

en los métodos de gestión de esta variabilidad intra-parcelaria.

La primera fase consistirá en medir, con la mayor precisión, cómo y cuánto varían las características del suelo y de la planta en cada zona, para después determinar la influencia de tales variaciones en la cantidad y la calidad de la producción y, finalmente, establecer qué tecnología se debe utilizar para gestionar eficazmente esta variabilidad.

Como todas las nuevas técnicas que se pretenden introducir en la actividad agraria, la agricultura de precisión sólo estará justificada si las ventajas económicas y medioambientales que se obtienen con ella, compensan el esfuerzo económico y tecnológico que supone su implementación.

Como norma general podremos considerar que la inversión que requiere la implantación de la agricultura de precisión está justificada en las grandes explotaciones, donde el coste por hectárea es menor que en las pequeñas. También estará justificada en cultivos intensivos de gran valor añadido y en aquellas explotaciones con un alto nivel tecnológico, tanto en equipos como en instalaciones, capaces de aprovechar la información obtenida para optimizar la utilización de insumos, reducir costes de utilización de las máquinas y

mejorar el rendimiento de las parcelas en función de su capacidad productiva.

Proyección internacional

La agricultura de precisión ha despertado desde sus comienzos un gran interés a nivel internacional. El planteamiento surgió en la segunda Conferencia Internacional sobre Gestión Localizada de los Sistemas de Producción Agraria celebrada en 1994 en Minneapolis (Minnesota-USA). En este Congreso se presentaron los sistemas de gestión agrícola que proponen un tratamiento diferencial de las parcelas en función de las características o de las condiciones del suelo. Para ello hay que identificar y analizar la variabilidad espacial y temporal del suelo dentro de cada parcela, y con esta información, adoptar las decisiones adecuadas para obtener la máxima rentabilidad dentro de los límites marcados por la sostenibilidad y el respeto al medio ambiente.

En Europa esta nueva filosofía también ha tenido muchos defensores desde el principio.

La primera Conferencia Europea sobre Agricultura de Precisión tuvo lugar hace diez años en la Universidad de Warwick (Rei-



no Unido) y desde entonces se ha venido celebrando cada dos años en un país diferente.

Sexta Conferencia Europea sobre Agricultura de Precisión

Del 3 al 6 del mes de junio tuvo lugar en la isla de Skiathos (Grecia) la sexta Conferencia Europea sobre Agricultura de Precisión y tercera sobre Ganadería de Precisión. Asistieron cerca de 500 representantes de la industria, de las universidades, de las empresas comercializadoras de equipos y sistemas electrónicos, de los Centros de investigación y de las Administraciones tanto nacionales como comunitarias.

Aunque la Conferencia tuvo el calificativo de europea, en ella participaron investigadores y profesionales de 35 países de todo el mundo.

La representación española estuvo formada por profesores de las universidades Politécnica de Madrid, Politécnica de Cataluña, Universidad de Lleida y del Instituto para la Agricultura Sostenible del CSIC. Por parte de la industria acudieron representantes del Grupo Inland (sistemas de control para maquinaria agrícola, GPS, GIS y topografía).

Se presentaron más de trescientas comunicaciones, de las que el Comité de Revisión seleccionó 132 para ser expuestas oralmente y cerca de cien se destinaron a la presentación en forma de póster.



ULTIMAS NOVEDADES EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Variabilidad espacial: suelo

En los países donde se produce una parcelación excesiva de las explotaciones agrarias, las técnicas de gestión diferencial del terreno de cultivo no han tenido mucha justificación, por lo que su aplicación ha sido muy limitada. Sin embargo, se han realizado experiencias muy interesantes en pequeñas explotaciones frutícolas griegas donde se ha demostrado que la aplicación diferencial de fertilizantes en manzanos, según el tipo de suelo, han aumentado la cantidad y la calidad de la cosecha.

También se han obtenido resultados positivos en la aplicación no uniforme del riego por aspersión en suelos arcillosos de Australia; de nitrógeno en campos de trigo de Normandía (Francia); en la aplicación de distintas técnicas de laboreo en Canadá y en la determinación de la humedad, de la materia orgánica y de la textura de los suelos mediante la utilización de las técnicas de espectroscopia por infra-rojos y de la conductividad eléctrica aparente en Alemania y Bélgica. También se han aplicado satisfactoriamente las técnicas que relacionan la topografía (lomas, ondulaciones, valles, etc.) con la textura, humedad, resistencia al corte, materia orgánica y nutrientes del suelo y su correspondiente traslado a mapas de rendimiento.

La aplicación de los sistemas de inducción electromagnética (EM38) y los de emisión de rayos gamma en la elaboración de mapas de cosecha han sido una herramienta eficaz en Alemania y Australia.

Variabilidad espacial: cultivo

Se ha demostrado que la aplicación variable y localizada de los fertilizantes según las necesidades del cultivo aumenta la eficacia en la utilización de los nutrientes y mejora la producción.

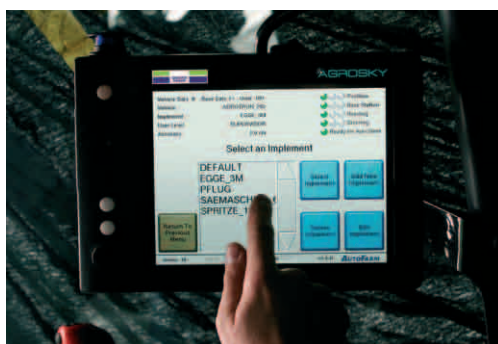
Esto se hace más evidente en la aplicación de nitrógeno a los cultivos, como han comprobado los investigadores de la Universidad de Negev (Israel) en campos de patata, los de la Universidad de Múnich (Alemania) en cultivos de trigo o los de la Universidad Católica del Sacro Cuore (Italia) en remolacha.

La utilización de sensores en los satélites, también conocidos por CHRIS (*Compact High Resolution Imaging Spectrometer*) han resultado ser la mejor herramienta para determinar la distribución espacial de la clorofila en las masas de cultivo y su relación con el estado vegetativo y sanitario de las plantas. Científicos de la Universidad Ludwig Maximilian de Múnich han desa-

rollado un método para medir las pequeñas variaciones del cambio climático mediante las modificaciones de la cubierta vegetal en el paisaje. El modelo, denominado PROMET (*Process Oriented Multiscale Evapo Transpiration model*) utiliza el balance energético entre la superficie terrestre, la radiación absorbida por las hojas, las pérdidas de calor por convección y conducción y el calor latente procedente de la transpiración de las hojas. El modelo PROMET necesita la información geográfica básica proporcionada por un sistema GIS, así como otros parámetros relativos al tipo de suelo y de vegetación.

Variabilidad espacial: trazado de mapas

El aumento de la salinidad del suelo por las aguas de riego es la causa de la pérdida gradual de cosecha y de la progresiva degradación del suelo en zonas áridas y semiáridas. El Instituto de Investigación Agraria de Bari (Italia) ha desarrollado un modelo probabilístico

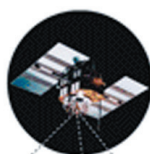




AUTOFARM SYSTEM

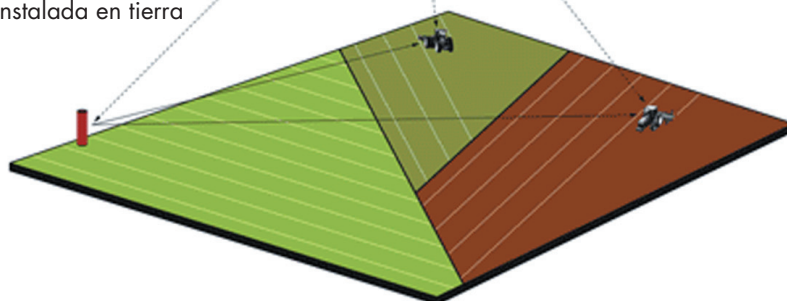
Estación Base instalada en tierra

SATÉLITES GPS



AUTOFARM DISPLAY

Antena GPS instalada en el vehículo



basado en multivariantes geoes-tadísticas y en sistemas de infor-mación geográfica para medir la variabilidad espacial de la salini-dad del suelo y así poder generar mapas de las zonas con mayor riesgo de salinización.

La introducción de datos po-co precisos en los modelos utili-zados en agricultura de precisión generan errores que se pueden propagar en las sucesivas aplica-ciones. La Universidad de Curtin (Australia) ha diseñado un mode-lo de simulación para calcular y comparar la propagación de erro-res en distintas aplicaciones GIS.

No siempre es fácil relacio-nar la experiencia práctica, el co-nocimiento teórico y los factores que influyen en el comporta-miento humano. Investigadores de las universidades de Thessaly, Patras y Epyrus (Grecia) están trabajando en la aplicación de las teorías de la lógica difusa en la confección de mapas intelligen-tes como herramienta para ayu-dar a la toma de decisiones en agricultura de precisión.

Cada vez más se están utili-zando receptores RTK-GPS en tractores y cosechadoras equipa-dos con sistemas de autoguiado. Los datos de posición y de altura proporcionados por estos siste-mas son muy precisos y pueden

**TODAVÍA NO
EXISTE UN MÉTODO DE
ENSAYO QUE PERMITA
EVALUAR EL
FUNCIONAMIENTO DE
LOS DISTINTOS
SISTEMAS
DISPONIBLES**

servir para la confección de mo-delos digitalizados del terreno (DTM). El departamento de Cien-cias Biológicas del Imperial Col-lage de Londres, junto con cien-tíficos alemanes de la Universi-dad de Múnich están trabajando en la elaboración de mapas digi-talizados que contienen informa-ción física, agronómica y biológi-ca partiendo de datos obtenidos con un escáner láser de alta pre-cisión combinado con un siste-ma de autoguiado por RTK-GPS.

Muchas veces el problema de la realización de mapas de co-secha se centra en establecer los distintos niveles productivos en los que es técnicamente via-

ble y económicamente rentable la aplicación de las técnicas de tratamiento diferencial dentro de cada parcela.

La creación de mapas de alta resolución es cara ya que requie-re multitud de datos. La Universi-dad de Skara (Suecia) propone la utilización de la espectrografía por reflectancia de infra-rojos pa-rra reducir el número de análisis requeridos en la confección de mapas con la precisión suficien-te para ser utilizados en las ex-plotaciones agrícolas.

■ Sensores

Los sensores telemétricos láser se han utilizado en muchísi-mas aplicaciones industriales aunque relativamente poco en agricultura. El Instituto Leibniz de Investigación Agrícola (Alemania) ha diseñado un vehículo porta a-peros que incorpora un sistema telemétrico con sensores láser que es capaz de determinar la al-tura del cultivo, el grado de co-ber-tura vegetal y la densidad de biomasa, utilizando los principios básicos de triangulación y tiem-po de propagación de la señal propios de estos sensores.

Las aplicaciones de la visión artificial en agricultura requieren



de técnicas fiables que permitan diferenciar claramente el tipo de planta que se analiza. El Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas de la Universidad de Keimyung (Corea) ha desarrollado un sistema que permite capturar tres de los cuatro colores básicos (rojo, verde y azul) en un cultivo de cereal con una cámara digital de alta resolución. Las imágenes obtenidas permiten identificar las plantas de trigo y las de malas hierbas para después enviar esta información a un sistema robotizado que procede a la eliminación de estas últimas. Una técnica parecida ha sido desarrollada por la Universidad de Wageningen (Holanda) para distinguir las plantas de patata, procedentes del cultivo anterior, en las plantaciones de remolacha.

La temperatura y la humedad del suelo son factores que influyen directamente en la germinación de las semillas y en el desarrollo radicular de la planta. Conocer en todo momento estos valores nos permitirá analizar el estado del cultivo y estimar el nivel de la cosecha. La Universidad de Helsinki (Finlandia) propone la utilización de unos microsensores que se 'siembran' en el suelo y permanecen en la parce-

la durante varios años, incluso después de las labores de arado y preparación del suelo. Estos sensores son radiotransmisores subterráneos que mandan la señal a una estación receptora situada cerca de la parcela. Los sensores se pueden colocar hasta 25 cm de profundidad y mandan la señal hasta 120 m de distancia. Al no tener cables, no importa que los sensores cambien de posición durante el laboreo del suelo.

En Alemania están trabajando en la determinación de rendimientos de cosecha de bulbos,

tubérculos y raíces mediante la utilización de tecnología radar de banda ancha con alto poder penetrante. El sistema permite diferenciar las señales procedentes de patata, cebolla o remolacha de las generadas por el entorno a la misma profundidad.

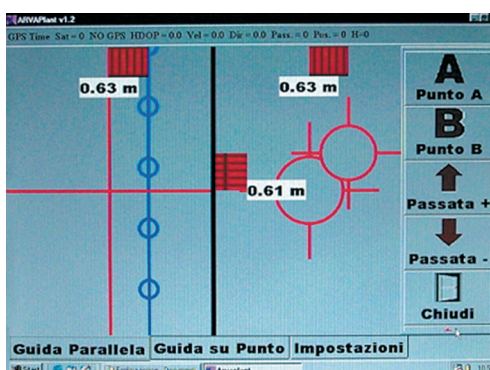
El Instituto de Ingeniería Agrícola de Upsala (Suecia) realiza una toma rápida de datos de campo mediante la instalación de una cámara en un pequeño avión teledirigido por radiofrecuencia; la ventaja del sistema es que los datos están permanentemente actualizados y son baratos de obtener.

El estrés hídrico en algunos cultivos, como el algodón, se puede cuantificar mediante el análisis de imágenes ópticas combinadas con imágenes térmicas obtenidas con cámaras de rayos infra-rojos (Instituto de Ingeniería Agrícola Bet Dagan de Israel).

Nuevos equipos utilizados en agricultura de precisión

La Universidad Católica de Leuven (Bélgica) está trabajando en un sistema que permite medir la velocidad de salida de los gránulos de fertilizante despedidos por una abonadora de discos rotativa. La técnica consiste en aplicar un modelo de balística que, combinado con una cámara de alta velocidad y un estroboscopio, permite medir la velocidad y la dirección de los granos, lo que nos dará el nivel de cobertura de la aplicación del fertilizante.

La Universidad de Nebraska (USA) es famosa por haber puesto en marcha el primer código de ensayo de tractores agrícolas. Aunque los sistemas de autoguiado en tractores y máquinas



 **EL SISTEMA
GLOBAL DE
NAVEGACIÓN POR
SATÉLITE EUROPEO
ABRIRÁ NUEVAS
POSIBILIDADES PARA
LA AGRICULTURA A
PARTIR DE 2012** 

agrícolas han experimentado un gran desarrollo en los últimos años, todavía no existe un método de ensayo que permita evaluar el funcionamiento de los distintos sistemas disponibles. El Laboratorio de ensayo de tractores de Nebraska (NTTL) ha realizado un ensayo comparativo de dos sistemas de guiado automático, uno equipado con un sensor potenciométrico lineal (LPS) y otro con un sistema RTK-GPS. Los dos sistemas analizados respondieron satisfactoriamente y los errores de guiado estaban dentro de los valores que previamente se habían estimado. En ambos casos se utilizó un carro de ensayos arrastrado sobre una pista normalizada.

La Universidad de Aarhus ha realizado varios ensayos utilizando maquinaria convencional equipada con un sistema de autoguiado comercial (Autofarm RTK Autosteer) en cereales de invierno en Dinamarca. Los resultados han demostrado que es posible hacer un diseño estadístico válido que permita realizar ensayos y establecer diferencias significativas aceptables con este tipo de máquinas y equipos.

La aplicación de robots en la agricultura está despertando gran interés en los últimos años.

La combinación de nuevas tecnologías de comunicación, de sistemas de posicionamiento global (GPS) y de sistemas de información geográfica (GIS) han permitido a muchos investigadores diseñar nuevos vehículos robotizados para realizar labores y tratamientos en cultivos de alto valor añadido y en actividades paisajísticas. En Dinamarca, Grecia, Reino Unido y USA se han aplicado con éxito robots en control de malas hierbas, mantenimiento de zonas verdes y corte de césped en campos de golf. El coste de la mano de obra en cada país determinará el desarrollo futuro y la viabilidad económica de este tipo de robots.

parcela, establecer unas trayectorias predeterminadas y evitar el tráfico aleatorio que supondría una compactación generalizada de la parcela. Estas técnicas han resultado eficaces en fincas de producción ecológica en Holanda, donde se ha obtenido un incremento de las producciones unitarias.

■ Desarrollo futuro

Con la puesta en marcha (previsible en 2012) del sistema global de navegación por satélite europeo (GNSS-2), conocido como galileo se abrirán nuevas posibilidades para la agricultura de



Los sistemas de guiado de tractores y máquinas con tecnología RTK-DGPS han resultado muy eficaces en la logística y ordenación del tráfico en las labores de cosecha de cereales y retirada del grano de las parcelas cuando se utilizan varias máquinas y varios remolques en una misma parcela.

La compactación producida por las ruedas de los tractores y las máquinas es una de las causas de pérdida de fertilidad de los suelos. Los sistemas de guiado automático permiten planificar estacionalmente el flujo de vehículos que circulan sobre una

precisión. El nuevo sistema añadirá 30 satélites más a la constelación existente formada por GPS y GLONASS, su utilización será gratuita. En combinación con los sistemas existentes permitirá una mayor autonomía, una mejor cobertura, mayor precisión, mayor número de frecuencias disponibles para uso civil y mayor fiabilidad de servicio. Sólo falta que los distintos países, Administraciones, empresas y demás agentes involucrados en el proyecto se pongan de acuerdo y proporcionen los medios necesarios para cumplir los plazos programados.■