

DESARROLLOS QUE SE ESTÁN REALIZANDO EN ALGUNAS DE LAS UNIVERSIDADES MÁS IMPORTANTES A NIVEL INTERNACIONAL

Ensayos con sensores para mejorar la eficiencia en la aplicación de agroquímicos

Manuel Pérez Ruiz¹ y Juan Agüera Vega².

¹Dpto. de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos. Área de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Sevilla.

²Dpto. de Ingeniería Rural. Universidad de Córdoba.

En los últimos años han venido desarrollándose avances muy importantes en el sector agrícola en cuanto a la automatización en los tractores y maquinaria dedicada a la aplicación de agroquímicos. En este artículo se dan a conocer los últimos adelantos en materia de electrónica, mecánica y robótica sumada al GPS y a programas específicos que se están desarrollando en distintas universidades de gran prestigio a nivel internacional.



Tractor con equipo especial para hacer fumigación antes de plantación.

El mundo de los sensores e instrumentación está experimentando un desarrollo que afecta a todos los sectores de la sociedad. Las principales aplicaciones y más conocidas han surgido del entorno industrial, pero hay otros muchos campos que pueden resultar beneficiados y que ya están logrando aplicaciones rentables.

El sector agrícola, ligado generalmente a los grupos sociales menos desarrollados tecnológicamente, puede ser uno de los más beneficiados, consiguiendo optimizar algunos de los procesos más críticos en la obtención de resultados, facilitar las tareas más tediosas y también reducir la mano de obra del mismo y de los procesos industriales asociados al sector.

La apertura de nuevos mercados agrícolas exige a la agricultura española un crecimiento rápido con el objetivo de conseguir calidad y variedad de productos a precios cada vez más ajustados, en un mundo de fuerte competencia. Esto está determinando el empleo de distintas tecnologías en la mayor parte de las labores agrícolas, como son: plantar, aplicación de tratamientos, siembras y recolección en cada una de sus posibilidades (continua o por piezas).

La denominada agricultura de precisión junto con la mecatrónica son herramientas a disposición de los agricultores para conseguir la competitividad necesaria de los productos españoles en los mercados nacionales e internacionales. La mecatrónica, concepto nacido en Japón en 1969, se definió al principio como la integración de la mecánica y la electrónica en una máquina o producto, pero más tarde se con-

solidó como una especialidad de la ingeniería, incorporando elementos como informática, microelectrónica e inteligencia artificial. El propósito de la mecatrónica es fabricar productos inteligentes que sean capaces de procesar información para su funcionamiento, gracias a la instalación de dispositivos y sensores electrónicos especiales.

En los últimos años han venido desarrollándose avances muy importantes en el sector agrícola en cuanto a la automatización en los tractores y maquinaria dedicada a la aplicación de agroquímicos. Entre los agricultores se han popularizado los sistemas de ayuda al guiado y guiado automático en tractores y ya se comercializan con bastante éxito en el sector. El sistema de guiado automático consta de un procesador que recibe la información de los sensores, realiza los cálculos y establece las correcciones, un monitor donde se visualiza la información y se introducen los parámetros de configuración y demás datos particulares de la labor a realizar mediante un teclado, utilizando en algunos casos la propia pantalla (pantalla táctil) (**foto 1**). Un receptor RTK o DGPS proporciona las coordenadas del punto en que nos encontramos con una precisión que será función de las señales de corrección disponibles, aunque es conveniente utilizar las procedentes de una estación RTK propia a una distancia no superior a 10 km para obtener precisiones por debajo de los 2,5 cm.



La mayoría de los sistemas de guiado automático emplean sistemas inerciales (giróscopos y acelerómetros) colocados en cajas metálicas en la cabina. La velocidad a la que se actualizan las coordenadas es también un dato importante. Cuanto mayor sea la frecuencia de actualización menos posibilidades de error tendrá el sistema. Se emplean frecuencias que oscilan entre 5 y 20 Hz.

También disponen de sensores que informan al sistema del ángulo al que se encuentran orientadas las ruedas delanteras, de actuadores sobre el mecanismo hidráulico de la dirección. Algunos modelos de tractor de gama alta ya llevan preinstalados de fábrica estos sensores y actuadores para facilitar la incorporación del sistema de guiado automático. En caso contrario, su incorporación deberá realizarse por personal especializado.

El siguiente paso sería conseguir que el vehículo fuera autónomo completamente. Existen algunos grupos de investigación y universidades que han desarrollado proyectos en los que ya se han conseguido poner en marcha equipos autónomos.

Vehículos completamente autónomos

Se puede destacar el trabajo desarrollado por la Universidad Carnegie Mellon en Pennsylvania (EE.UU.) en colaboración con la NASA y la empresa fabricantes de tractores John Deere (EE.UU.) de un sistema tractor-máquina completamente autónomo para la aplicación de agroquímicos en cultivos arbóreos (**foto 2**).

Este sistema permite aumentar la productividad de la labor, al permitir que una sola persona pueda supervisar cuatro o más tractores que funcionan en el campo. Con este desarrollo se reduce al mínimo la interacción, automatizando casi todas las funciones del tractor, dejando a un operador sólo tareas simples como supervisión del funcionamiento, verificación de obstáculos, etc. El operador situado en la oficina recibe información de los tractores a través de un sistema de telemetría que permite visualizar en una aplicación informática la localización actualizada de cada uno de los vehículos que están trabajando en la explotación agrícola.

El tractor dispone de un sistema GPS para conseguir una buena georreferenciación en campo y un par de cámaras de video con imágenes en estéreo para realizar una buena conducción a lo largo de la calle que se está tratando.

Mediante estos dos sistemas se consigue planificar la trayectoria a seguir por los tractores para cubrir toda la zona a tratar, detectar y evitar obstáculos y activación de las electroválvulas de pulverización en el momento apropiado en cada caso. La automatización de este proceso consigue que cada trabajador sea hasta cuatro veces más productivo, supervisando la flota de tractores, siendo a su vez cada tractor un 20% más productivo debido a que es una operación a una velocidad constante más alta y segura. También es destacable que la aplicación se puede reali-



Foto 1. Pantalla táctil usada en equipos de guiado automático.



Foto 2. Tractor autónomo realizando una aplicación de agroquímicos en naranjos.

Se puede destacar el trabajo desarrollado por la Universidad Carnegie Mellon en Pennsylvania (EE.UU.) en colaboración con la NASA y la empresa fabricantes de tractores John Deere (EE.UU.) de un sistema tractor-máquina completamente autónomo para la aplicación de agroquímicos en cultivos arbóreos

zar en periodos nocturnos, minimizando la exposición humana y los daños ambientales.

Existen otros proyectos de características similares al descrito anteriormente, que sólo representan una pequeña muestra de las muchas investigaciones que se están realizando para conseguir tractores autónomos. El Centro de Sistemas Inteligentes de la Universidad de Utah, en Estados Unidos, ha desarrollado en colaboración con la empresa Autonomous Solutions, Inc. un tractor autónomo controlado por un operario desde una consola con pantalla y unos joystick, muy similares a los usados en los videojuegos (**fotos 3 y 4**). El tractor lleva implementada una cámara en el techo de la cabina enfocando al apero, para visualizar en la pantalla de la consola la operación que se está realizando.

Las grandes compañías de tractores no se están quedando atrás en estos progresos. Hace poco tiempo, la multinacional John Deere, ha conseguido fabricar un tractor autónomo para la aplicación de agroquímicos en cultivos arbóreos y operaciones agrícolas que no requieran mucha potencia. Este vehículo ha sido sólo un desarrollo prototípico y como tal de momento se encuentra en su fase experimental, no encontrándose disponible comercialmente (**foto 5**).

Sistemas inteligentes para la aplicación de agroquímicos

En los últimos foros de la mecanización agrícola ha estado siempre presente la preocupación medioambiental; entre los temas que más



Foto 3. Consola para el control del tractor a pie de parcela.



Foto 5. Tractor autónomo prototipo de John Deere.



Foto 4. Tractor preparado para comenzar una operación agrícola.



Foto 6. Prototipo inicial del sistema inteligente de aplicación.

preocupan en la agricultura actual es la eficiencia de la aplicación de agroquímicos y, dentro de ella, la mejora de los sistemas de aplicación, buscando evitar la deriva y el escurrimiento, así como aumentar la precisión de los tratamientos, lo que se encuentra en primer lugar.

En la agricultura actual, el uso de herbicidas es todavía el método preferido para el control de las malas hierbas, aunque comienzan a emerger nuevas alternativas, tales como: tratamientos mecánicos, tratamientos por calor, control de malas hierbas con rotación de cultivos, prácticas de cultivo, etc.

Normalmente, los herbicidas son aplicados de forma uniforme por los agricultores, sin tener en cuenta la variabilidad espacial de la mala hierba. Por ello, en algunas áreas donde la mala hierba no existe o existe en poca cantidad reciben tanta cantidad de herbicida como aquellas áreas donde existe una alta densidad de mala hierba. La reciente preocupación por el medio ambiente, está llevando a los Gobiernos a crear estrictas medidas de regulación en el uso de agroquímicos, incluyendo entre ellos a los herbicidas. El agricultor se está viendo obligado a tener que hacer continuas revisiones en el uso de herbicidas.

Actualmente, se está trabajando fundamentalmente en dos metodologías para afrontar las aplicaciones de dosis variables: aplicación variable basada en sensores y aplicación variable basada en mapas. Ambos métodos se encuentran en la filosofía de la agricultura de precisión, pero se diferencian de forma sustancial:

Figura 1.

Esquema de la aplicación variable basada en sensores.

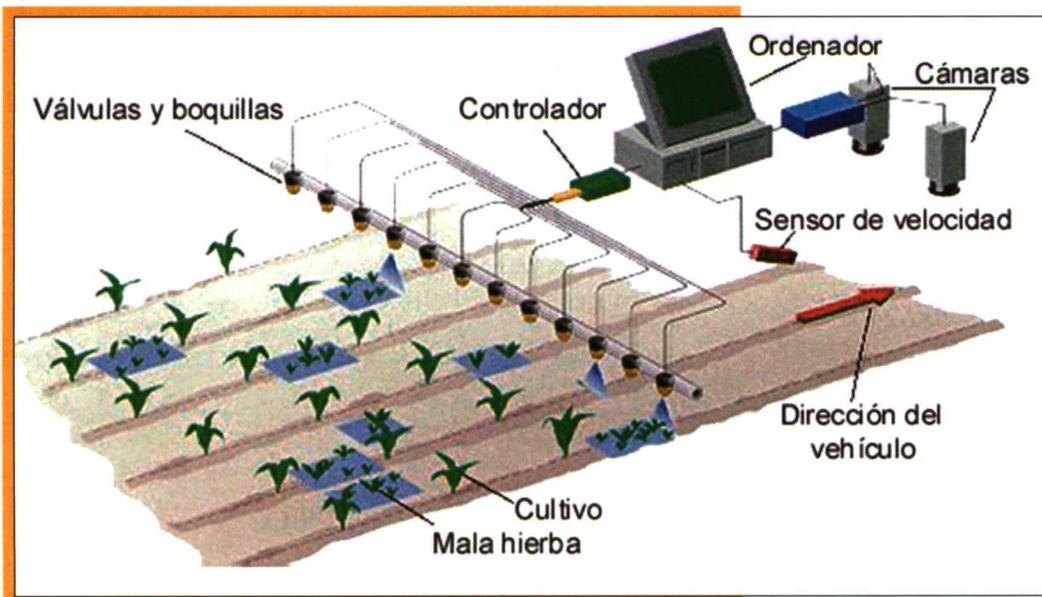




Foto 7. Sembradora usada para la obtención de los mapas de semillas.

Actualmente, se está trabajando fundamentalmente en dos metodologías para afrontar las aplicaciones de dosis variables: aplicación variable basada en sensores y aplicación variable basada en mapas.

• En la aplicación variable basada en sensores, el equipo de tratamiento detecta sobre la marcha los datos necesarios (características del terreno, presencia de mala hierba, estado del cultivo, etc.), que son utilizados como indicadores para regular la distribución del agroquímicos utilizados en la aplicación (**figura 1**).

• En la aplicación variable basada en mapas, se modifica la cantidad de agroquímico en función de la información obtenida de las propiedades de la parcela en los mapas de variabilidad. Este tipo de aplicación presenta un inconveniente, nos prefija la dosis, pero dado que transcurre un cierto tiempo entre el análisis del mapa y la aplicación, puede que las dosis prefijada no corresponda exactamente con la que se necesita en el momento de la aplicación si el análisis se ha basado en propiedades que varían rápidamente como: contenido de nitratos en el suelo, contenido de humedad en el terreno, mala hierba, etc.

En la Universidad de Davis (California), tienen gran experiencia en la robotización y automatización de maquinaria agrícola. De los proyectos en los que actualmente se encuentran trabajando se podrían citar varios relacionados con la aplicación variable basada en sensores.

Uno de los proyectos consiste en conseguir un sistema inteligente de aplicación para reducir la aplicación de herbicida, como el que se muestra en la **figura 2**. La detección de la mala hierba se realiza con una simple cámara progresiva de color (Tipo CCD) montada en la parte delantera del equipo de tratamiento. Las imágenes tomadas por la cámara son enviadas a un ordenador, colocado en la cabina del vehículo, donde serán procesadas mediante el software específico. Después del procesado de las imágenes ya se dispone de la información necesaria para que la barra de tratamiento, comandada por la caja controladora, pulverice en aquellas zonas donde se detectó mala hierba y no pulverice donde no se detectó mala hierba. En la **foto 6** vemos el equipo de tratamiento desarrollado durante las primeras fases de la investigación para culminar en un equipo comercial como el que se muestra en la **figura 2**.

MAYOR RESISTENCIA

Salud Interior, Belleza Exterior

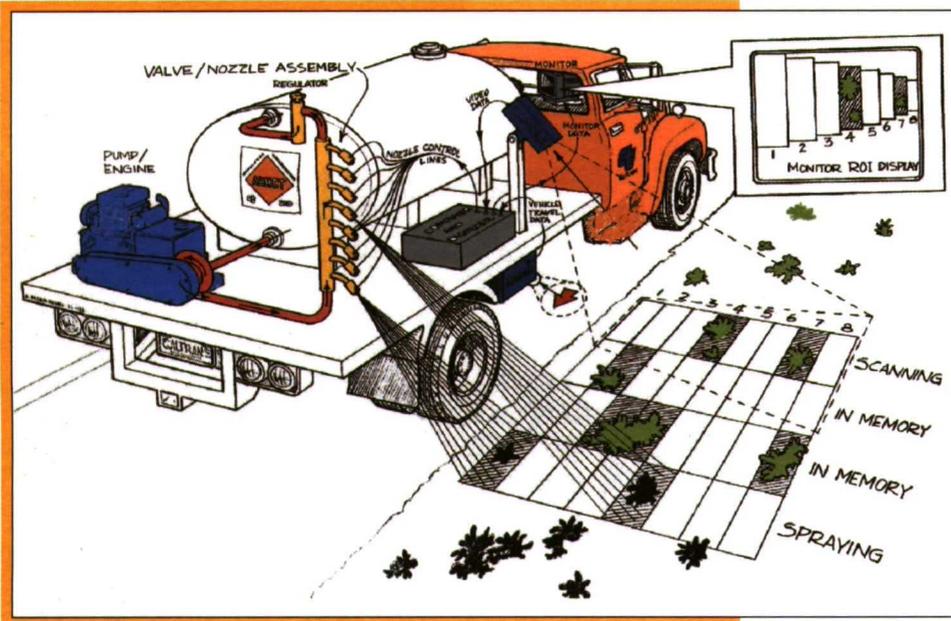
YaraLiva™ es una fuente de Nitrato de Calcio que mantiene la fruta y la verdura fresca durante más tiempo. Mejorando la estructura celular, no solo se alarga la vida postcosecha, sino que también se consigue mayor resistencia y firmeza del fruto, mayor crecimiento de las raíces y un cultivo de mejor calidad en general. El aumento de la calidad del cultivo hará aumentar la rentabilidad.



YaraLiva™

Figura 2.

Sistema inteligente de aplicación de agroquímicos.



Uno de los proyectos consiste en conseguir un sistema inteligente de aplicación para reducir la aplicación de herbicida. La detección de la mala hierba se realiza con una simple cámara montada en la parte delantera del equipo de tratamiento. Las imágenes tomadas por la cámara son enviadas a un ordenador, colocado en la cabina del vehículo, donde serán procesadas mediante el software específico. Después del procesado de las imágenes ya se dispone de la información necesaria para que la barra de tratamiento, comandada por la caja controladora, pulverice en aquellas zonas donde se detectó mala hierba

En esta misma Universidad también se está trabajando en proyectos donde el tratamiento contra la mala hierba está basado en mapas.

Uno de estos proyectos consiste en obtener las coordenadas exactas de la semilla en el momento de la siembra (para algodón) o de la planta en el momento de colocarla en el suelo (para tomate) (foto 7). Para ello se ha colocado un sistema RTK-GPS a la sembradora de manera que cada vez que una semilla cae por la bota de siembra quedan registradas sus coordenadas. Esto permite tener al finalizar la operación de siembra la información necesaria para construir el mapa de la parcela con las semillas o plantas georreferenciadas. El hecho de conseguir este mapa de semillas o plantas, permite posteriormente eliminar toda mala hierba que no se encuentra en esas coordenadas, bien de forma mecánica o con la aplicación de herbicida.

También se podrían destacar los avances que se han conseguido para reducir las aplicaciones de agroquímicos, antes de instalar una plantación en un terreno contaminado por algún hongo que pueda causar daño a los árboles. En primer lugar,

se genera el mapa de las coordenadas exactas de cada uno de los árboles que formará la plantación y posteriormente usando este mapa como mapa de prescripción se hace la aplicación de agroquímicos justo en el área donde será plantado posteriormente el árbol (figura 3).

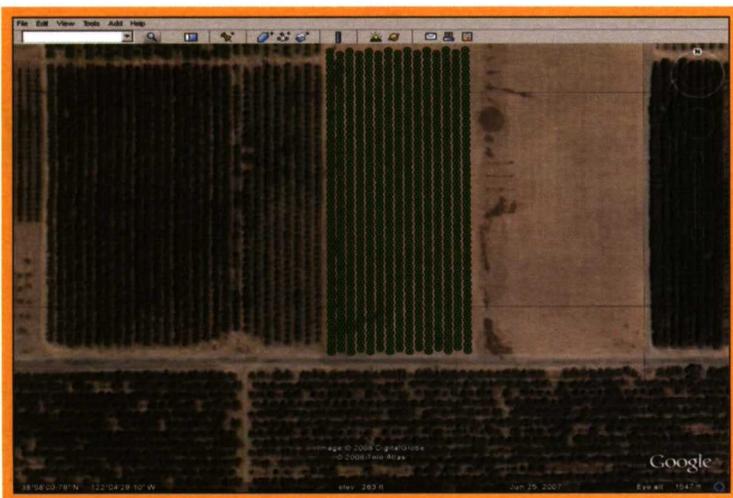
Con este artículo los autores han pretendido dar a conocer los diferentes desarrollos y técnicas que se están realizando en algunas de las universidades más importantes a nivel internacional en el sector agrícola. Esta breve descripción de algunas aplicaciones hace patente que la electrónica, la mecánica, la robótica, sumada al GPS y a los programas específicos constituirán los mayores adelantos en materia de prestación, automatización y entrega de información de la maquinaria agrícola del presente y del futuro. Podríamos pronosticar que aquellas empresas que no sigan el desarrollo de este tipo de avance tecnológico en procesos y productos pueden quedar fuera del mercado internacional y local de la maquinaria agrícola. ■

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del proyecto INIA N° RTA 2006-00058-C03-03 y al Department of Agricultural and Biological Engineering, University of Davis (California), por permitir realizar una estancia de investigación de seis meses al autor del artículo.

Figura 3.

Coordenadas donde se producirá la aplicación.



Bibliografía

Coates, R., Shafii, M. and Upadhyaya, S. "Site-Specific Fumigant Applicator for Prevention of Almond Replant Disease". 2007 An ASABE meeting presentation, paper number: 071080

Gliever, C.J., Slaughter, D.C., Giles, D.K., Lanini, W.T. and Upadhyaya, S.K. "Precision weed spraying utilizing GPS seed maps for increased image processing efficiency". ASAE 2003 International meeting July 30th.

Pérez M., Agüera J. y Gil J. 2007. Desarrollo, evaluación y análisis de técnicas de agricultura de precisión para la optimización de insumos en cultivos característicos del valle del Guadalquivir. Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba. Dpto. de Ingeniería Rural.

Rodríguez, F. and Berenguel M. 2004 Control and robótica en agricultura. Universidad de Almería, ISBN: 84-8240-739-2

Stentz, A., C. Dima, C. Wellington, H. Herman, and D. Stager. "A System for Semi-Autonomous Tractor Operations," Autonomous Robots, Vol. 13, No. 1, July, 2002, pp. 87-103.