

La robotización de las labores agrícolas como apuesta de futuro

En este artículo se revisan las tendencias en robotización de la agricultura con especial atención a las especificaciones técnicas que deben contemplarse en el diseño y fabricación de estos equipos para su funcionamiento en un entorno desestructurado y con elevadas restricciones en cuanto al nivel de protección contra polvo, agua e impactos. Se

presentan distintas iniciativas internacionales orientadas al desarrollo de concursos de robótica agrícolas en varias universidades europeas, y se describe la iniciativa de la Unión Europea de realizar una convocatoria competitiva de proyectos de investigación en este ámbito dentro del área de nanotecnologías y nanociencias.

Pilar Barreiro y Belén Díezma.
Ópto. Ingeniería Rural. ETSI Agrónomos.

La introducción de la robótica en las labores agrícolas de campo constituye la vanguardia de la agricultura de precisión y supone un cambio de paradigma en la investigación y el desarrollo de maquinaria. Actualmente la mayor parte de las prácticas de producción en campo se centran en la utilización de equipos de gran potencia, pesados, costosos y con grandes capacidades de trabajo. Sin embargo, algunas universidades y centros de investigación están tratando de aprovechar las fenomenales posibilidades que ofrecen los avances en microelectrónica, tecnologías de la información y sensórica, para rediseñar los equipos agrícolas¹. Se persigue así la fabricación de vehículos robotizados ligeros, inteligentes, autónomos y relativamente baratos.

Algunas prácticas agrícolas como el control de malas hierbas, la aportación de nutrientes o el control de plagas pueden pasar de ser planificadas a escala de parcela a realizarse a escala de planta individual. Se produce por tanto un tránsito de

los sistemas de manejo sitio específico (SEM, en inglés) al concepto de sistema a nivel de planta (Plant Level System), término acuñado en 1996 que implica la transición entre el concepto "sitio específico" al concepto "a planta específica". En este contexto los tratamientos son individualizados para cada planta (figura 1).

De acuerdo con este nuevo paradigma, son susceptibles de robotización las tareas que impliquen una baja demanda de potencia entre las que se incluyen todas aquellas que se realizan a nivel de planta: supervisión (*scouting*), escarda selectiva, microabonado, micropulverización, microlaboreo, siembra directa individualizada, poda localizada y recolección selectiva.

Especificaciones técnicas de los robots

Uno de los investigadores pioneros en el ámbito de la robótica aplicada a la agricultura es Simon Blackmore que incluso se ha lanzado a crear su propia empresa denominada unibots (University Robots). Blackmore y colaboradores² a lo largo de un conjunto de trabajos en los que han participado varias universidades europeas establecen las siguientes categorías de especificaciones téc-

nicas para los robots: tamaño, peso, autonomía de comportamiento, navegación, capacidad exploratoria, autodiagnóstico, gestión de tareas, comunicación, coordinación, colaboración y seguridad.

Tamaño

Se identifican un mínimo de tres tamaños correspondientes a tractores de pequeño tamaño (1-2 m, de 10-30 CV), vehículos pequeños (<1 m, alrededor de 5 CV), vehículo de muy pequeño tamaño (menos de 1 CV). Los primeros necesitan motor, los segundos pueden funcionar con baterías y los terceros con pequeñas células recargables.

Peso

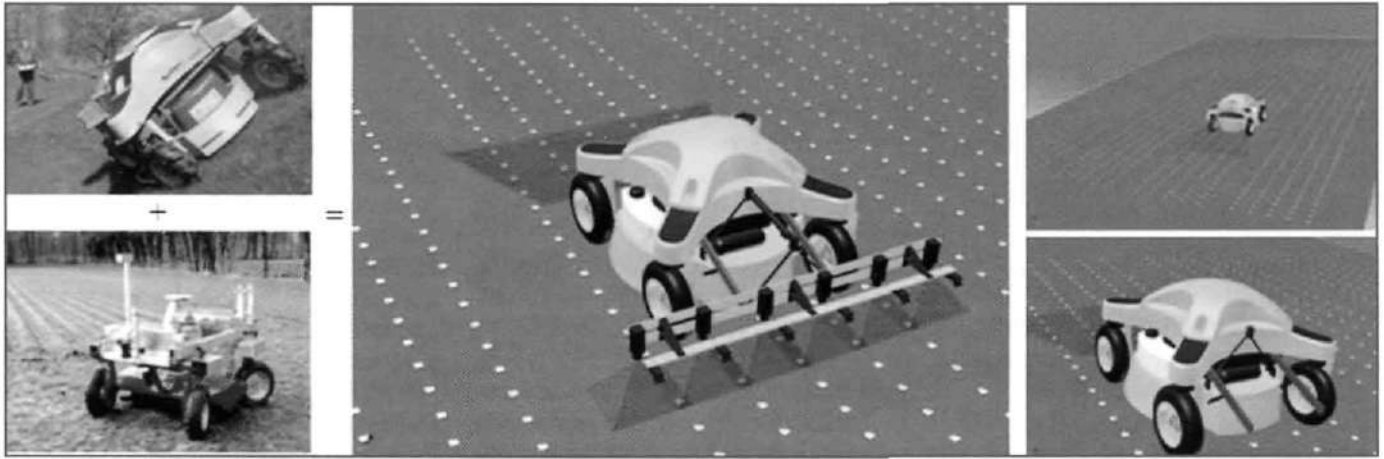
Las categorías de peso van desde unos centenares de kilos para los tractores de pequeño tamaño, menos de 100 kg para los vehículos pequeños, entorno a 10 kg para los vehículos muy pequeños, e inferiores a 1 kg para los microrobots.

Autonomía de comportamiento

Se define autonomía de comportamiento como la capacidad de reaccionar de forma sensible al entorno, con posibilidad de moverse en un entorno seminatural sin supervisión humana durante largos períodos

FIGURA 1.

HortiBot, vehículo robotizado modular para utilización en horticultura. Fuente: The Danish Institute of Agricultural Sciences, Department of Agricultural Engineering (Dinamarca).



de tiempo. Esta capacidad implica la existencia de un cierto grado de inteligencia (capacidad de resolver problemas), de retorno a la base para reabastecimiento, un elevado nivel de redundancia en los sistemas para evitar fallos fatales y un comportamiento correcto en situaciones complejas.

Navegación

Se estima que el vehículo estará en modo navegación (desplazándose de un sitio a otro) entre el 80 y 90%, del tiempo para lo cual empleará sistemas de posicionamiento basados en tecnología GPS-GIS. El vehículo debe ser capaz de definir la trayectoria teniendo en cuenta las necesidades de soslayo de obstáculos. Cuando el vehículo detecte un objeto deberá reducir su velocidad hasta pararse. Si el objeto no se mueve se identificará como estacionario y se dará un aviso para que se mueva. En caso de que el objeto permanezca detenido se interpretará que es un obstáculo y se rodeará. Una situación especial que debe ser contemplada por el sistema de navegación es el reabastecimiento de energía. En caso de que el vehículo detecte niveles bajos de energía, deberá retornar a la base, recargar y retomar la posición y tarea anterior al desplazamiento.

Capacidad exploratoria

El robot debe disponer de sistemas sensibles al entorno localmente, y capacidad de autoadaptación a las necesidades de supervisión del entorno en cada caso. Podrán em-

plearse todas las tecnologías sensoras disponibles (NIR, ultrasonidos, etc.).

Autodiagnóstico

El robot debe disponer de sistemas internos de percepción para verificar que los parámetros más importantes se encuentran dentro de los rangos normales de funcionamiento.

Gestión de tareas con microequipos o microaperos

El robot debe suministrar la potencia mecánica y eléctrica, así como los interfaces de comunicación. La idea es que existan equipos y aperos con una funcionalidad similar a los actuales pero de muy reducidas dimensiones. Existirá además un sistema de comunicación tipo Isobus mediante el cual el controlador del equipo podrá tomar el mando

Son susceptibles de robotización las tareas que impliquen una baja demanda de potencia entre las que se incluyen todas aquellas que se realizan a nivel de planta

general del vehículo. Cada equipo podrá tener sus especificaciones propias en cuanto a la calibración y diagnóstico de errores. En el caso de que el vehículo detecte un fallo, debe ser capaz de emprender acciones correctoras o retornar a la base en caso necesario.

Comunicación

Se emplearán sistemas de comunicación digital (en forma de trenes de pulsos). El tráfico de mensajes se minimizará mediante protocolos de filtrado de alto nivel. Se mantendrá un fichero tipo log que permita una rápida identificación de las causas de fallo y diagnóstico de errores. Todos los procesos se acoplarán directamente a sus sensores y actuadores (control distribuido) para evitar retardos de respuesta derivados de un funcionamiento en red con control centralizado.

Coordinación

Un ordenador central de la explotación será el encargado del control global del parque de vehículos autónomos. El coordinador central deberá tener una conexión de vídeo en tiempo real independiente para cada vehículo con posibilidad de enfoque direccional. El sistema de control del coordinador deberá poder mimetizar los parámetros funcionales de cada vehículo para comprender lo que pasa. Cada vez que se añada una tarea o vehículo deberá ser posible invocar una rutina de optimización. El coordinado se comunicará con cada vehículo vía radio, y podrá

establecer la necesidad de disponer de bases de reabastecimiento móviles. Estas bases deberán poder ser utilizadas por múltiples robots.

Colaboración

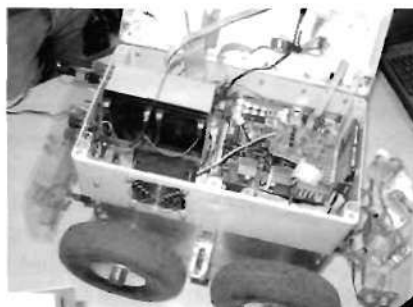
Dentro de la filosofía de los parques de robots, se entiende que los equipos deben ser capaces de trabajar de forma conjunta, especialmente en tareas críticas.

Seguridad

La seguridad se expresa en términos de integridad de terceros, integridad propia y del cultivo. Para poder lograr este propósito son necesarios sistemas sensores inteligentes y sistemas redundantes.

Concursos internacionales en robótica

Los concursos internacionales sobre robótica en agricultura, a los que concurren entusiastas estudiantes universitarios de



Fotos 1 y 2. Robots participantes en distintas ediciones de Field Robot Event. Fuente: Field Robot Event.

formación y origen muy diversos, suponen un foro de gran utilidad para el acometimiento de nuevos retos, la puesta en común de avances y tendencias y su presentación a la sociedad.

Field robot event

Desde 2003 se celebra anualmente el concurso Field Robot Event promovido por la Universidad de Wageningen (<http://fieldrobot.nl>). Esta institución ha sido la sede del concurso en las ediciones de 2003 a 2006, 2007 y 2009; las Universidades alemanas de Hohenheim y Osnabrück acogieron las ediciones de 2006 y 2008 respectivamente.

En todas las convocatorias los grupos participantes han de diseñar, fabricar y programar su propio robot autónomo y robusto para realizar trabajos de campo. La organización establece y publica las tareas específicas de cada edición con antelación sin imponer ninguna restricción en la construcción del robot, de manera que los participantes concurren a la cita con sus diseños acabados, seleccionando para ello cuantos medios consideren oportunos (fotos 1 y 2).

Los sistemas de navegación, la sensórica y los sistemas actuadores son los tres aspectos claves que se han ido valorando a lo largo de las convocatorias. En todas ellas se ha exigido que los robots se desplazaran entre líneas de plantas de maíz con alturas comprendidas entre 30 y 60 cm, con una separación entre líneas de 75 cm y entre plantas de 10 cm, y con un porcentaje de fallos dependiente de la bondad de la madre naturaleza y de la labor de siembra. Adicionalmente en algunas ediciones se ha propuesto la tarea de detección y pulverización de malas hierbas.

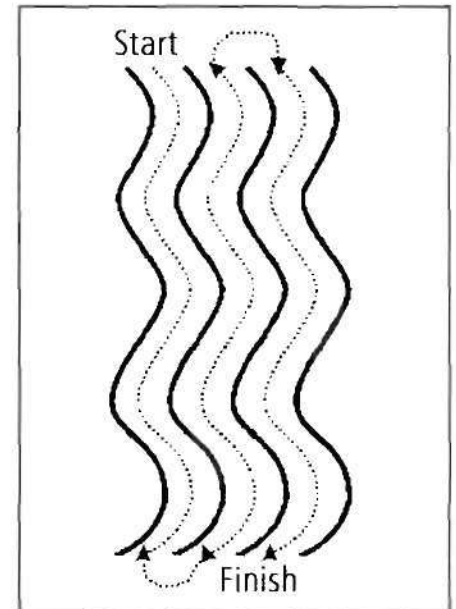
Los sistemas de navegación implementados en los vehículos robots han sido variados³: desde máquinas dirigidas por control remoto con asistencia de cámaras de vídeo, hasta vehículos verdaderamente autónomos que siguen una trayectoria según la señal adquirida por diferentes tipos de sensores (táctiles, de distancia por infrarrojos, de luz, de color, de ultrasonidos, etc.).

La experiencia acumulada a lo largo de las ediciones anteriores permite identificar algunos problemas técnicos:

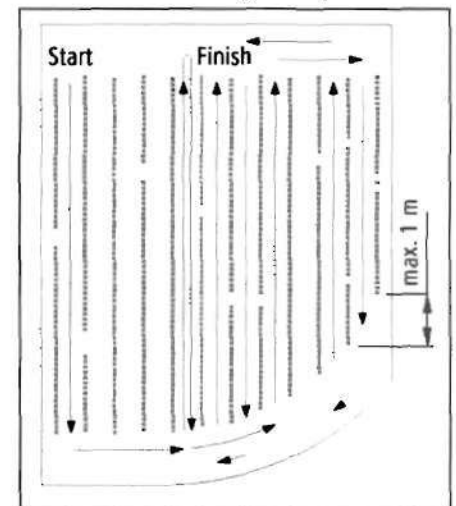
- La navegación entre las líneas de maíz todavía no es robusta. Fallos en los sensores, en los circuitos eléctricos o en la programación vuelven loco al robot produciendo incluso rotura de plantas.

FIGURA 2.

Navegación en un campo de maíz con líneas en curva. Los robots tienen que seguir las líneas girar en cabeceras y continuar siguiendo la línea adyacente.



Navegación avanzada según un patrón complejo definido en un campo de maíz con líneas de diferentes longitudes y con fallos.



Fuente: Field Robot Event 2009.

- Los giros en cabecera no están completamente resueltos. En algunos casos los vehículos precisan un gran espacio en cabecera para encarar la siguiente línea (excesivo radio de giro, escasa maniobrabilidad). Los algoritmos más frecuentemente implementados

para el giro en cabecera solo son apropiados si el borde de la cabecera es perpendicular a la orientación de la línea de cultivo, lo que frecuentemente no se cumple en la práctica.

- No es fácil distinguir entre el final de una línea y las marras de plantas a lo largo de la misma.

- La actuación sobre las malas hierbas es poco precisa: los robots comienzan la pulverización muy pronto y la finalizan muy tarde, tratando de asegurar la eliminación de la mala hierba.

Así, en la última edición (julio 2009) el acento se pone en la mejora de la robustez y la precisión de los vehículos robots. Esta edición propone tres tareas, las dos primeras centradas en la navegación (**figura 2**) y la tercera en el control de malas hierbas. Las malas hierbas se simulan mediante bolas de golf verdes que se distribuyen aleatoriamente en el campo de maíz. La detección de una mala hierba tiene que hacerse patente mediante la emisión de una señal luminosa o de un sonido; adicionalmente el robot tiene que realizar una pulverización localizada cuya bondad se



Foto 3. Estudiantes participantes y organizadores del concurso Agrotech 2009. ETSI Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid. Fuente: Agrotech 2009.

evaluará mediante la colocación de papel hidrosensible en el campo.

Agrotech

Agrotech es una iniciativa surgida en la ETSI Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid, con una clara vocación docente^{4,5} y con el ánimo de constituir un foro comple-

mentario a Field Robot Event. Se trata también de un concurso internacional dirigido a estudiantes universitarios, cuya primera edición se ha celebrado en Madrid el pasado mes de mayo en colaboración con la asociación BEST (Board of European Students of Technology).

Los cuarenta participantes (**foto 3**) en este concurso fueron seleccionados (de entre

un total de 120 propuestas) y organizados en grupos de cuatro componentes buscando la complementariedad y sinergia de sus conocimientos y habilidades.

Todos los medios necesarios para el diseño y programación de los robots fueron facilitados a los participantes el primer día de competición: cuatro cajas de Lego Mindstorm, conteniendo: dos unidades de control, cuatro motores, sensores diversos y elementos de construcción (engranajes, piezas de unión, articulación, topes, etc.). En este mismo día se hizo público el problema a resolver: los robots debían constituir vehículos autónomos, capaces de moverse entre líneas de árboles, dar la vuelta en cabecera y realizar una recolección selectiva recogiendo los frutos maduros y cargándolos en el correspondiente remolque. El huerto de árboles puede verse en la **foto 4**.

El problema completo se dividió en subtarefas que fueron evaluadas tras cada una de las tres jornadas de trabajo.

Algunos diseños se mostraron muy

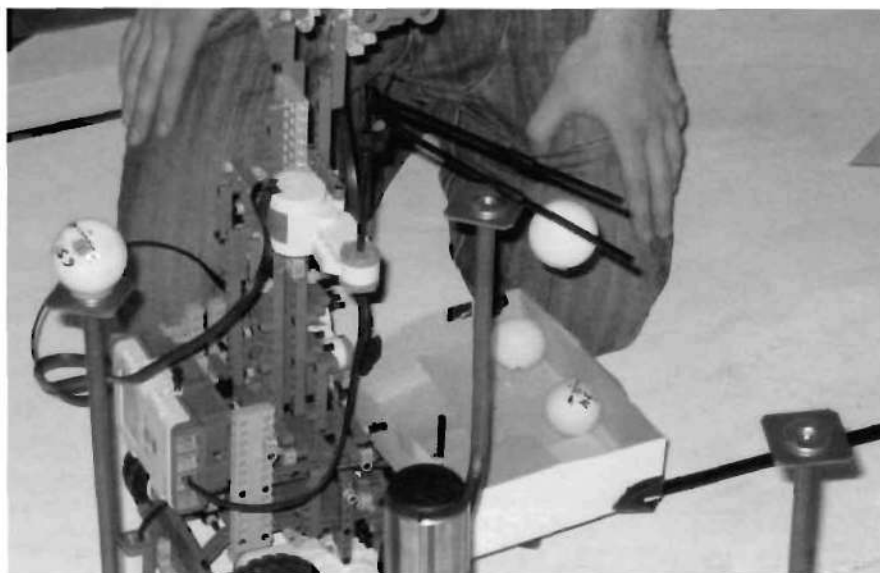


Foto 4 (arriba). Recorrido entre 'líneas de árboles'. Fuente: Agrotech 2009.

Foto 5 (abajo). Detalle del sistema recogedor de uno de los robots diseñado en el concurso. Fuente: Agrotech 2009.

eficaces en el derribo masivo de frutos al incorporar sistemas que realizaban un barrido de las copas de los arboles (**foto 5**). Otros incorporaban sensores para posicionar el sistema de derribo, posibilitando, aunque no consiguiendo totalmente, una recolección selectiva.

La robótica dentro del VII Programa Marco I+D

El VII Programa Marco I+D establece como ámbito de investigación prioritario la integración de las tecnologías de la información y las comunicaciones en la agricultura, así como la aplicación de la automatización y la robótica.

Merece la pena destacar alguna de las propuestas financiadas en convocatorias anteriores en el área "Alimentación, agricultura y biotecnologías (conocimiento basado en Bioeconomía)". Así, desde 2008 se desarrolla el proyecto de investigación "FutureFarm: Meeting the challenges of the farm of tomorrow by integrating Farm Management Information Systems to support real-time management decisions and compliance to standards", que integra a quince instituciones procedentes de diez países, y cuyo coordinador es el profesor Simon Blackmore. Algunos de los principales aspectos incluidos en este proyecto (<http://www.futurefarm.eu>) refieren a la agricultura de precisión, al manejo de información en tiempo real y al análisis del potencial

de los sistemas robotizados en mecanización agrícola.

Resulta especialmente significativo que en el área Nanotecnologías y nanociencias, materiales y nueva producción se incluya una línea financiable (topic) directamente relacionada con el manejo forestal y de cultivos: automatización y robótica para el manejo sostenible de la producción agrícola y forestal (NMP-2009-3.4-1). En el ámbito agrícola y forestal el aumento de la competitividad requiere un incremento de la automatización, mientras que consideraciones de tipo medioambiental exigen la capacidad de aplicaciones o actuaciones diferenciales de forma precisa. La convocatoria invita a las propuestas a resolver o mejorar algunas cuestiones:

- Desarrollo de nuevos sensores para la localización o detección de sistemas biológicos, estado vegetativo de las plantas o características químicas de planta o suelo.
- Desarrollo de efectores y actuadores para la aplicación precisa de insumos o para la manipulación física de objetos.
- Programación de rutinas y modelos de control para la aplicación variable de insumos a velocidades económicamente eficientes.
- Diseño de sistemas de comunicación e interfaces que permitan el control y actuación en tiempo real y optimicen el almacenamiento de la información para futuras operaciones. ●

REFERENCIAS

(1) Jørgensen, R.N., Sørensen, C.G., Pedersen, J.M., Havn, J., Jensen, K., Søgaard, H.T., Sørensen L.B., 2006. Hortibot: A system design of a robotic tool carrier for high-tech plant nursing. ATOE 2006 Bonn Automation Technology for Off-Road Equipment - Pre-Conference to the 2006 CIGR World Congress Bonn, Sept 3 - 7 2006 in Bonn, Germany (Sept 1 - 2, 2006).

(2) Blackmore, S., Stout, B., Wang, M. and Runov, B., 2005. Robotic agriculture-the future of agricultural mechanisation? Precision Agriculture '05. Edited by J.V. Stafford, pp. 621-628.

(3) Van Straten, G. 2004. Report on Field robot event, Wageningen, 5-6 June 2003. Computers and Electronics in Agriculture (2004) 51-58.

(4) Barreiro, P.; Recio, B.; Méndez-fuentes,.; Morató, M.C.; Ramirez, E. 2009. AGROTECH09: building agricultural robots with lego mindstorm: A multidisciplinary and multicultural approach. Edulearn, Barcelona.

(5) Barreiro, P.; Diezma, B.; Recio, B.; Fuentes-Mendez, V. 2009. Fitting into their shoes: how robots help multidisciplinary approaches under cooperative learning. ABP workshop, Madrid.