que en un breve plazo se podrán iniciar los primeros experimentos de evaluación en campo de estos sistemas.

Dada la diversidad y complejidad de los trabajos que se están llevando a cabo dentro de RHEA no es posible resumirlos dentro de estas breves páginas. Por ello, vamos a centrarnos únicamente en los aspectos relativos al control

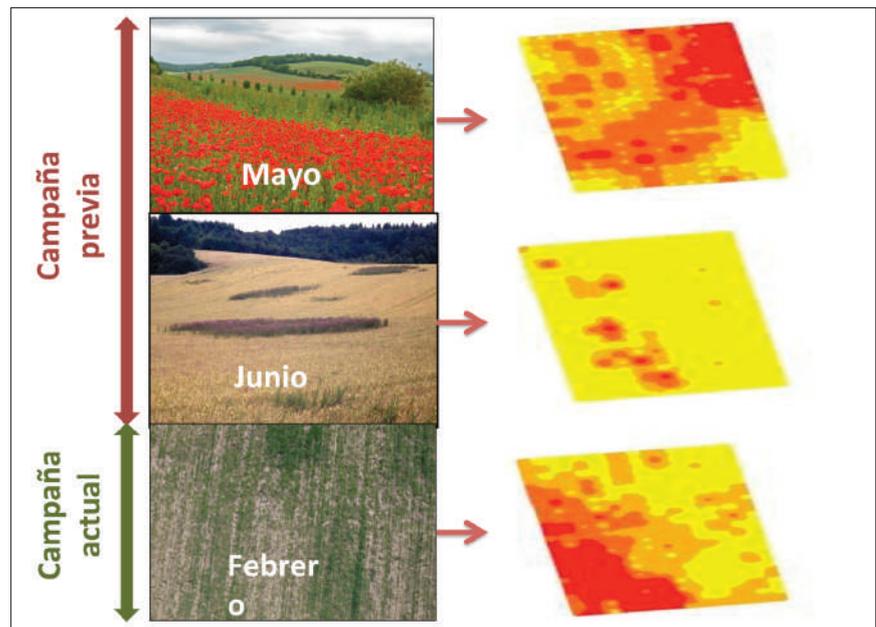


Figura 2. Inspección de las parcelas en diferentes épocas del año y construcción de mapas de distribución de malas hierbas que posteriormente se almacenan en una base de datos SIG.

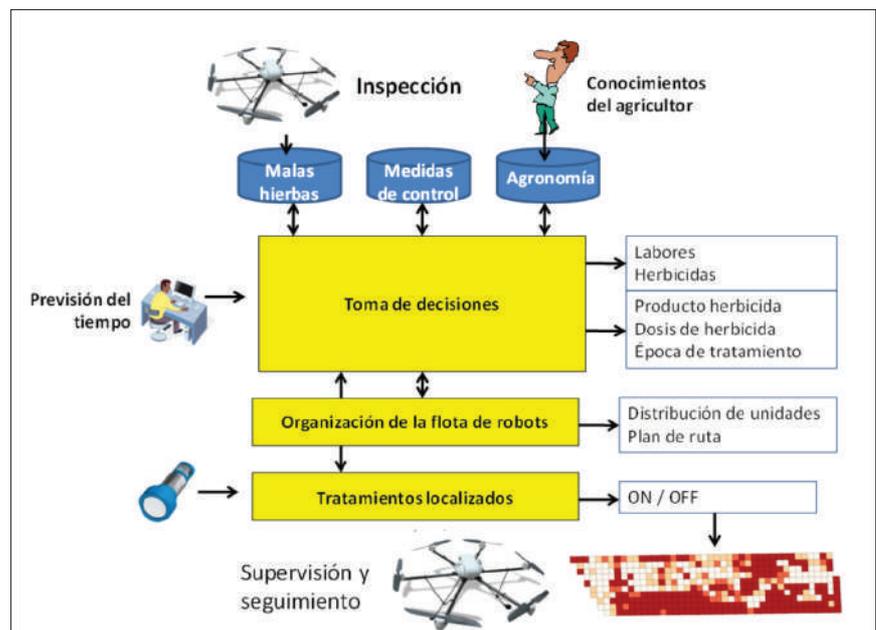


Figura 3. Esquema del sistema de toma de decisiones utilizado para la aplicación de herbicidas.

de malas hierbas, describiendo de una forma somera los principales procedimientos a seguir, las especificaciones de los equipos utilizados y la posible utilización comercial de dichos sistemas.

De acuerdo con la filosofía del proyecto, la planificación de los tratamientos herbicidas en cultivos de cereales se realiza siguiendo un proceso en cuatro etapas:

Inspección

En primer lugar, se hace necesaria una inspección previa de las parcelas a tratar. Para ello, en RHEA está previsto emplear unos vehículos aéreos autónomos que pueden sobrevolar a baja altura las zonas deseadas siguiendo una ruta planificada de antemano. Estos "robots

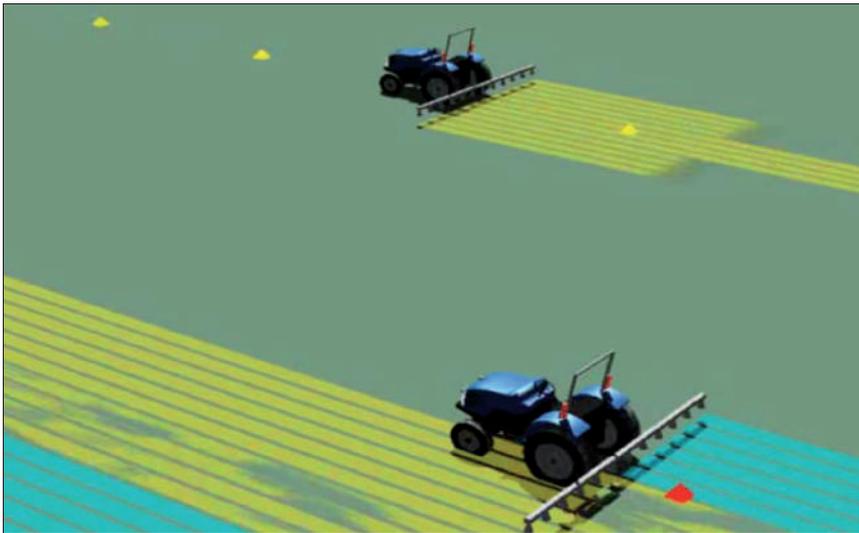


Figura 4. Simulación de la actuación de una flota de dos unidades terrestres aplicando diferentes herbicidas de forma localizada (Cortesía de Cyberbotics).



Figura 5. Vista del prototipo del robot aéreo AR-200 fabricado por AirRobot, Alemania, el día de su presentación oficial al consorcio RHEA.

aéreos" son los encargados de tomar imágenes de alta resolución sobre el estado del cultivo, su grado de infestación por malas hierbas y la localización de los principales rodales de estas. Estas imágenes deberán ser obtenidas en diferentes momentos del ciclo del cultivo con objeto de poder mostrar diferentes estados del desarrollo de las malas hierbas. Así, las imágenes tomadas en la primavera, cuando los colores rojos de la amapola o los amarillos de la mostaza destacan claramente del verde del cereal, pueden ser empleadas para delimitar las zonas en las que estas dos especies escaparon del control. En cambio, imágenes

tomadas poco antes del momento de la recolección nos permitirán delimitar los rodales de avena loca, de bromus o de alpiste, particularmente evidentes en ese momento (Figura 2). Todas esas imágenes pueden ser

combinadas utilizando Sistemas de Información Geográfica para construir un **mapa histórico** de la infestación en la parcela. En la campaña siguiente, poco antes de la realización del tratamiento herbicida, se llevará a cabo un último vuelo de inspección para definir la problemática de malas hierbas aparecida en esa campaña en particular

Toma de decisiones

La siguiente etapa es la toma de decisiones. Basándose en la información contenida en la base de datos anteriormente citada así como en la contenida en otras bases de datos y utilizando una serie de programas informáticos desarrollados específicamente a tal efecto se llegará, por un lado, a las recomendaciones sobre productos, dosis y momentos de aplicación. Por otro lado, se definirá un **mapa de prescripción** en el que se dan datos geoposicionados sobre las zonas de la parcela que deberían ser tratadas con diferentes productos (Figura 3). Dicho mapa tiene una utilidad triple: 1) permite estimar las cantidades de herbicidas necesarias para tratar la parcela y ajustar la compra de estos productos y la carga de la cuba del pulverizador en función de dichas necesidades; 2) permite planificar la distribución de las diferentes unidades de la flota dentro de la parcela y las trayectorias a realizar por cada unidad; 3) permite realizar tratamientos localizados, aplicando los herbicidas únicamente en aquellas zonas en las que existe un riesgo significativo de pérdidas de cosecha asociadas a la presencia de malas hierbas.

Actuación

Partiendo de una flota de vehículos terrestres con una serie de características (p.ej. número de vehículos, velocidad de movimiento, consumo de combustible, capacidad de carga de herbicida, anchura de la barra de pulverización, etc), de una parcela de unas determinadas dimensiones y de un mapa de prescripción de tratamientos herbicidas, el sistema se encargará de optimizar la localización de los distintos vehículos y de sus trayectorias por la parcela para asegurar un tratamiento completo de todos los rodales de malas hierbas presentes con el mínimo coste en términos de tiempo y de dinero. Esto se llevaría a cabo utilizando técnicas de simulación para conseguir una optimización multi-objetivo (Figura 4). La decisión final sobre la ejecución del tratamiento en un determinado lugar vendrá determinada por la información contenida en el mapa de prescripción, que deberá ser confirmada con la obtenida en tiempo real por los sensores de malas hierbas incorporados al equipo.

Supervisión y seguimiento

Con objeto de evaluar la eficacia de los tratamientos realizados, una o dos semanas después de dichos

Greenstim[®]



COSECHAS DE GRAN CALIDAD

- *MEJOR COMPORTAMIENTO FRENTE AL ESTRÉS HÍDRICO, SALINO O TÉRMICO*
- *MEJORA EL CUAJE*
- *REDUCE EL CRACKING*
- *MEJOR COLORACIÓN DEL FRUTO*
- *DISMINUYE EL MARCHITAMIENTO*

tratamientos se realizará una inspección terrestre utilizando esos mismos vehículos equipados con sensores específicos (p.ej. para medir la actividad fotosintética de las plantas tratadas). Los resultados de esta evaluación determinarán la necesidad de realizar algún tratamiento complementario. Asimismo, será posible realizar tareas de inspección en el momento de floración de las malas hierbas (utilizando robots aéreos) para evaluar las poblaciones residuales que han llegado a reproducirse y que contribuirán con nuevas semillas a la población del año siguiente.

Especificaciones de los equipos

Los vehículos aéreos utilizados en las tareas de inspección están siendo desarrollados por AirRobot, una empresa alemana líder en esta tecnología. El prototipo desarrollado (AR-200) es un vehículo de 7 kg (con 1,5 kg de carga útil) y 2,2 m de diámetro, equipado con 6 rotores y con una autonomía de vuelo de 30 minutos (Figura 5). Estos vehículos son unidades aéreas relativamente baratas, de bajo peso y que no necesitan autorización para volar. Este hecho simplifica las consideraciones legales para llevar a cabo misiones comerciales.

Los vehículos terrestres utilizan como plataforma base el tractor CNH Boomer T3050 CVT. Estos vehículos, fabricados por New Holland (CNH), tienen una longitud de 3,5 m, 1,86 m entre ejes, una potencia de 51 CV (ca 38 kW) y un peso de 1,5 toneladas (Figura 6). Las reducidas dimensiones de estos tractores, su alta fiabilidad y buen cumplimiento de todos los estándares exigidos, los hace ser especialmente adecuados para esta función. Dos empresas del sector, CNH y BlueBotics han adaptado estos vehículos a su función como unidades autónomas, introduciendo numerosas nuevas características, tales como un controlador de movimiento y actuación, un nuevo sistema de dirección y de frenado, cambios en las revoluciones del motor, en el sistema de fijación de tres puntos, etc.

Para el control físico de las malas hierbas en cultivos de maíz, la Universidad de Pisa ha desarrollado una escardadora de precisión que permite llevar a cabo simultáneamente un control de malas hierbas mecánico y térmico. Este apero está equipado con elementos rígidos para realizar una labor superficial del suelo entre las líneas del cultivo y un juego de quemadores para el tratamiento selectivo de las líneas, dado que la base del maíz es más tolerante a las altas temperaturas que las plántulas de malas hierbas



Figura 6. Vehículo autónomo terrestre construido sobre la base del tractor Boomer T3050 CVT de New Holland.



Figura 7. Prototipo de escardadora de precisión desarrollado por investigadores de la Universidad de Pisa, con herramientas de control térmico y mecánico.

(Figura 7). Con objeto de mejorar la precisión de este tratamiento, el apero estará equipado con unas ruedas direccionales conectadas al sistema de percepción. El tratamiento térmico será aplicado solo cuando se hayan detectado hierbas en la línea, mientras que el tratamiento mecánico se llevará a cabo independientemente de la presencia de malas hierbas. La dosis de Gas Licuado de Petróleo (GLP) será ajustada de acuerdo a la cobertura de malas hierbas, que será evaluada por separado en bandas diferentes de las que operan los quemadores.

Para el control químico, Soluciones Agrícolas de Precisión, una empresa española especializada

en maquinaria agrícola de precisión, ha diseñado y construido un prototipo de pulverizador para la aplicación de herbicidas (Figura 8). El prototipo está formado por un tanque de agua de 200 L y un contenedor separado de 15 L con el herbicida que será inyectado siguiendo las instrucciones del sistema de toma de decisiones. La barra de aplicación está dividida en doce secciones, cada una de ellas con una válvula de solenoide de alta velocidad. Cada válvula es activada por una señal de 12 V que permite una rápida apertura/cierre de las mismas en respuesta a las órdenes del controlador.



Figura 8. Prototipo de pulverizador de precisión diseñado y construido por los ingenieros de Soluciones Agrícolas de Precisión (AGROSAP).

Utilización comercial

En la actualidad, la mayor parte de los tratamientos fitosanitarios los realiza el propio agricultor, con una pequeña (pero creciente) participación de empresas de servicios que disponen de equipos de gran tamaño. De acuerdo con nuestra visión, esta situación puede cambiar radicalmente en el futuro. Estos tratamientos podrán ser llevados a cabo por empresas de servicios altamente tecnificadas y dotadas de equipos automáticos que pueden ser transportados de unas explotaciones a otras y de una región a otra, según las necesidades de cada momento y explotación. Así, de una forma similar a lo que sucede con las cosechadoras, un tráiler capaz de cargar una flotilla de pequeños robots terrestres y aéreos así como la correspondiente estación de control se podrá desplazar por la geografía española aplicando fitosanitarios en diversos tipos de cultivo y en diferentes épocas del año. El poder cubrir una demanda muy amplia, tanto desde el punto de vista geográfico como de cultivos, el poder trabajar en forma continua tanto de día como de noche, con menos (pero más cualificados) operarios y el poder tratar grandes superficies en cortos espacios de tiempo (gracias al concepto de 'flotas') suponen ventajas claras sobre los sistemas actuales y pueden permitir optimizar la rentabilidad económica de estas nuevas tecnologías.

El concepto de flotas de robots puede suponer un nuevo paradigma en agricultura y, por consiguiente, puede resultar difícil de introducir en la práctica (los cambios drásticos no son

bien percibidos por los agricultores). Por ello, el proceso de introducción deberá ser secuencial, con una serie de pasos intermedios, no solo para que los usuarios vayan ganando confianza en el empleo de las nuevas técnicas sino también para dar tiempo a que cambie su percepción del sistema. Inicialmente, los tractores podrían operar en un modo autónomo o un modo manual, lo que facilitaría su transporte a las diferentes parcelas o la realización de tareas demasiado complejas para ser automatizadas. Posteriormente se podría pasar a una flota en la que uno de los vehículos esté trabajando en modo manual y, al tiempo, supervise el funcionamiento de las unidades autónomas. En último término, todas las unidades serían autónomas y estarían supervisadas desde una estación de control situada en el tráiler que las ha transportado, estando una sola persona encargada de dicha supervisión así como de la carga y transporte de las unidades.

Agradecimientos: Las ideas desarrolladas en este artículo y los correspondientes equipos son el fruto del esfuerzo de numerosos investigadores y técnicos trabajando en diversos organismos y empresas: Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Centro de Automática y Robótica, Instituto de Ciencias Agrarias, Instituto de Agricultura Sostenible), CogVis GmbH, Forschungszentrum Telekommunikation Wien Ltd., Cyberbotics Ltd, Università di Pisa, Universidad Complutense de Madrid, Tropical, Soluciones Agrícolas de Precisión S.L., Universidad Politécnica de Madrid (ETS Ingenieros Agrónomos, ETS Ingenieros Industriales), AirRobot GmbH & Co. KG, Università degli Studi di Firenze, IRSTEA, Case New Holland Belgium N.V., Case New Holland France S.A., Bluebotics S.A. y CM Srl. El proyecto RHEA está financiado por la UE a través del Séptimo Programa Marco, Proyecto nº 245.986.