

SITUACIÓN ACTUAL Y POSIBILIDADES DE LA AGRICULTURA DE PRECISION

Emilio Gil
Escuela Superior de Agricultura de Barcelona
Universidad Politécnica de Catalunya

INDICE

¿ES LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN UNA NUEVA TECNOLOGÍA?	3
PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN	4
DIFERENTES MEDIOS DE ACTUACIÓN	6
MODULACION BASADA EN LA UTILIZACIÓN DE CARTOGRAFÍAS DE PREDICCIÓN	8
La importancia de la posición	8
Los captadores: elementos clave para la toma de datos	13
El problema del manejo de la información	19
AGRICULTURA DE PRECISIÓN BASADA EN LA MODULACIÓN EN TIEMPO REAL	22
EQUIPOS ADAPTADOS A LA MODULACIÓN EN CONTINUO	24
Trabajo del suelo	24
Equipos para fertilización	26
Equipos de siembra y plantación	28
Protección de cultivos	30
Otras aplicaciones	33
LA VITICULTURA DE PRECISIÓN	33
LA DIFÍCIL VALORACIÓN DE LA INVERSIÓN	36
LA SITUACIÓN REAL	42
MANEJO E INTERCAMBIO DE LA INFORMACIÓN	44
CONCLUSIONES	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

La creciente preocupación medioambiental y la necesidad de producir alimentos de calidad de una manera sostenible y respetuosa con el entorno pone al sector agroalimentario en el punto de mira de la sociedad. Los últimos problemas acaecidos en el sector pecuario, de graves e irreversibles consecuencias en algunos casos, no son precisamente un buen ejemplo a seguir e inciden de forma negativa en la opinión que externamente se tiene del sector agrario. Desgraciadamente todavía son numerosas las voces que opinan que la agricultura debe seguir desarrollándose de manera tradicional, sin pensar en las consecuencias negativas de seguir aplicando viejas tradiciones en un sector determinado mientras que el resto de actividades experimenta una continua evolución.

Cuando el agricultor debe hacer frente a un sector competitivo, con demandas cada vez más exigentes, precios cada vez más ajustados y exigencia de alimentos de mayor calidad, la aplicación de nuevas tecnologías es una obligación y una necesidad.

El trabajo que se desarrolla a continuación trata de analizar desde el punto de vista práctico y formativo todos los aspectos que intervienen en el complejo proceso de adaptar los últimos avances tecnológicos a la agricultura de nuestras condiciones. En las líneas siguientes se exponen los principios fundamentales en los que se basa la agricultura de precisión, se analizan los últimos avances aplicados actualmente a las distintas operaciones agrícolas (fertilización, siembra, protección de cultivos y recolección básicamente), se analiza un aspecto fundamental como es el de la dificultad de evaluar económicamente el proceso y, finalmente, se intenta ofrecer una visión de la situación actual de la mecanización agraria en nuestras condiciones y las posibilidades de adaptación a los previsibles y posiblemente obligados cambios a realizar en este tercer milenio que ahora empieza.

¿ES LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN UNA NUEVA TECNOLOGÍA?

Para contestar a esta pregunta definiremos previamente lo que se entiende por agricultura de precisión: **“Agricultura de precisión es efectuar la intervención correcta, en el momento adecuado y en el lugar preciso”**. Esta definición, que en si misma no aporta nada nuevo, engloba todos aquellos parámetros relacionados con la agricultura de precisión. Efectuar la intervención correcta significa aportar la dosis de nitrógeno adecuada, depositar la cantidad de semilla necesaria o distribuir la cantidad de fitosanitario requerida; el momento adecuado está relacionado con la mayor o menor automatización de la acción, es decir, el poder modificar las cantidades de producto anteriormente relacionadas en el instante que ello sea necesario, y no únicamente al inicio de la labor; y si todo ello se realiza en el lugar preciso, teniendo en cuenta no solo la variabilidad entre parcelas, sino también la variabilidad intraparcelsaria, de más difícil gestión, estamos consiguiendo los objetivos que implícitamente aparecen en la definición.

¿Queremos decir con esto que, sin la utilización de las modernas tecnologías, hasta ahora el agricultor no era preciso? Todo lo contrario. Desde los inicios, la agricultura y, con ella el agricultor, ha ido modificando sus hábitos en el sentido de ir adaptándose a las necesidades del momento y teniendo claros siempre los objetivos. Las bases de la agricultura de precisión – variabilidad espacial y temporal del suelo y de los factores que afectan al cultivo- son aspectos ya tenidos en cuenta a lo largo de la historia de la agricultura. Una de las primeras referencia bibliográficas que podemos citar la encontramos en la Biblia, en la parábola del sembrador (Mateo, 13 v 8). Ya en este caso se pusieron de manifiesto las consecuencias de la variabilidad

espacial en los rendimientos del cultivo. Otra cosa es que las disponibilidades de materiales hagan esta consecución de objetivos más o menos complicada y difícil. Sin embargo, aspectos como la utilización de sembradoras de precisión, la modificación de las dosis de nitrógeno, de forma visual, en función del conocimiento previo de las parcelas, el ajuste de las dosis de semillas en función del tipo de suelo, la variación de los volúmenes de fitosanitarios basada en las necesidades puntuales, son en sí mismas una agricultura de precisión. Por lo tanto, más que hablar de un concepto nuevo y revolucionario, hablaremos de la agricultura de precisión como una serie de elementos y sistemas que permiten mejorar, facilitar y automatizar todas aquellas operaciones que de forma más o menos habitual se vienen ya practicando.

Tener en cuenta la variabilidad en el manejo de los cultivos implica usar como base del razonamiento aquellas zonas en el interior de la parcela que presentan características diferenciadas. La dificultad de esta práctica estriba actualmente en la adecuada identificación de estas zonas y en la toma de decisiones adecuadas. En este sentido, las nuevas tecnologías utilizadas por la agricultura de precisión pretenden sustituir esta práctica “visual” por sistemas como el GPS (Global Positioning System), la utilización de imágenes de satélites, el empleo de captadores, etc. cuyo objetivo es el de mejorar y facilitar la determinación y conocimiento de estas variabilidades presentes en el interior de las parcelas.

Para el agricultor la modulación intraparcilaria puede referirse por una parte al conjunto de operaciones culturales a desarrollar (trabajo del suelo, fertilización, siembra, protección de cultivos, riego,...) y por otro al conjunto de los cultivos de la explotación (cultivos extensivos, forrajeros, cultivos industriales, ...). En cualquier caso estas técnicas diferenciadas se aplicarán siempre y cuando se establezca claramente su necesidad **agronómica**, se cuente con los equipos **tecnológicamente** adaptados y resulte interesante desde el punto de vista **económico**.

La agricultura de precisión puede considerarse pues como un paso más hacia la precisión de las operaciones culturales manteniendo como objetivos el incremento de la competitividad de los productos (en calidad y cantidad) y el mantenimiento de la protección medioambiental.

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA AGRICULTURA DE PRECISION

La rápida evolución que la mecanización de la agricultura ha experimentado en las últimas décadas ha tenido como consecuencia ciertas evoluciones de distinto signo. Desde el punto de vista positivo podemos citar el aumento de la productividad del trabajo, la mejora de las condiciones y el mejor aprovechamiento de las materias primas a nivel de parcela. Por el contrario como aspectos negativos podemos citar, y a consecuencia de este aumento de la productividad, una mayor dificultad para la obtención de información a nivel de parcela (las explotaciones y las capacidades de trabajo de los equipos son cada vez mayores) y una cada vez más difícil tarea de dar respuestas puntuales adaptadas a los condicionantes.

Las nuevas tecnologías puestas al alcance del agricultor, ligadas con la agricultura de precisión, van a comportarse como unos “**ojos suplementarios**” (captadores instalados sobre los equipos o sobre los satélites) encargados de observar las parcelas y generar información para la elaboración de las bases de datos, herramienta imprescindible de ayuda a la toma de decisiones en cuanto al sistema productivo. Además, esta tecnología va a actuar como una

“**memoria suplementaria**” para el almacenamiento y análisis (Sistemas de Información Geográfica) de la masa de información generada por los captadores. Y finalmente, y sobre la base de una necesaria respuesta diferenciada teniendo en cuenta la variabilidad intraparcelar, es preciso que el agricultor disponga de unos “**brazos suplementarios**” capaces de accionar en el momento preciso los mecanismos necesarios para modificar las condiciones de trabajo de los equipos.

La agricultura de precisión puede aplicarse como tal a nivel de parcela (en sentido catastral del término) en el caso de un tipo de actuación como la que se concibe habitualmente, es decir mediante la elección de una dosis media y un sistema de regulación del equipo idéntico para el conjunto de la parcela, independientemente del tamaño y heterogeneidad de la misma. Sin embargo, cuando se tiene en cuenta la anteriormente mencionada variabilidad intraparcelar, es decir, cuando se realiza una actuación modular, la toma de decisiones debe analizar previamente la heterogeneidad dentro de la parcela, por lo que la regulación de los equipos esta basada en tres etapas:

- Una primera fase de identificación cuantitativa y cualitativa de la variabilidad, agrupando las zonas en base a su homogeneidad para una determinada operación cultural.
- Una segunda fase de análisis del impacto que una actividad diferenciada en cada zona puede generar, teniendo en cuenta criterios agronómicos.
- Una tercera fase de ejecución modular de las diferentes operaciones

Es en estas tres fases donde hacen acto de presencia las “ayudas suplementarias” anteriormente citadas:

- Para la primera fase los diferentes tipos de captadores son los encargados de analizar las características diferenciales de cada zona. Los datos así obtenidos pasaran a formar parte de la base de datos utilizada en posteriores actuaciones.
- Para la segunda, avanzados sistemas informáticos van a permitir la utilización adecuada de estas bases de datos y, juntamente con modelos agronómicos adecuados, establecer las características diferenciales en cuanto a regulación de los equipos.
- La tercera fase necesita elementos capaces de variar en continuo la regulación de las máquinas para la realización de un aporte modular de las materias primas.

La agricultura de precisión se muestra como una de las mejores herramientas a utilizar en los sistemas productivos del tercer milenio como consecuencia de la optimización de los inputs, la reducción de costes medioambientales, el incremento de la precisión en la producción y la incorporación de la trazabilidad en el proceso, término de creciente demanda por parte del consumidor y la legislación en general. Sin embargo existen todavía tres barreras importantes que deben ser solucionadas antes de su plena implementación:

- a) La agricultura de precisión implica “intensidad de información”. La elaboración de mapas de suelos, cultivos, rendimientos y factores ambientales que afectan a la producción final genera un elevado volumen de información que junto con los conocimientos propios derivados de la experiencia, las variabilidades climáticas y las exigencias del mercado hacen imprescindible el desarrollo de herramientas de integración de la información y sistemas expertos de soporte a las decisiones, debiendo estos en cualquier caso presentar unas condiciones de estandarización de datos y transferencia de información adecuados.

- b) Se observa actualmente un déficit en cuanto a los criterios de selección de los procedimientos racionales a aplicar y las estrategias a seguir para la determinación de las necesidades basadas en la variabilidad intraparcelsaria, así como una ausencia de validaciones científicas en cuanto a los beneficios generados. Estas deficiencias deben subsanarse apoyándose irremediabilmente en análisis detallados del suelo y del cultivo, así como en trabajos de investigación y experimentación agronómica.
- c) La obtención de datos relativos al suelo, cultivo y condiciones ambientales en general resulta todavía una labor costosa en tiempo e inversión. Es preciso el desarrollo de sistemas de sensores capaces de generar de forma precisa, rápida y barata la información necesaria. Hasta que no se solucione el problema de la adquisición de datos, la agricultura de precisión no podrá practicarse de forma generalizada.

Se trata por tanto de una actuación multidisciplinar que involucra sectores como el agronómico, el informático, el mecánico y el electrónico. Es preciso pues el desarrollo de actividades de investigación conjunta capaces de poner a disposición del agricultor medio las enormes posibilidades de este nuevo, y al mismo tiempo antiguo, sistema de producción.

DIFERENTES MODOS DE ACTUACION

El principio de actuación en el que se fundamenta la agricultura de precisión es perfectamente adaptable a cualquier otra actividad. Tras una primera fase de **determinación** de las necesidades, o lo que es lo mismo, toma de datos y acopio de información, se pasa a una segunda fase de **análisis** e interpretación de los datos obtenidos para, a partir de ellos, establecer un procedimiento de **actuación** de acuerdo con las necesidades cambiantes en el tiempo y en el espacio.

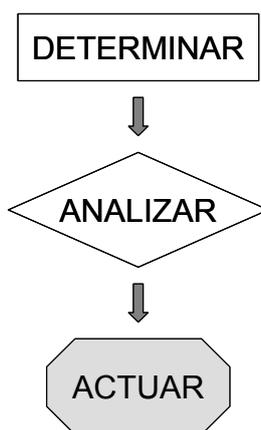


Figura 1. Principio general de la agricultura de precisión

Según este esquema general (Fig. 1), pueden establecerse dos tipos fundamentales de organización de la agricultura de precisión: el primero de ellos podemos catalogarlo como un sistema cíclico o cerrado, en el que las diferentes fases tienen lugar en diferentes periodos de

tiempo mientras que el segundo tipo se puede definir como una secuencia lineal, abierta y en la que las fases coinciden prácticamente en el tiempo. El primero de los sistemas se fundamenta en la utilización de cartografías de predicción acumuladas a lo largo del tiempo mientras que el segundo podemos definirlo como una aplicación diferencial modular en tiempo real.

La puesta en practica de cualquiera de estas dos variantes de agricultura de precisión implica la utilización de herramientas y tecnologías con diferente nivel de desarrollo, independientes entre sí pero completamente ligadas desde el punto de vista de consecución del objetivo final. Pueden establecerse cuatro niveles de tecnologías a utilizar:

1. Elementos o sistemas que permiten la determinación exacta de la posición de los equipos agrícolas durante el trabajo. Se trata de los **Sistemas de Posicionamiento Global (GPS)**.
2. Materiales capaces de detectar y almacenar la información referente a la variabilidad intraparcalaria. Los denominados **captadores**.
3. Herramientas de gestión georeferenciada de la información parcelaria. Son los denominados **Sistemas de Información Geográfica (SIG)**.
4. Tecnologías capaces de controlar automáticamente los equipos agrícolas, de forma que se pueda **modificar en continuo las condiciones de regulación** de los mismos.

Tabla 1. Herramientas fundamentales de la agricultura de precisión

SISTEMAS DE LOCALIZACION GPS Y DGPS	El GPS permite conocer la posición de un vehículo en la parcela. Está basado en la utilización de un conjunto de satélites. Teniendo en cuenta las "interferencias" es necesario disponer, además de un receptor GPS, de una señal de corrección para obtener una precisión de medida compatible con los requerimientos agrícolas. Se habla entonces de un dGPS o GPS diferencial
CAPTADORES DE RENDIMIENTO	Asociados a un sistema GPS permiten la realización de cartografías de rendimiento, utilizables para posteriores razonamientos de actuación.
OTROS CAPTADORES DE ADQUISICION DE INFORMACION (SUELO, PLANTA, CLIMA)	Sistemas más o menos automatizados capaces de recoger y almacenar información sobre los distintos aspectos de la parcela (textura del suelo, contenido de humedad, contenido en M.O y nutrientes), la planta (nivel de clorofila,...) y el clima. Se convierten en "ojos suplementarios" del agricultor.
SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG)	Paquetes informáticos que permiten tratar la información de diversas fuentes en su conjunto y establecer de forma ordenada la información relativa a un punto determinado
MODELOS DE AYUDA PARA LA TOMA DE DECISIONES	Para cada una de las operaciones culturales, existen diferentes modelos de ayuda basados en las características agronómicas de los cultivos y en los datos obtenidos con los captadores.
SISTEMAS PARA MODULAR LAS DOSIS DURANTE EL TRABAJO	A partir de las cartografías establecidas, estos sistemas permiten la modificación en continuo y en tiempo real de las características de trabajo de los equipos.

MODULACION BASADA EN LA UTILIZACIÓN DE CARTOGRAFIAS DE PREDICCIÓN

Probablemente se trate del sistema más conocido y el que primero se desarrolló. Basado en el famoso ciclo de la agricultura de precisión (Fig. 2) esta metodología se apoya fundamentalmente en dos principios: conocimiento exacto de la posición del móvil en la parcela en un instante determinado y toma de decisiones a partir del análisis de una cantidad más o menos importante de información obtenida a lo largo de los años.

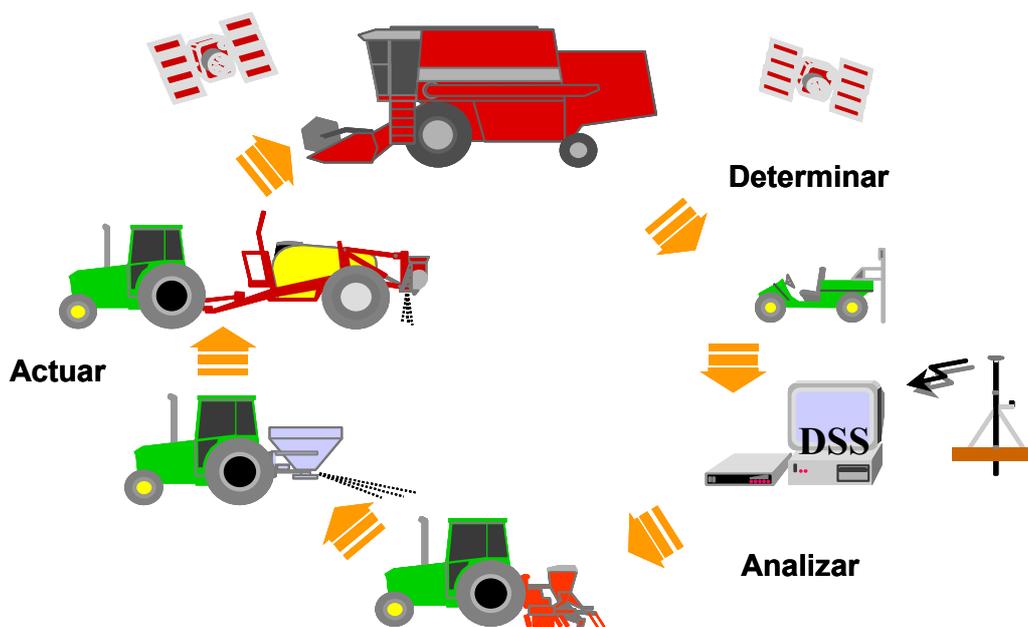


Figura 2. Ciclo de la agricultura de precisión basada en la utilización de cartografías de predicción

Según se observa en el ciclo, y como ya hemos comentado anteriormente, se trata de una actividad cíclica de feedback o retroalimentación. La información acumulada en años precedentes acerca de la variabilidad del medio (rendimiento de los cultivos, contenido de nutrientes en el suelo, disponibilidades de agua, topografía, ...) sirve de base para el establecimiento de modelos de actuación diferencial en la parcela básicamente en actividades ligadas con la aplicación de insumos (fertilizantes, semillas y fitosanitarios). Esta aplicación modular genera a su vez nuevos resultados que pasan a incrementar el volumen de información.

La importancia de la posición

El conocimiento de la posición exacta es el elemento clave de esta modalidad de agricultura de precisión. En la mayoría de los casos el conocimiento de dos coordenadas x-y (longitud y latitud) es suficiente. Sin embargo en algunas ocasiones es necesario conocer una tercera

coordenada z (elevación). La necesidad de precisión en la determinación de la posición depende principalmente del tipo de actividad a realizar (tabla 2).

Tabla 2. Requerimientos de precisión en la posición según tipo de actividad

Precisión	Función	Ejemplos
± 10 m	Navegación	Mapas de cultivos y de bosques
± 1 m	Ejecución de tareas Información Documentación	Mapas de rendimientos, fertilización, muestras de suelo y malas hierbas, acciones específicas en áreas protegidas
± 10 cm	Conducción de vehículos	Control de solapamientos, conducción de cosechadoras
± 1 cm	Manejo de aperos	Control mecánico de malas hierbas

(Auerhammer y Schueller, 1999)

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) está fundamentado en la utilización de un conjunto de 24 satélites puestos en órbita por el Departamento de Defensa de los EEUU. La posibilidad de utilización de estos satélites con fines no militares permite la recepción de señal de al menos 4 de estos satélites en cualquier punto de la superficie terrestre. De este modo se puede obtener información exacta acerca de la posición de un determinado móvil (coche, tractor, cosechadora,...). Pero, ¿en que se fundamenta el sistema? La base del GPS es la triangulación. A partir de la determinación de la distancia entre un punto determinado de la superficie terrestre y al menos tres satélites de órbita conocida, puede establecerse la situación exacta de dicho punto. Supongamos que la distancia de un punto determinado de la superficie a un satélite de posición conocida es de 18.000 km. Es evidente que es necesaria más información ya que cualquier punto del espacio que forme parte de una esfera de radio 18.000 km y que tenga por centro el satélite en cuestión cumplirá el requisito anterior. Es necesaria pues una segunda determinación de la distancia del punto en cuestión a otro satélite (por ejemplo 19.000 km). Tenemos ahora otra esfera de radio 19.000 km que cumple esta segunda condición. La intersección de ambas esferas dará lugar a un círculo, en el que todos los puntos cumplirán los dos requisitos anteriores. Si realizamos una tercera determinación referida a un tercer satélite situado, por ejemplo, a 20.000 km, el abanico de posibilidades se reduce a un par de puntos, coincidiendo con los puntos de intersección de esta tercera esfera y el círculo anterior. En consecuencia, a partir de la determinación de las distancias de un punto determinado a tres satélites de posición conocida podemos determinar dos únicos puntos que cumplen las condiciones. Para decidir cual de estos dos puntos se corresponde con la distancia correcta se podría realizar una cuarta determinación. Sin embargo en la mayoría de los casos uno de estos dos puntos genera una respuesta inverosímil (situado muy lejos de la superficie terrestre) y puede ser despreciado directamente.

Hemos visto hasta ahora que la posición de un punto determinado se establece a partir de su distancia a, de momento, tres satélites. Pero, ¿cómo se determina esta distancia de un punto determinado a tres objetos que permanecen en órbita en el espacio? En principio la respuesta es simple. Basta con determinar el tiempo que tarda en llegar una señal enviada desde el satélite al punto objetivo. Si recordamos la ecuación de la cinemática que relaciona distancia con velocidad y tiempo el problema está prácticamente resuelto sabiendo que la velocidad de desplazamiento de la señal emitida por el satélite se corresponde con la velocidad de la luz (300.000 km/s). Sin embargo, la medida del tiempo no resulta trivial. En primer lugar estamos ante magnitudes del orden de 0.06 s, por lo que resulta imprescindible la utilización de relojes

realmente precisos. Asumiendo este hecho, la mejor manera de explicar el proceso de medida del tiempo es mediante un símil: supóngase por un momento que existe la posibilidad de recibir la señal acústica de una determinada melodía desde el satélite y que esta se inicia a las 0.00 horas. Al mismo tiempo esta misma melodía se empieza a emitir desde el propio receptor de señal instalado en el móvil. Dada la distancia que tienen que recorrer las ondas desde el satélite lo que ocurriría es que oíríamos un cierto desfase entre las dos emisiones. Las dos melodías estarían desfasadas un determinado espacio de tiempo debido al retraso producido por la distancia. El tiempo de retraso que es necesario ajustar en el receptor para conseguir una perfecta sincronización de las melodías se corresponde exactamente con el tiempo que tarda la señal del satélite en alcanzar el objetivo. Lo que realmente ocurre es que el satélite y el receptor emiten no una melodía sino una señal denominada "Codigo Pseudo-Randomizado". Este señal (CPR) es uno de los elementos fundamentales del GPS. Se trata de un código realmente complicado de señales binarias cuya complejidad tiene dos objetivos: en primer lugar garantizar que el receptor no confunda la señal con cualquier otra emisión o la de cualquier otro satélite. En segundo lugar la complejidad evita el riesgo de distorsiones intencionadas, lo que garantiza al Departamento de Defensa de los EEUU la restricción de acceso al sistema.

Pero existe además otra razón fundamental para dicha complejidad del CPR, crucial para que la utilización del GPS resulte viable económicamente. La estructura del código hace posible la aplicación de la "teoría de la información" para amplificar la señal del satélite, no siendo por tanto necesarias grandes antenas receptoras en el equipo instalado en el móvil.

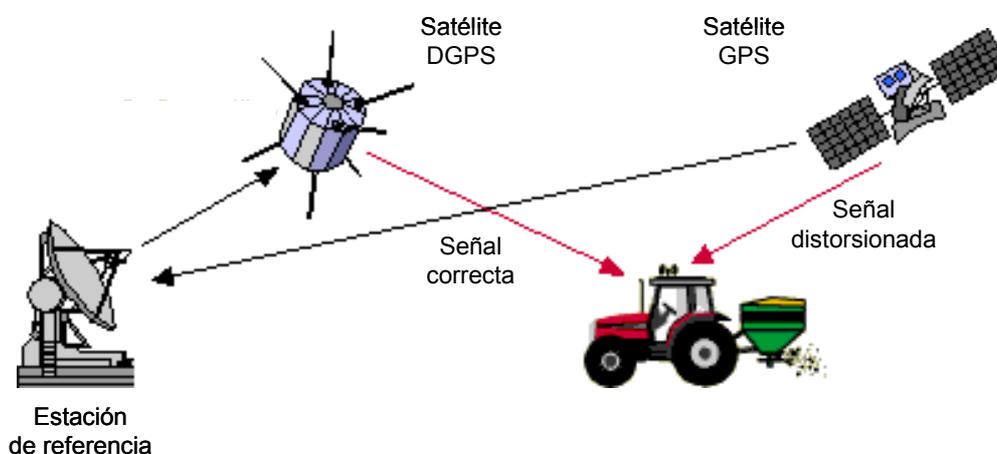


Figura 3. Esquema de funcionamiento de la señal DGPS mediante la utilización de un cuarto satélite

Si con tres determinaciones hemos situado correctamente la posición del móvil en la superficie terrestre, ¿por qué es necesaria una cuarta determinación? Teniendo en cuenta las imprecisiones naturales del sistema ligadas a fenómenos meteorológicos y a "ruidos" introducidos deliberadamente por el Departamento de Defensa de los EEUU como medida de seguridad, es necesario disponer, además de la señal GPS, de una señal de corrección para poder obtener una precisión compatible con la mayoría de las operaciones agrícolas. Hablamos entonces de DGPS o GPS diferencial. Sin esta señal de corrección la precisión es del orden de 30 a 100 m mientras que con la corrección podemos hablar de precisión inferior a 1 m en

función de equipamiento utilizado. Esta señal de corrección puede obtenerse de diferentes maneras (Fig. 3):

- Baliza fija próxima al sistema y con un coste demasiado elevado para un único agricultor.
- Baliza costera, de recepción gratuita pero no disponible lejos de la costa y con una imprecisión constante a medida que aumenta la distancia.
- Prestación de servicios emitiendo la señal por la banda de FM o a partir de un satélite específico. Esta resulta la opción más utilizada por su fiabilidad y economía (se estima un coste anual de 600 € (100.000 PTA).

Existe sin embargo otra alternativa que incrementa notablemente la precisión en la determinación de la posición. Se trata del RTK (Real Time Kinematic) o GPS cinemático. Para la realización de determinadas labores en campo como el trabajo entre líneas de cultivos, la siembra o el levantamiento de mapas topográficos, la resolución alcanzada por el DGPS no es suficiente. Se necesita en estos casos precisiones a nivel de centímetros, y no únicamente en relación con la posición horizontal, sino en las tres dimensiones. El GPS cinemático determina la posición exacta del móvil midiendo el desfase de la señal entre la transmisión y la recepción. Sin embargo la utilización de esta modalidad de recepción de señal no está demasiado extendida en agricultura debido, entre otros motivos, a los riesgos de pérdida de señal en determinados momentos del ciclo. Para el correcto funcionamiento del sistema es necesaria la actuación de cómo mínimo cinco satélites, lo que en determinados momentos o situaciones no está actualmente garantizado. Sin embargo las características y ventajas potenciales que ofrece el RTK-GPS inducen a prever una generalización en su uso en un futuro próximo.

En la actualidad dos son los sistemas de satélites disponibles, el GPS (Global Positioning System) desarrollado por los Estados Unidos y el GLONASS (Global Navigation Satellite System) perteneciente a Rusia. En el primer caso la resolución de la posición obtenida ha sido hasta ahora limitada intencionadamente por motivos de seguridad, por lo que es necesaria la incorporación del sistema diferencial o corrector. Sin embargo un comunicado de prensa de la Casa Blanca en Washington (<http://www.whitehouse.gov/library/PressRelease.cgi?date=0>) emitido en fecha reciente (1 de mayo de 2000) indicaba que estas distorsiones desaparecían en esta fecha. La señal recibida por el sistema GLONASS no presenta actualmente ningún tipo de distorsión intencionada pero un aspecto a tener en cuenta, dada la actual situación político-económica del país, es la fiabilidad y las garantías de continuidad en el funcionamiento del sistema. En la tabla 3 se muestran las características más importantes de los dos sistemas de satélites.

En cuanto a las características principales del elemento receptor de la señal, cabe señalar que la mayoría de los actualmente empleados reciben la señal a través de 12 canales y presentan una precisión inferior a 1 metro. Como ejemplo podemos señalar los diferentes modelos de receptor que ofrece actualmente la firma Trimble Navigation Limited. La elección de uno u otro modelo deberá hacerse en función, básicamente, de aspectos como la relación precisión/coste, la fuente de emisión de la señal diferencial, la compatibilidad y la adaptación a los condicionantes de trabajo en campo (<http://www.trimble.com/precise>). Cuando se elige un receptor de GPS una de las características más importantes a tener en cuenta es la precisión. Existen notables diferencias en el coste entre un receptor con una precisión de 1 metro y otro con una precisión de centímetros. La elección deberá realizarse en función del tipo principal de actividad a desarrollar. En cuanto a la fuente de emisión de la señal diferencial, sigue teniendo

importancia ya que a pesar de la desaparición hace ahora un año de las distorsiones intencionadas creadas por el Departamento de Defensa, la precisión máxima alcanzada sin señal de corrección es de aproximadamente 10 metros, lo que resulta insuficiente para la mayoría de las actividades agrícolas (por ejemplo sistema de guiado de los equipos). Por esta razón la elección entre la recepción de señal diferenciada a partir de radiobalizas costeras, satélites comerciales (<http://www.racal-landscape.com>) o WAAS (Wide Area Augmentation System) es un factor importante en función de la localización del área de trabajo.

Tabla 3. Configuraciones de GPS y GLONASS

	GPS- NAVSTAR	GLONASS
Nombre	Global Positioning System-NAVigation System by Time And Range	GLObal NAVigation Satellite System
Propietario	USA Departamento de Defensa	Rusia Departamento de Defensa
Satélites	24	24
Órbitas	6	3
Altitud (km)	20,183	19,100
Coordenadas	WGS 84	SGS 85
Precisión aproximada para el sector civil (m)	100 ¹	35

¹Con degradación intencionada.
(Auerhammer y Schueller, 1999)

La compatibilidad del receptor con otros equipamientos utilizados en agricultura de precisión es otro elemento fundamental a tener en cuenta. Este debe tener suficiente capacidad para conectarse a los diferentes equipos y además debe permitir sin problemas de incompatibilidad la exportación de datos a otros sistemas. Finalmente hay que tener en cuenta que las condiciones de trabajo de estos aparatos no son precisamente las más adecuadas (elevadas temperaturas, vibraciones, polvo,...) por lo que el equipo deberá garantizar una gran resistencia y capacidad de trabajo en estas condiciones.

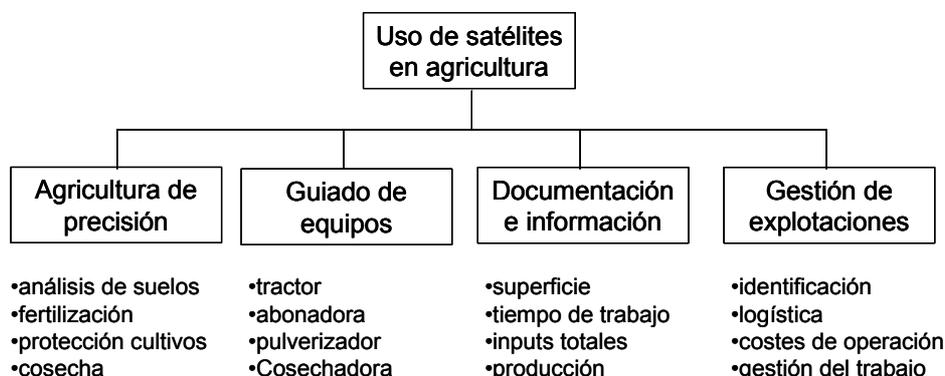


Figura 4. Posibilidades de utilización de los satélites en agricultura

Los captadores: elementos claves para la toma de datos

La situación actual y el nivel de desarrollo de los sistemas captadores de información sigue siendo el cuello de botella de la agricultura de precisión. Hemos visto hasta ahora el grado de evolución y precisión del sistema de posicionamiento global, su fiabilidad y la generalidad en la recepción. Veremos posteriormente el nivel de desarrollo que presentan los equipos agrícolas actuales y su posibilidad de modificar en continuo las condiciones de trabajo en función de las necesidades. Sin embargo queda todavía mucho trabajo a realizar en el desarrollo de sistemas capaces de obtener información puntual y fiable de la variabilidad intraparcularia.

La utilización de captadores, en su función principal de multiplicadores de los ojos del agricultor, debe suponer un sistema de adquisición de información intraparcularia de forma exhaustiva, sin intervención humana y al menor coste. La información (cualitativa o cuantitativa) generada por los captadores puede hacer referencia a:

- la planta
- el suelo y las malas hierbas
- las enfermedades
- el clima

El principal objetivo de la actividad agrícola es la producción final. De ahí que los primeros captadores aparecidos en el mercado fueran sistemas capaces de determinar las variaciones de rendimiento en el interior de la parcela. La incorporación de sensores de diferentes características y funcionamiento (volumétricos, másicos,...) en el interior del tubo elevador de grano de las cosechadoras de cereales (Fig. 5) permite, junto con otras medidas correctoras como el contenido de humedad del grano y la densidad, el establecimiento de la cantidad de flujo de materia por unidad de tiempo. Combinando esta información con otra como anchura de corte, velocidad de avance y posición exacta de la cosechadora en un instante determinado (utilizando para ello el sistema GPS) es relativamente simple la obtención de mapas de rendimiento de las parcelas (Fig. 6).

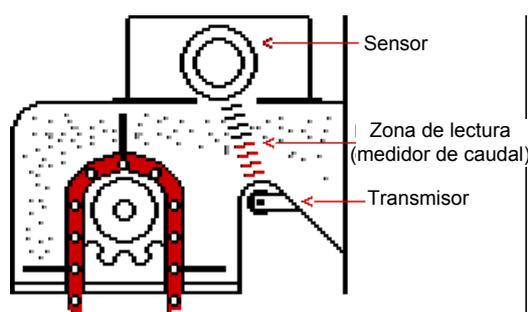


Figura 5. Sensor de flujo de cosecha ubicado en el sinfín de alimentación de la cosechadora

La rápida evolución de estos sistemas experimentada en la pasada década y el constante desarrollo llevado a cabo por los grandes fabricantes de cosechadoras ha hecho incrementar de forma exponencial el número de equipos con posibilidad de generar mapas de cosechas, pasando de 1200 unidades en el año 94 a 17000 en 1997, según últimos datos disponibles (CEMAGREF). Esta misma fuente indica que en 1998 alrededor de 6 millones de hectáreas

han sido cartografiadas utilizando captadores de rendimiento ligados a sistemas de posicionamiento global.

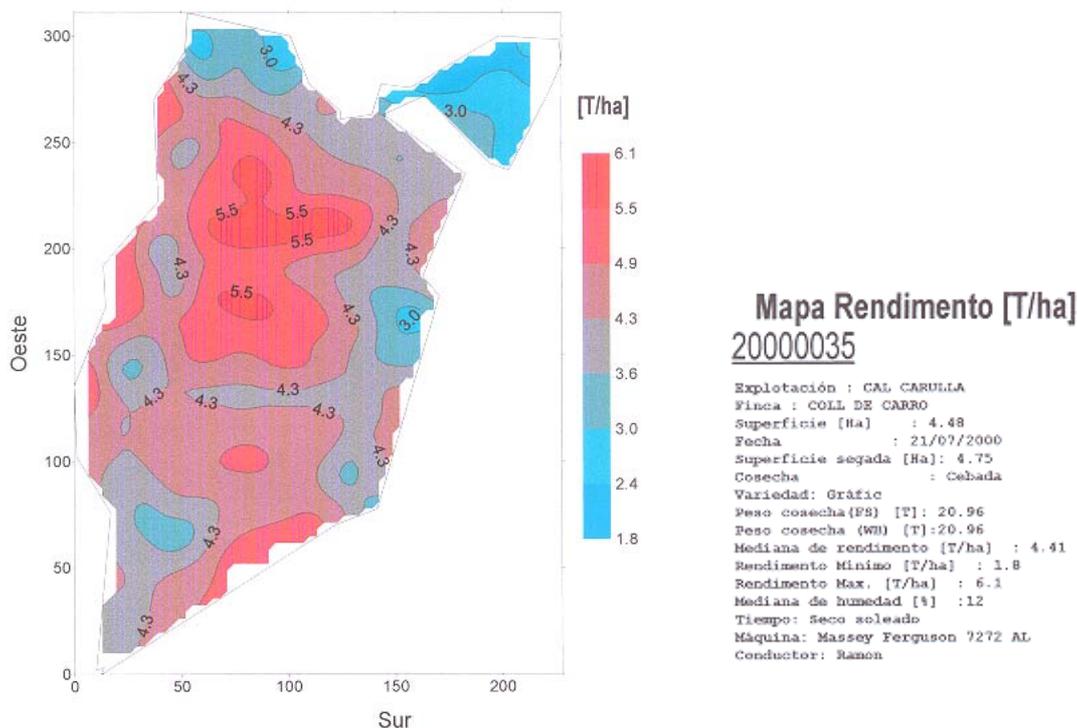


Figura 6. Ejemplo de mapa de cosecha en cereales de invierno. Finca de cebada en la provincia de Lérida.

Un reciente estudio publicado por el PAMI (Prairie Agricultural Machinery Institute) de Canadá (<http://www.pami.ca>) ofrece una guía adecuada de cómo realizar ensayos comparativos entre diferentes modelos de receptores GPS, ligados a sensores para el establecimiento de mapas de cosecha. En este trabajo se analizaron las características técnicas y las prestaciones de tres modelos diferentes de receptores, el Case IH AFS instalado en una cosechadora Case IH 2189, el John Deere Greenstar en una cosechadora JD 9610 y el AgLeader PF 3000 montado en una cosechadora John Deere 7720. Durante las pruebas de campo se evaluaron las características técnicas, la facilidad de regulación y ajustes y la precisión de las determinaciones, especialmente por lo que hace referencia a:

- fiabilidad en la medida de la cantidad de grano en la tolva
- precisión en la localización de la cosechadora en la parcela
- calidad del mapa de rendimientos elaborado

La comparación de los resultados en cuanto a lectura de la cantidad de grano en la tolva y cantidad real no presentó diferencias significativas entre los tres modelos analizados, manteniéndose las diferencias dentro del intervalo del $\pm 3\%$ en todos los casos.

En cuanto a la precisión en la determinación del lugar exacto de la cosechadora, en los tres casos las diferencias respecto a la posición real en la parcela fueron inferiores a 1 m, gracias a

la utilización de la señal DGPS. Esta precisión resultó suficiente para la realización de los mapas de cosecha en las diferentes parcelas analizadas.

Finalmente se realizaron pruebas de campo con el fin de evaluar la precisión a la hora de elaborar los mapas de rendimiento. Para ello se marcaron unas zonas determinadas en el campo, de una longitud conocida y variable (10, 20 y 40 pies) las cuales se segaron previamente (cosecha =0) o bien se incrementó la producción de forma artificial (cosecha =2x). El objetivo era el de analizar la precisión en la ubicación de estas zonas de rendimiento variable y conocido en los mapas de cosecha elaborados.

Los resultados globales indicaron que, debido al retraso en la medida detectada por el sensor (tiempo transcurrido entre el corte del producto por el cabezal y el momento de la lectura por el sensor) la situación de las zonas alteradas en el mapa de rendimiento presentaba diferencias en función del sistema utilizado (Fig. 7) aunque estas nunca fueron superiores a los 25 pies (7.6 m). El hecho de que esta longitud sea inferior a la anchura de trabajo de la mayoría de equipos adaptados a la aplicación modular (abonadoras y pulverizadores principalmente) hace que sea un error admisible.

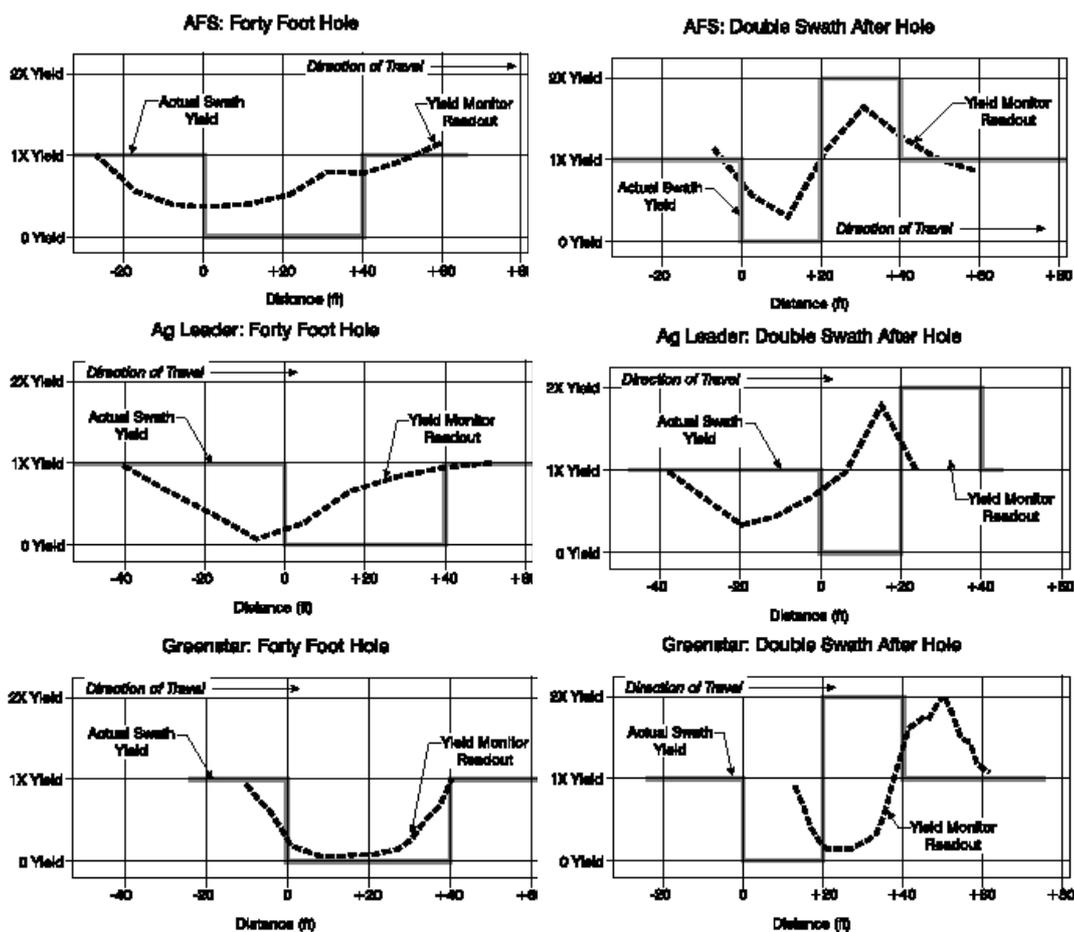


Figura 7. Resultados comparativos entre la producción real y la estimada por el sensor obtenidos con los tres sistemas analizados. Los resultados hacen referencia a la respuesta ante una zona de 40 pies de longitud (12 m) sin cosecha y a la respuesta ante variaciones bruscas de rendimientos (zona de doble producción inmediatamente después de una zona de 6 metros de longitud (20 pies) sin cosecha).

Si bien el desarrollo de los captadores de rendimiento y, en consecuencia, el establecimiento de los mapas de cosecha ha evolucionado principalmente en el caso de cultivos como los cereales de invierno, existen actualmente otras aplicaciones de más reciente aparición y que precisan todavía trabajos de investigación para su distribución comercial a gran escala. Es el caso por ejemplo de los captadores de rendimiento desarrollados para las cosechadoras de remolacha, basados en bandas transportadoras con sensores de peso, con la dificultad añadida de la corrección en función de las vibraciones y el grado de suciedad de las raíces, sensores de flujo de materia en los remolques autocargadores de forraje, lectores ópticos del flujo de cápsulas de algodón en cosechadoras, y sensores de peso en cosechadoras de cebolla y tomate (<http://www.innotag.com>).

El reto más importante actualmente se centra en el desarrollo de sistemas capaces de establecer mapas de rendimiento en lo que podemos llamar cultivos no continuos. Es el caso por ejemplo de cultivos como los frutales y la viña. La importancia de este último cultivo en nuestras condiciones y las posibilidades futuras de implementación de la denominada "viticultura de precisión" dan pie al desarrollo posterior de un capítulo independiente dedicado a este sector.

La variabilidad en el rendimiento del cultivo se complementa con informaciones específicas como contenido de materia orgánica y composición química del suelo, elaborada a partir de análisis de suelos, mapas topográficos, fotografías aéreas e incluso imágenes de satélites que permiten la diferenciación de zonas en función de la radiación emitida por el cultivo. En todos los casos el mayor problema reside en establecer un sistema práctico y abordable de toma de muestras y posterior análisis. La incorporación del sistema de posicionamiento global en equipos de toma de muestras de suelo (Fig. 8) facilita la elaboración de mapas de forma rápida y precisa.



Figura 8. Tractor equipado con sonda para la toma de muestras de suelo y receptor de señal DGPS. (fotografía del autor)

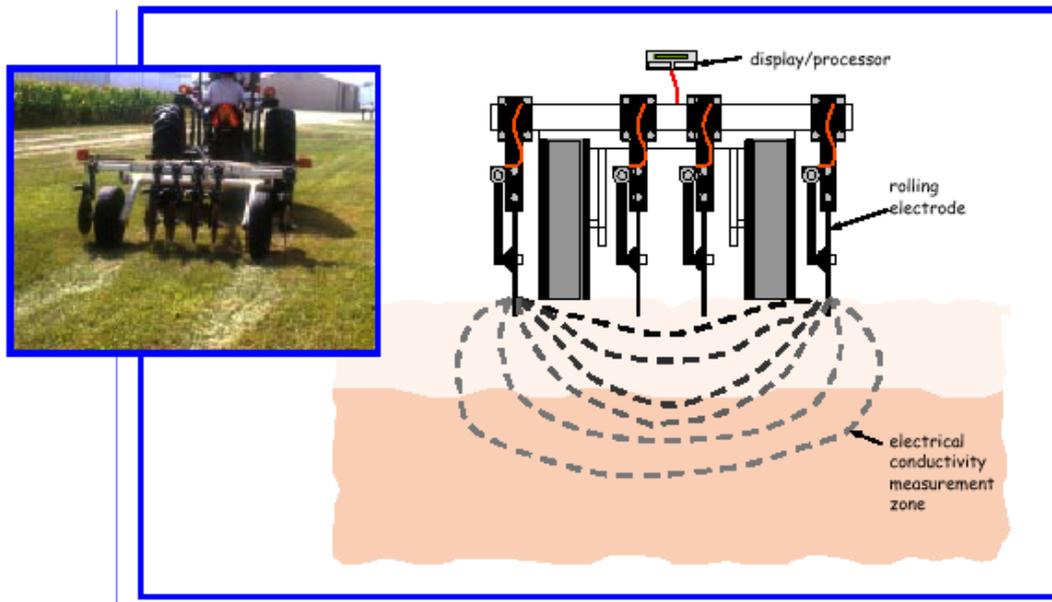


Figura 9. Sensor para la determinación de la conductividad eléctrica del suelo Veris ® (Ess et al, 2000).

El desarrollo actual en el campo de los sensores o captadores de información se plantea en base a dos principios fundamentales: implementación de sistemas capaces de obtener y almacenar información para su posterior interpretación y utilización y captadores de la variabilidad intraparcelaria en tiempo real que conducen a respuestas inmediatas, estos últimos propios de la modulación en tiempo real. En la tabla 4 se muestran los principales tipos de captadores y el tipo de información suministrada.

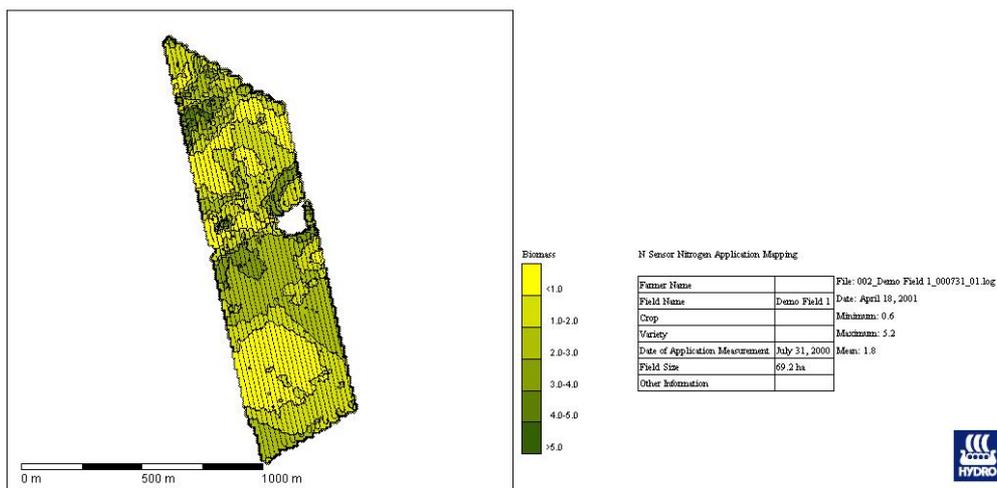


Figura 10. Mapa de cantidad de biomasa generado por el sistema N-Sensor, a partir de la lectura de la reflexión de la luz por el cultivo (<http://www.hydro-precise.com>)

Tabla 4. Tipos principales de captadores y principios de funcionamiento

Tipo de captador	Principio de funcionamiento	Información suministrada
Información sobre la planta		
Rendimiento en grano	Medida del flujo o volumen de grano (Case-IH, Claas, John-Deere, New Holland y Massey – Ferguson)	Asociados a un receptor GPS permiten la elaboración de mapas de rendimiento.
Rendimiento de remolacha y patata	Medida dinámica del peso (Kleine en Alemania para la remolacha y RDS en Canadá para la patata)	Asociados a un receptor GPS permiten la elaboración de mapas de rendimiento.
Contenido de clorofila del cultivo	Medida del contenido de clorofila de las plantas a partir de la reflexión de la luz (Hydro)	El captador utiliza la reflexión de la luz por el cultivo para la determinación de las necesidades de nitrógeno a partir de un software determinado. Adaptable a la modulación en tiempo real
Información sobre el suelo		
Zonas de fuertes contrastes en parámetros como la profundidad, la textura,...	Medida de la conductividad eléctrica del suelo (Veris en USA)	La información asociada a un receptor GPS permite obtener mapas de zonas diferenciales para la posterior toma de muestras de otros parámetros (profundidad, compactación)
Contenido en materia orgánica	Medida de la reflectometría por infrarrojos (Tyler en USA)	Captador que permite medir en tiempo real la tasa de MO en la superficie del suelo para el establecimiento de una aplicación modular de fertilizantes y fitosanitarios en función de los datos obtenidos.
Parámetros químicos	Electrodos rápidos deslizantes (Crop Technology en USA)	Capaz de determinar en los primeros cm de suelo, y en tiempo real, el contenido de M.O., la CIC, la humedad y el contenido en nitratos. Útil para la aplicación modular de fertilizantes.
Información sobre malas hierbas		
Detección de la presencia de vegetación	Medida de la reflectometría por infrarrojos (Detectspray-Concord en USA)	Permite la detección en tiempo real de la presencia de vegetación adventicia en un suelo desnudo.
Información global sobre el medio		
Fotos aéreas o imágenes de satélites	Medida de la reflexión de la luz natural en diferentes longitudes de ondas	Establecimiento de zonas heterogéneas en el interior de la parcela debidas, entre otras causas, al estado del suelo y del cultivo.

Fuente: Institut Technique des Céréales et des Fourrages (<http://www.itcf.fr>)

Aplicando el principio de que una visión global de la superficie permite un análisis más detallado de la variabilidad interna, la información basada en la teledetección ha experimentado

un auge importante en los últimos años. No se trata sin embargo de ninguna técnica de reciente invención. El análisis de las imágenes obtenidas por los satélites (Fig. 11) ha sido algo perseguido durante años. Como dato anecdótico podemos citar a uno de los novelistas de mayor prestigio en el campo de la intriga y el espionaje. Frederick Forsyth ya utilizó en la década de los 70 como elemento básico de información en su novela “*La Alternativa del Diablo*” las imágenes que obtenían los satélites americanos sobre las grandes zonas productoras de trigo en la antigua Unión Soviética para detectar importantes ataques de una determinada enfermedad y prever de este modo la más que probable escasez en el suministro de uno de los alimentos primarios. La investigación llevada a cabo en este sector y, por supuesto, la utilización de la información con otros fines, ha permitido que en la actualidad se puedan establecer conductas diferenciadas de actuación en campos como la aplicación de fertilizantes, el riego, el trabajo del suelo, la protección de cultivos o la determinación del estadio fenológico del cultivo en un momento determinado (Fig. 12). La información obtenida, basada fundamentalmente en la medida de los dominios espectrales de reflexión de la luz, posibilita el establecimiento de valores concretos para un importante número de variables biofísicas (tabla 5).



Figura 11. Fotografía del satélite “IKONOS”. Zona de pivots en Nebraska (USA)

Tabla 5. Variables físicas estimables por teledetección y su campo de utilidad. Los dominios espectrales a partir de los cuales se observan las variabilidades se indican en la última columna (VIS: visible; IRP: infrarrojo próximo; IRM: infrarrojo medio; IRT: infrarrojo térmico; microondas).

Aplicación	Variable biofísica	Dominio espectral
Fertilización nitrogenada	LAI (biomasa), clorofila	VIS, IRP
Riego	Temperatura	IRT
Trabajo del suelo/siembra	Humedad del suelo	Microondas
Estadio fenológico	LAI, estructura, temperatura	VIS, IRP, IRT
Ataque de parásitos	Clorofila, LAI, residuos	VIS, IRP, IRM
Fertilidad del suelo	LAI (biomasa), MO	VIS, IRP
Rendimiento	LAI, clorofila, temperatura	VIS, IRP, IRT
Calidad (proteínas)	Clorofila, LAI	VIS, IRP

Fuente: Institut Technique des Céréales et des Fourrages (<http://www.itcf.fr>)



Figura 12. Aplicación informática que permite la realización de determinaciones precisas directamente sobre imágenes de satélite. Fuente: <http://www.dtnearthscan.com>

El problema del manejo de la información

Si bien resulta imprescindible la obtención de información detallada que permita caracterizar y evaluar las heterogeneidades intraparcelsarias y la fuente de las mismas, no es menos cierto que, en muchas ocasiones, los problemas residen en el exceso de información y la falta de medios para su procesamiento. Ante este hecho, el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los simuladores de ayuda a la toma de decisión se presenta como un hecho primordial para el tipo de agricultura de precisión cíclica.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten superponer información obtenida a escalas diferentes de forma que la información correspondiente a una posición determinada de una parcela este formada por múltiples capas informativas superpuestas e interrelacionadas entre sí. Por ejemplo, el sistema posibilita el establecimiento de relaciones entre mapas de rendimientos elaborados en años diferentes a una escala determinada, con los datos obtenidos en la misma parcela en cuanto a profundidad del suelo y contenido de materia orgánica a otra escala diferente. En general, estos sistemas aglutinadores de información suelen comercializarse incorporados con los equipos receptores de la señal de satélite (GPS).

Un SIG destinado a su utilización con fines agrícolas debe poder:

- integrar los datos de diferentes fuentes de información para transformarlos en mapas directamente utilizables.
- aprovechar la información obtenida a partir de imágenes de satélites o fotos aéreas.
- establecer mapas de actuación diferencial para las distintas operaciones culturales, es decir, integrar los modelos agronómicos de decisión con la información obtenida.
- disponer de interfaces o “comunicadores” que permitan establecer relaciones directas con las distintas herramientas que intervienen (modelos agronómicos de ayuda a la toma de decisión, sistemas GPS,...) y su posterior transmisión a los equipos capaces de realizar la aplicación modular.

En cuanto a los modelos agronómicos de ayuda a la toma de decisiones, el desarrollo de “software” específico capaz de simular, en función de las particularidades del medio, el desarrollo del cultivo, las necesidades de fertilizantes, el rendimiento potencial de la cosecha, el riesgo de afectación ante determinadas plagas o enfermedades ha permitido el manejo cada vez más preciso y adecuado del gran volumen de información disponible. Resulta impensable en la situación actual que el agricultor pueda manejar de forma adecuada todo este volumen de información, junto con la propia experiencia adquirida a lo largo de los años. Sin embargo, estos sistemas deben contemplarse como herramientas intermedias o de ayuda, y deberá prevalecer siempre la decisión final del propio agricultor. Como ejemplo de este tipo de programas podemos mencionar el N-Plan o el NPKS-Plan, dos programas informáticos desarrollados y comercializados por Hydro (<http://www.hydro-precise.com>) para el establecimiento de planes de fertilización en cultivos como los cereales de invierno, la soja o la colza, o los programas de ayuda (<http://www.amazone.com>) para la gestión del abonado desarrollados por Amazone.

AGRICULTURA DE PRECISION BASADA EN LA MODULACION EN TIEMPO REAL

Probablemente sea esta forma de actuación la que más parecido presenta con la agricultura tradicional y la forma de hacer de los agricultores. Retomando el símil comentado en líneas precedentes aquí el agricultor recibe ayuda en forma de “ojos suplementarios” que le permiten detectar variabilidades intraparcelarias imperceptibles al ojo humano, para, de forma inmediata, entrar en funcionamiento los “brazos suplementarios”, es decir elementos eléctricos o hidráulicos que permiten la modificación en continuo de las condiciones de regulación de los equipos (abonadoras, sembradoras, equipos de tratamientos fitosanitarios, segadoras,...).

Aparentemente esta segunda vía de aplicación de la agricultura de precisión resulta más sencilla y menos dependiente de agentes externos. Un análisis exhaustivo de esta metodología pone de manifiesto algunas ventajas a tener en cuenta:

- independencia de sistemas de posicionamiento global: al establecerse de forma inmediata el mecanismo de detección-respuesta, no precisa la determinación de la posición del móvil en la parcela, por lo que desaparece la dependencia de los sistemas GPS.
- la actuación diferencial se realiza en tiempo real y en base a información específica del momento, por lo que no es necesario el acopio y manejo de información de campañas anteriores. No se precisa por tanto de Sistemas de Información Geográfica (SIG).
- no es imprescindible, aunque si aconsejable, la transmisión de información entre las diferentes operaciones a realizar en una misma parcela.

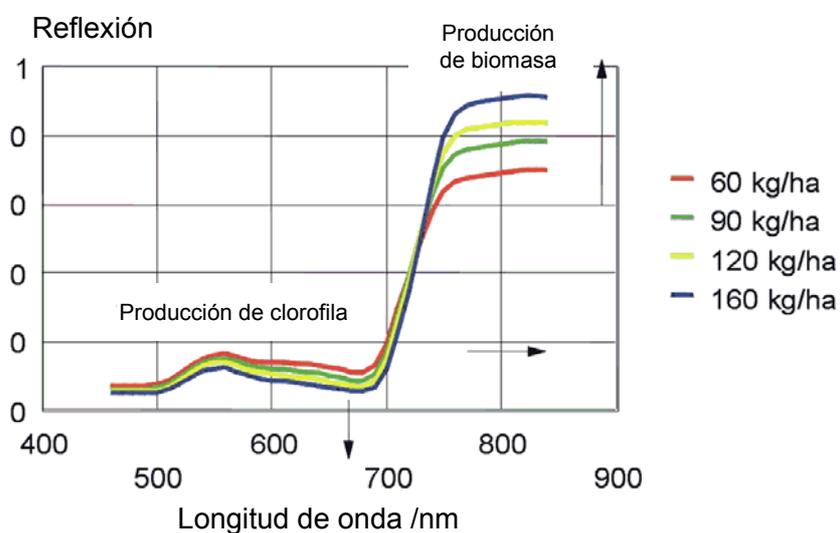


Figura 13. Principio de funcionamiento del N-Sensor. La reflexión de la luz por el cultivo, relacionada directamente con la cantidad de clorofila y la cantidad de biomasa, es traducida en tiempo real en necesidades de nitrógeno, modificándose las condiciones de funcionamiento de la abonadora en base a las lecturas del sensor.

Sin embargo, el retraso en el desarrollo e implementación de esta alternativa está directamente ligada con algunos de los inconvenientes que presenta:

- dependencia total y absoluta del tipo y calidad de captador utilizado: la única fuente de información proviene de la lectura directa del sensor o captador por lo que un error en la precisión de la medida lleva a actuaciones contrarias a las necesarias. El problema actual reside en la dificultad de desarrollar este tipo de captadores.
- necesidad de contar con sistemas de interpretación y traducción de la información de forma eficaz y rápida. Es evidente que existe una relación agronómica entre el nivel de clorofila de una planta y sus necesidades de nitrógeno. Pero cuando este nivel de clorofila se determina de forma indirecta a partir del grado de reflexión de la luz, es imprescindible el desarrollo de programas de traducción de estos datos a unidades de fertilizantes necesarias, y que esta traducción sea correcta.
- rapidez de respuesta: si la aplicación modular se realiza “*on time*” es preciso que la información obtenida por el sensor se interprete de forma rápida y eficaz y que esta interpretación se transmita, eléctrica, electrónica o mecánicamente, al elemento final actuador (apertura de la tolva de la abonadora, disco de la sembradora, boquilla del pulverizador,...). Cualquier retraso en la respuesta se traduce en una aplicación diferencial desfasada en el tiempo y, en consecuencia, en el espacio.



Figura 14. *Pulverizador Detectspray equipado con sensores ópticos para la detección de malas hierbas*

Independientemente de los condicionantes anteriormente expuestos, existen ya en el mercado a nivel comercial ejemplos de este tipo de aplicación de la agricultura de precisión:

- *N-Sensor*, presentado recientemente en la última edición de FIMA 2001 y catalogado como novedad técnica sobresaliente, compuesto por un conjunto de sensores y un “software” específico capaz de trabajar en tiempo real midiendo la luz reflejada por el cultivo y transformando esta información en cantidad óptima de nitrógeno por unidad de superficie (Figs. 13 y 15).

- *Detectspray*, comercializado actualmente en Estados Unidos y Australia por la firma Condor, un pulverizador equipado con un radiómetro que trabaja en la longitud de onda entre el rojo y el infrarrojo, y que es capaz de detectar la presencia de malas hierbas en un suelo desnudo y aplicar herbicida en función de la lectura del mismo (Fig. 13).
- *Spot-Shot*, actualmente disponible únicamente en EEUU, sistema equivalente al anterior pero a partir de detección fotoeléctrica.
- Captador del nivel de materia orgánica comercializado por *Tyler*, con posibilidad de modificación de la cantidad de herbicida a aplicar en función del nivel de MO en suelo.

EQUIPOS ADAPTADOS A LA MODULACION EN CONTINUO

Tanto si se plantea la aplicación de la agricultura de precisión basada en el sistema cíclico como si se opta por la acción lineal de lectura-respuesta, es preciso disponer de equipos capaces de modificar en continuo y de forma automática las condiciones de trabajo. Probablemente sea este eslabón de la cadena el más desarrollado y el que mayores ofertas a nivel comercial presenta. De entre todas las operaciones a realizar, destacan por su avanzada tecnología los grupos de máquinas destinados a la distribución de insumos (fertilizantes, semillas y fitosanitarios) si bien el desarrollo de sistemas modulares para la regulación de aperos de preparación del suelo y equipos para la recolección de forrajes, entre otros, está experimentando un notable incremento en los últimos tiempos.

Trabajo del suelo

La evolución que han experimentado últimamente los sistemas de agricultura de precisión relacionados con las labores de preparación del suelo son ciertamente importantes. Bien a partir de cartografías relativas a parámetros como el nivel de compactación, la retención de agua, la profundidad del suelo o el tipo de textura, elaboradas a partir de la información recopilada en campañas precedentes, o bien mediante la utilización de sofisticados sensores basados en interpretaciones de imágenes, emisión de microondas o telemetría, aspectos como la velocidad de giro de los elementos accionados por la toma de fuerza, la profundidad de trabajo o la alineación de las pasadas puede modificarse en continuo atendiendo a la variabilidad en el interior de la parcela. Sin embargo se trata todavía de una serie de aplicaciones de escasa disponibilidad a nivel comercial, dada la sofisticación del tipo de sensores y el elevado coste de los mismos.

De entre los trabajos en curso más importantes podemos destacar el proyecto conjunto desarrollado por el INRA (Institut National de la Recherche Agroalimentaire) y el ITCF (Institut Technique des Céréales et des Fourrages) en Francia, en el sentido de establecer una relación entre la calidad y las exigencias de preparación del lecho de siembra y el estado de la superficie del suelo (tamaño y distribución de los terrones), ligado todo ello con la germinación y la nascencia de los cultivos. La cuantificación de la relación entre estos parámetros y otros como la tasa de infiltración, la escorrentía, el riesgo de formación de costra superficial y la evaporación permitirá la cuantificación directa del efecto del trabajo del suelo sobre la producción final.

Para la medida del estado superficial de la parcela se propone la utilización de diferentes tecnologías como el tratamiento de imágenes obtenidas en tiempo real durante el trabajo de los equipos y su posterior tratamiento informático. El mayor problema de este sistema radica en las condiciones de trabajo de los captadores de imágenes (vibraciones, polvo, orientación, sombras,...) y el efecto negativo o distorsionante que estos pueden generar. Otra alternativa es la medida del perfil del suelo mediante telemetría. A partir de la medida de la distancia entre el captador y la superficie del suelo se puede establecer el perfil superficial del mismo. En este caso es necesario establecer la relación entre la precisión de la medida y la distancia del captador, el tamaño de los terrones y la frecuencia de lectura en relación con la velocidad de avance. Actualmente se está utilizando un modelo de telemetría por infrarrojos, con una adecuada relación entre calidad de medida y coste del captador. Sin embargo queda todavía por resolver el problema de las condiciones de trabajo y como afectan a las lecturas. Especialmente importantes son en este caso las vibraciones del tractor y el apero y las consecuentes modificaciones de la distancia relativa entre sensor y superficie del suelo.

La alternativa que parece ofrecer las mejores prestaciones es la utilización de sensores que realizan la medida mediante la utilización de microondas. La utilización de ondas electromagnéticas en la banda de 1 a 10 GHz presenta notables ventajas para las aplicaciones en medios exteriores perturbados como es el caso de los trabajos de preparación del suelo: escasa incidencia de las condiciones atmosféricas (insensibles a la intensidad de luz, lluvia, polvo, posibilidad de trabajo nocturno,...), facilidad de control de las características de la onda emitida (potencia, frecuencia, polarización, ángulo de incidencia,...) y sobre todo acceso a información relativa a parámetros físicos como la humedad, la rugosidad y la tasa de biomasa, mucho mejor que la facilitada por los sensores de tipo óptico. La razón es que la mayoría de estos parámetros están directamente relacionados con la conductividad eléctrica, siendo necesario para su lectura la utilización de frecuencias situadas en la parte media del espectro electromagnético, coincidiendo con el de la emisión de microondas.

Tabla 6. Situación y perspectivas de la agricultura de precisión en labores de preparación del suelo

Operación cultural	Parámetros a considerar	Medios disponibles	
		Hoy	Mañana
Trabajo del suelo	Textura	-mapas de suelos -muestreo manual fijo -muestreo manual a partir de mapas de rendimientos o fotos aéreas	Toma de muestras a partir de información de la resistividad o la conductividad eléctrica
	Compactación	Apreciación visual a partir de fotos aéreas o experiencia previa	-sensores de medida de la resistividad, ondas de radar -muestreo en continuo a partir de información de la conductividad eléctrica
	Grado de desmenuzamiento	toma de muestras manual a partir de información previa	sensor óptico o electromagnético con interpretación de datos en continuo

Evidentemente se trata de líneas de investigación todavía no disponibles a nivel comercial, a diferencia de lo que se expondrá más adelante correspondiente a otros aspectos. Sin embargo es de prever que en un plazo corto de tiempo el agricultor pueda disponer de equipos de preparación del suelo (accionados o simplemente arrastrados) capaces de modificar en continuo los parámetros de regulación.

Equipos para fertilización

La disponibilidad actual de equipos capaces de modular en continuo las condiciones de aplicación de fertilizantes es amplia y variada. Marcas como Bogballe, Amazone, Vicon o Lely, entre otras, tienen ya en el mercado desde hace algún tiempo modelos de abonadoras equipadas con diferentes sistemas de control (volumétricos, másicos,...) que permiten la conexión directa al sistema GPS para la distribución de abono de acuerdo con un mapa de fertilización preestablecido. A partir de controladores del tipo CPA (caudal proporcional al avance) estos equipos incorporan elementos eléctricos o hidráulicos que son los encargados de modificar, finalmente, el grado de apertura del orificio dosificador del fondo de la tolva para ajustarlo a las variaciones de la velocidad y las diferencias de dosis reflejadas en el mapa de aplicación.

Es importante sin embargo reseñar las diferencias observadas en la presencia de este tipo de máquinas en función de las condiciones o países. Así, en las grandes zonas productoras de cereales de invierno como pueden ser Alemania, Dinamarca o Francia, es bastante frecuente observar este tipo de equipos. Países como Holanda, en los que las presiones medioambientales obligan a un estricto control de la calidad y cantidad de fertilizantes aplicados (especialmente nitrógeno) tienen también un elevado número de unidades en funcionamiento. Sin embargo, las características específicas, los rendimientos medios y el número de intervenciones necesario en nuestras condiciones hacen que todavía sea este un sector con un potencial de desarrollo y aplicación importante.

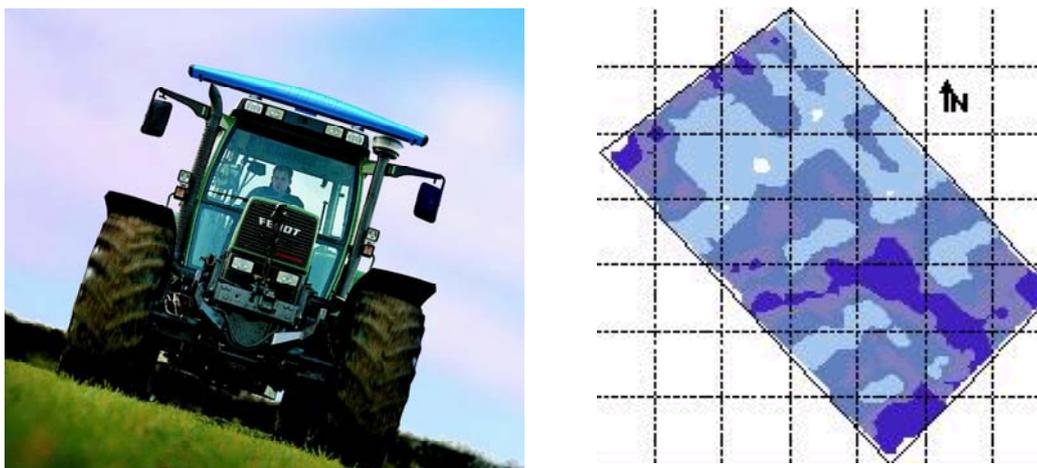


Figura 15. Tractor equipado con el sistema N-Sensor desarrollado por Hydro y mapa de fertilización nitrogenada generado a partir de la lectura de la reflexión de la luz.

Sin embargo existen todavía algunos aspectos a mejorar en este sector. Por una parte la aplicación modular se realiza modificando en continuo el caudal suministrado por la abonadora (kg/min). La combinación de este parámetro, con la anchura de trabajo y la velocidad de avance permite la distribución de la dosis (kg/ha) establecida. Las grandes anchuras de trabajo que caracterizan a estos equipos (siempre por encima de 18 m) obligan a establecer unidades de modulación de una superficie considerable, no coincidentes con el nivel de precisión alcanzado durante el establecimiento de los mapas de cosecha y mapas de fertilización. Es necesario por tanto el diseño de equipos que modulen la cantidad aplicada no solamente variando el caudal sino también variando la zona de distribución del mismo (anchura de trabajo y/o de distribución). Por otra parte deberá plantearse también el problema del solapamiento de dos pasadas contiguas, especialmente si las condiciones de regulación de estas no son coincidentes.

Otro aspecto a tener en cuenta, es el relativo al mantenimiento de las distancias entre pasadas. La ausencia de sistemas que permitan el marcado en la parcela del lugar exacto por donde debe circular el equipo, salvo que se utilice la técnica del tráfico controlado, hace que en muchas ocasiones la precisión buscada mediante la modulación de la dosis se vea enormemente afectada por fallos en el solapamiento entre dos pasadas consecutivas. En este sentido la utilización del GPS conjuntamente con un software específico para el guiado de equipos en campo resulta una de las últimas y más efectivas aplicaciones. Concretamente el modelo AgGPS170 Field Computer, desarrollado y comercializado por Trimble Navigation Limited incorpora un sistema de guiado que permite la conducción completamente paralela en campo durante las operaciones de preparación del suelo, fertilización, protección de cultivos y siembra, en función de las necesidades de la parcela (Fig. 16).

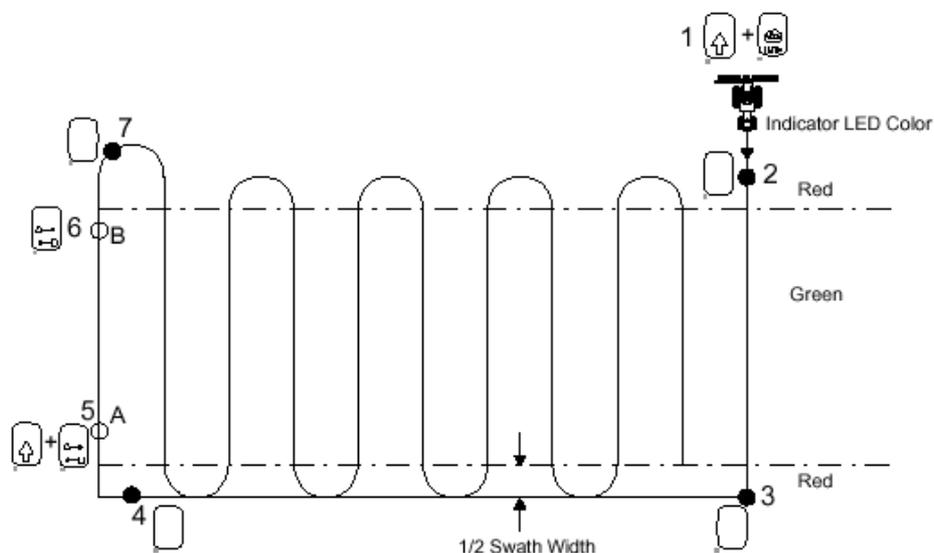


Figura 16. Esquema de funcionamiento del sistema de guiado en campo mediante la utilización de la señal DGPS.

Tabla 7. Situación y perspectivas de la agricultura de precisión en la aplicación de fertilizantes

Operación cultural	Parámetros a considerar	Medios disponibles	
		Hoy	Mañana
Abonado	<i>Cantidad a distribuir</i>	Rendimiento medio de la parcela	-mapa de rendimientos -estadio vegetativo
	<i>Nitrógeno en suelo</i>	Muestreo manual con patrón predeterminado	Captador tipo "electrodo rápido" con lectura superficial
	<i>Condiciones del cultivo</i>	Muestreo manual y análisis visual	-imágenes de satélite -captador del nivel de clorofila del cultivo
	<i>Materia orgánica</i>	Toma de muestras manual con puntos prefijados	Sensor de lectura en superficie o profundidad

Equipos de siembra y plantación

La distribución y colocación de la cantidad exacta de semilla en función de las características y potencialidades locales es ya un hecho para muchos fabricantes de sembradoras. *Nordsten* ha desarrollado una sembradora neumática equipada con un rodillo de alimentación de accionamiento eléctrico, capaz de modificar en continuo la cantidad de semilla distribuida según datos previamente establecidos. *Kongskilde* presentó hace unos años el sistema *Demeter*, un equipo electrónico de control de la dosis de semilla en función de los requerimientos específicos. Aplicado a una sembradora monograno, cada una de estas unidades controla 6 elementos de siembra de forma individual, con posibilidad de variación de la dosis a partir de la modificación de la distancia entre semillas. Una característica de este sistema es que puede ser accionado manualmente por el propio agricultor, o bien automáticamente, ligándolo a la señal proveniente de un DGPS.

Otra propuesta es el *Amasat D.A.T. "Dual Application Technique"* desarrollado por *Amazone*. Este sistema dual permite el control simultáneo e independiente, con una sola estación DGPS, de la cantidad de semilla y de fertilizante, manejando sendos mapas de siembra y fertilización previamente establecidos. Los mapas de siembra y fertilización previamente establecidos se introducen en el ordenador de a bordo de forma que, en continuo, el sistema pueda variar, de forma independiente, la cantidad de semilla depositada y la cantidad de fertilizante, sin ningún tipo de interacción entre ambas acciones (Fig. 17).

Otro ejemplo actualmente disponible en el mercado es el sistema de control desarrollado por *Kverneland-Accord* para las sembradoras monograno mecánicas modelo *Monopill* (Fig. 18), específicas para la siembra de remolacha. La incorporación de un controlador conectado a la señal GPS permite el ajuste individual de hasta 18 líneas de siembra mediante el control de la velocidad de los discos dosificadores de las semillas. Cada uno de estos discos incorpora un motor eléctrico de forma que, modificando la relación de velocidades entre la rueda de la sembradora y el disco dosificador, se consiguen distancias variables entre semillas dentro de la línea, o lo que es lo mismo, densidades de siembra diferenciales de acuerdo con la variabilidad intraparcularia.

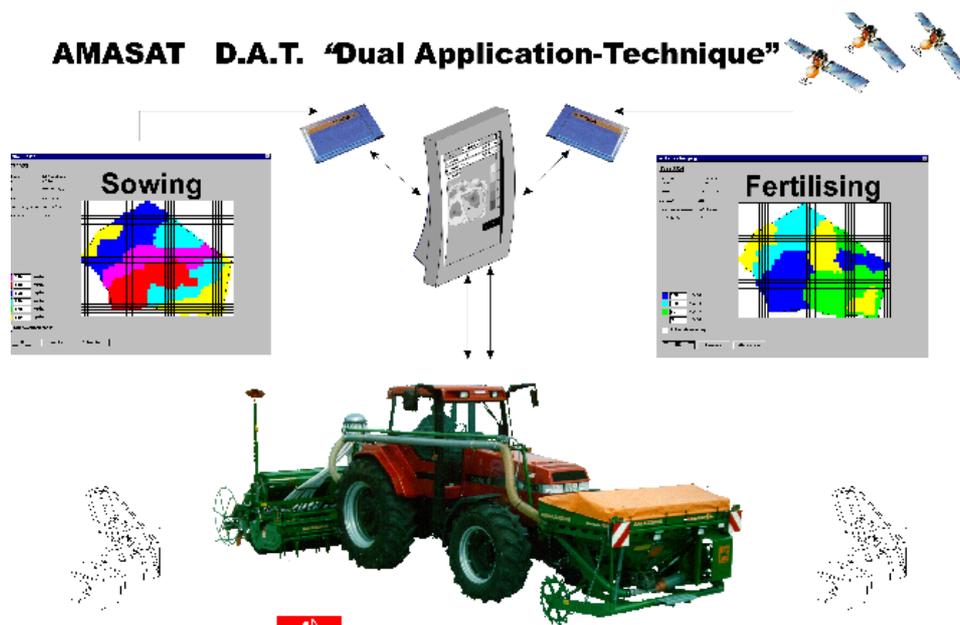


Figura 17. Esquema de funcionamiento del sistema Amasat D.A.T. de Amazone, para la gestión modular de equipos de siembra y fertilización

Tabla 8. Situación y perspectivas de la agricultura de precisión en labores de siembra

		Medios disponibles	
Operación cultural	Parámetros a considerar	Hoy	Mañana
Siembra	<i>Dosis de semilla</i>	-rendimiento medio de la parcela -condiciones generales del medio - variedad y época	-mapas de rendimientos -disponibilidad de nutrientes -mapas topográficos -contenido de humedad
	<i>Nivel de desmenuzamiento</i>	Sondeo manual con muestreos fijos	Captador en el apero (telemetría, análisis de imagen,...)
	<i>Textura</i>	-mapas de suelos -sondeo manual predeterminado -sondeo a partir de mapas de rendimientos	Sondeo manual o automatizado a partir de mapas de resistividad o conductividad eléctrica
	<i>Profundidad del suelo</i>	-mapas de suelos -sondeo manual predeterminado -sondeo a partir de mapas de rendimientos	Toma de muestras manual o automatizada a partir de mapas de rendimientos, imágenes de satélites o fotos aéreas



Figura 18. Sembradora monograno mecánica Kverneland Monopill equipada con motores eléctricos independientes en cada disco de siembra que permiten la modulación individual de la densidad de semillas.

Protección de cultivos

El tercer gran campo de aplicación de la tecnología propia de la agricultura de precisión concierne a la protección de cultivos. El reparto de la dosis correcta, la necesidad de reducción de los volúmenes de aplicación (y en consecuencia de las cantidades de productos fitosanitarios), la presión medioambiental y el coste económico de las aplicaciones, hacen de estas labores una de las más interesantes y justificadas en cuanto a la incorporación de sistemas y tecnologías que traten de incrementar la eficacia y la eficiencia de las mismas.

La aplicación puntual de plaguicidas, con el objetivo de distribuir en cada punto de la parcela únicamente la cantidad necesaria, cambia completamente la concepción actual, en la que la regulación de los equipos se realiza de forma homogénea para toda la parcela o incluso grupo de parcelas. Muchos fabricantes de equipos de tratamientos han desarrollado sistemas más o menos sofisticados que, solos o ligados con el consiguiente sistema de posicionamiento global diferencial, permiten modificar de forma automática las condiciones de trabajo del pulverizador. Un ejemplo de estos sistemas puede ser el controlador *Hardi Pilot*, desarrollado por *Hardi International* (<http://www.hardi-international.com>). Este sistema está basado en el ajuste de la dosis en función de la relación presión/velocidad. Es decir, a partir de la lectura del caudal, se modifican las condiciones de presión de forma que se mantengan en todo momento las condiciones preestablecidas de litros por unidad de superficie. Otros sistemas de control desarrollados por firmas como *Berthoud*, *Tecnoma*, *Vicon* o *Teejet* (Fig. 19) permiten, de forma similar a lo anterior, la aplicación diferencial de fitosanitarios de acuerdo a un mapa de aplicación establecido.

En cuanto al desarrollo específico de componentes adaptables a la aplicación selectiva de fitosanitarios, la boquilla se presenta como uno de los elementos clave. La evolución en la fabricación de boquillas debe ir encaminada a una nueva generación capaz de mantener el máximo de prestaciones en cuanto a calidad de pulverización (tamaño de gotas, uniformidad del espectro) independientemente de las modificaciones experimentadas en los parámetros de funcionamiento, propias de una aplicación modular. La utilización de boquillas de doble fluido (aire/líquido) permite una gran adaptación a las aplicaciones variables. La principal ventaja

estriba en la amplia variabilidad de caudal obtenida sin apenas modificar el espectro de pulverización.

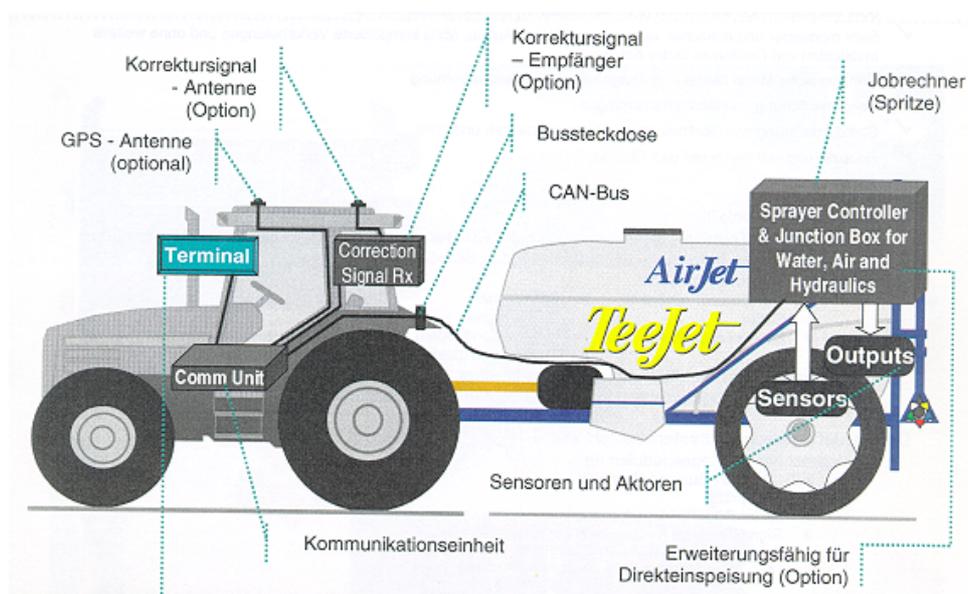


Figura 19. Esquema de sensores y control de la aplicación modular de fitosanitarios. (Foto Teejet)

Por lo que hace referencia a la aplicación de fitosanitarios en cultivos como los frutales y la viña, además de lo que se comentará en el apartado correspondiente a la viticultura de precisión, cabe destacar el gran desarrollo experimentado estos últimos años por los equipos de control electrónico y los sensores de actuación en tiempo real. Numerosos trabajos de investigación han presentado atomizadores para el tratamiento de frutales equipados con sensores capaces de determinar, no sólo la presencia de la vegetación sino también la forma y disposición de la misma. El control de las condiciones de trabajo de las boquillas por uno o varios de estos sensores permite respuestas inmediatas de apertura-cierre del flujo de líquido, de forma que el perfil de distribución obtenido sea lo más similar posible al de la vegetación.

La utilización de este tipo de sensores puede clasificarse como agricultura de precisión en tiempo real, sin necesidad de utilización de la señal GPS. Cabe destacar en este sentido los trabajos llevados a cabo por el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias y por el Centro de Mecanización Agraria de la Generalitat de Catalunya.

Finalmente la situación actual de la aplicación de la agricultura de precisión a la protección de cultivos puede resumirse tal como se muestra en las tablas 9 y 10.

Tabla 9. Tipos de modulación intraparcelar y disponibilidad de equipos en protección de cultivos

Tipo de modulación	Principio	Equipo necesario y disponibilidad
Visual	El agricultor decide las condiciones de trabajo	Pulverizador clásico convencional
A partir de datos cartográficos	La modulación se realiza sin intervención del agricultor, pero decide él	Disponible en algunas marcas de fabricantes
Con captadores en tiempo real	La modulación se realiza sin intervención del agricultor. La decisión depende de la información suministrada por el captador	No disponible en Europa a nivel comercial. Disponible en USA

Tabla 10. Situación y perspectivas de la agricultura de precisión en materia de protección de cultivos

Operación cultural	Parámetros a considerar	Medios disponibles	
		Hoy	Mañana
Protección de cultivos	Dosis media	Información de cosecha anterior, previsión de riesgos, nivel de infestación global	-Sensor de biomasa -Captador visual de presencia de malas hierbas -imágenes de satélites o fotos aéreas
	Presencia de malas hierbas	Análisis visual de la parcela	-sensor por reflectometría o análisis de imágenes acoplado a la boquilla
	Presencia de enfermedades	Análisis visual de la parcela	-imágenes de satélites o fotografías aéreas

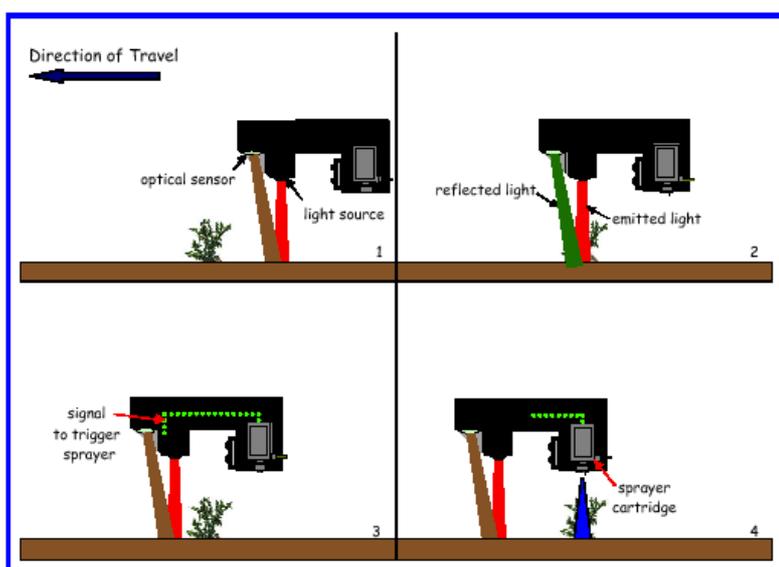


Figura 20. Esquema de funcionamiento del sensor de malas hierbas WeedSeeker® (Ess et al, 2000).

Otras aplicaciones

Si bien el mayor desarrollo de la agricultura de precisión es patente en los apartados anteriormente descritos, existen líneas de investigación en marcha para el desarrollo de sistemas de control modular de los equipos. Tal es el caso de la segadora-acondicionadora automotriz New Holland modelo 2550 que, en otoño de 1997 segó una parcela de 40 hectáreas de alfalfa en California sin necesidad de conductor. Esta segadora-robot trabajó sin interrupción durante toda la noche, guiada únicamente por la información GPS programada en su sistema de control. Como anécdota cabe señalar que el equipo se paró únicamente para que los responsables del proyecto pudieran comer.

En un futuro próximo podremos ver los resultados del programa Demeter, un proyecto que actualmente están desarrollando en común New Holland, la NASA y el National Robotics Engineering Consortium de la Universidad Carnegie Mellon en Pittsburg (Pensylvania) para poner a punto la primera segadora completamente automática que funcionará sin necesidad de ningún operario. A través de la adaptación de la tecnología espacial a la superficie terrestre, los objetivos que se persiguen son un aumento de la productividad de trabajo, una optimización de la mano de obra y un mejor aprovechamiento de los periodos óptimos de recolección. Se abre de esta forma un amplio campo de posibilidades en el sector de la mecanización agraria, con una primera posible aplicación en numerosas tareas de gran fatiga y peligrosidad como excavaciones, trabajos mineros y forestales.

LA VITICULTURA DE PRECISION

Los últimos años se han caracterizado por una rápida expansión de las nuevas tecnologías y su aplicación a la agricultura. Sin embargo esta evolución ha presentado diferentes velocidades de avance en función de los sectores en los que se ha aplicado. Dicho de otro modo, hasta ahora los ejemplos de agricultura de precisión y los avances en equipos informáticos y de obtención de información se han centrado siempre en lo que podemos denominar cultivos extensivos o cultivos “en dos dimensiones”. Pero, ¿qué ocurre con sectores tan importantes en la agricultura mediterránea como los frutales y la viña? ¿No es posible la incorporación de la agricultura de precisión en estos cultivos?

De entrada parece evidente que las características específicas de este tipo de cultivos dificultan la aplicación de determinadas tecnologías. Si anteriormente se han definido los cultivos extensivos como cultivos “en dos dimensiones”, en este caso debemos hablar de cultivos “tridimensionales”. La diferencia es clara. Los frutales y la viña presentan una estructura de porte alto, colocada perpendicular a la superficie del suelo y con un volumen de vegetación variable en función de la altura. Además se trata en la mayoría de los casos de masas vegetales discontinuas en el espacio, en contraposición a la uniformidad presentada por los cereales de invierno. Estas diferencias en la estructura y disposición de la vegetación hacen que la incorporación de las nuevas tecnologías presente dificultades añadidas.

El primer problema se plantea con los requerimientos de precisión en la determinación de la posición. Los ejemplos anteriores en cuanto a precisión necesaria para la aplicación modular

en operaciones de fertilización, siembra o aplicación de fitosanitarios en cultivos bajos indican que se pueden realizar este tipo de aplicaciones con sistemas de posicionamiento global diferencial (DGPS) con precisiones de 1 m. En la mayoría de los casos este grado de exactitud encaja perfectamente con las características y condiciones de funcionamiento de los equipos. Sin embargo, ¿qué ocurre si la precisión es inferior a 1 m para la determinación de la posición en una parcela de viña? Esta diferencia puede hacer que la situación exacta de la hilera del cultivo resulte errónea y en su lugar se obtenga un punto situado entre dos hileras de vegetación. Trabajos de investigación realizados en Francia (Tisseyre *et al*, 1998) ponen de manifiesto que el error de localización cometido cuando se establece la posición exacta de la hilera de vegetación utilizando la señal DGPS se estima entre 1 y 2 m. En este mismo trabajo se propone la utilización de un algoritmo de corrección de la información proveniente del DGPS que mejora la precisión de la determinación (30-50 cm) en función de la posición.

A pesar de las dificultades, y siguiendo el mismo orden que el establecido para los cultivos herbáceos, los primeros avances en la denominada viticultura de precisión se produjeron hace algunos años en el campo de las vendimiadoras, erigiéndose como centro de las innovaciones en materia de viticultura de precisión. Los cabezales de recolección, regulables de forma continua en frecuencia y amplitud, asociados a un mecanismo de pesado en continuo dispuesto en las cadenas de cangilones permiten la vendimia selectiva o parcial de la producción.

Como ejemplo podemos mencionar la vendimiadora Pellenc modelo Smart, premiada con la medalla de oro en la edición de 1997 de SITEVI, que incorpora un sistema de regulación y programación selectivo de los elementos sacudidores y de todos sus parámetros (frecuencia, amplitud, convergencia y aceleración) en función de la información previa disponible de las parcelas y/o variedades. Además la incorporación de un sistema de pesado en continuo de la cosecha permite, sea cual sea la configuración del terreno, conocer al instante y de forma permanente el peso total de producto vendimiado, el rendimiento por hectárea y el peso contenido en cada una de las tolvas. La posibilidad de realizar una vendimia selectiva resulta de la combinación de las dos anteriores funciones. En definitiva, estamos hablando de la primera máquina capaz de elaborar un mapa de rendimiento en el caso de la viña. El paso siguiente es la interpretación de esta información, junto con otro tipo de datos (tipo de suelo, densidad de vegetación, cantidad total de área foliar, ...) y el consiguiente plan de actuaciones modular para diferentes aspectos como puede ser la aplicación de fitosanitarios, la poda, el deshojado,...

Posiblemente sea la aplicación de fitosanitarios el aspecto que mayores oportunidades ofrece para su adaptación a una conducta modular. La relación directa entre cantidad de vegetación (volumen o área), distribución en altura y distancia entre hileras con los parámetros de regulación de los equipos hace que se planteen alternativas a la aplicación convencional uniforme basada en la unidad de superficie. El volumen aplicado por unidad de superficie (l/ha) es función del caudal de las boquillas (l/min), de la velocidad de avance (km/h) y de la anchura de trabajo (m). Si bien los dos primeros factores son fácilmente cuantificables de manera similar para todo tipo de cultivos, no ocurre lo mismo con la anchura de trabajo. Generalmente el criterio adoptado en el caso de aplicaciones en viña (y lo mismo en frutales) es el de multiplicar el número de hieras tratadas simultáneamente por la distancia entre éstas. Como consecuencia el volumen a aplicar se establece exclusivamente en función de la superficie de terreno sin tener en cuenta el volumen de vegetación existente.

La determinación del volumen de vegetación y su posterior relación con el volumen de caldo a aplicar está estrechamente ligada con lo que se ha venido en llamar **Pulverización Adaptada al cultivo**. Esta metodología de trabajo se basa en la consecución de una aplicación constante de producto en el objetivo (cantidad de producto por unidad de superficie o de volumen) por lo que volúmenes mayores de vegetación requerirán cantidades mayores de caldo, y viceversa. Este sistema obliga a la determinación previa del volumen de vegetación existente en una superficie determinada, obteniéndose el conocido TRV (Tree Row Volume) el cual depende de la altura del cultivo, la anchura media del mismo y la distancia entre hileras.

La dosificación basada en el volumen de vegetación implica, en primer lugar, la determinación correcta de la relación entre cantidad de vegetación y cantidad de producto a aplicar. La realización de experiencias de campo en diversas condiciones llevará a la determinación de expresiones del tipo $l/ha = a + b \times TRV$ y a partir de esta se podrá pensar en ajustar los parámetros de la aplicación de forma que, a medida que se produzcan modificaciones de la masa vegetal, la cantidad de producto aplicado se modifique en el mismo sentido. Y aquí es donde el término “viticultura de precisión” interviene. En primer lugar es necesaria la determinación de la variación intraparcelsaria del TRV. En este caso, dado que algunos de los parámetros que intervienen en su determinación pueden considerarse fijos dentro de una misma parcela (distancia entre hileras y altura de la vegetación) la modificación del TRV vendrá dada por las variaciones de espesor de la masa vegetal (anchura de la hilera). ¿Quién y como es capaz de determinar esta variabilidad para conseguir una aplicación selectiva y diferencial garantizando una dosificación proporcional a su variación? ¿Cómo y qué parámetros deben modificarse en la máquina para conseguirlo? La idea, expresada gráficamente, consiste en conseguir la modificación de las condiciones de trabajo de la máquina tal como se representa en la fig. 21 en la que, en función de la variación de la anchura de la vegetación se modifican los parámetros necesarios (presión de trabajo, velocidad de avance,...) para adaptarse a los condicionantes, de forma que se sustituyan las condiciones de un tratamiento “convencional” por otro “diferencial” adaptado al cultivo y su variabilidad.

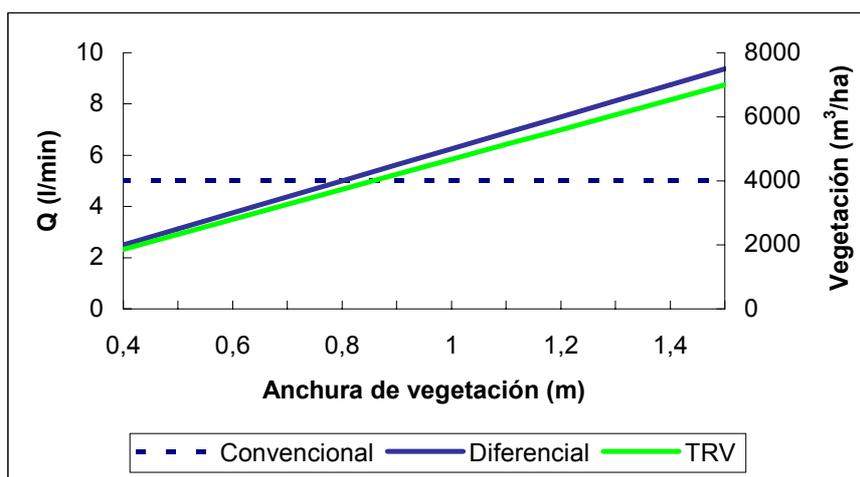


Figura 21. Comparación entre el comportamiento de las boquillas en pulverización convencional y comportamiento necesario para la aplicación modular en función del volumen de vegetación.

Posiblemente la utilización de información obtenida a partir, por ejemplo, de interpretaciones de imágenes de satélites, fotografías aéreas, o sensores capaces de determinar las características de la vegetación (superficie o volumen de hojas) permitirán, una vez mejorados los problemas de resolución del DGPS, establecer un ciclo de viticultura de precisión análogo al presentado anteriormente.



Figura 22. La aplicación modular de fitosanitarios en viña debe permitir la adaptación de la dosis a las características cambiantes de la vegetación.

LA DIFÍCIL VALORACIÓN DE LA INVERSIÓN

¿Dónde está el beneficio de la agricultura de precisión? ¿En qué condiciones es rentable su incorporación? ¿Quién está en disposición de realizar estas inversiones? Desgraciadamente, y aun a pesar de que sería lo más didáctico, la situación actual de la agricultura de precisión en nuestro país se encuentra en fase de desarrollo embrionario, por lo que no se dispone de cifras de explotaciones reales. Lo que sí es posible es realizar un detallado examen de los criterios a tener en cuenta a la hora de aplicar agricultura de precisión en nuestras condiciones.

De entrada, la inversión requerida para la puesta a punto de la tecnología propia de la agricultura de precisión en una explotación determinada raramente se corresponde con la relación unívoca coste-beneficio. Y esto es debido, entre otras causas, a que:

- a) Su adopción implica profundos cambios en los procesos de manejo de determinadas operaciones, lo que presupone nueva formación o reciclado por parte del agricultor.
- b) La introducción de estas tecnologías debe llevarse a cabo en etapas sucesivas y de manera progresiva, nunca bruscamente.
- c) Los beneficios económicos resultantes raramente pueden estimarse de una única manera, ya que son de naturaleza diferente: ahorro directo de fitosanitarios, abonos o semillas, incremento de cosecha, mejoras en el manejo y gestión de los equipos, menores índices de contaminación, etc.

- d) Resulta difícil, más que en otros casos, evaluar la evolución de los costes y los beneficios a medio y largo plazo.

Por lo que respecta a las dimensiones adecuadas de las parcelas para la implementación de la tecnología propia de la agricultura de precisión, es evidente la dificultad que comportaría su incorporación a una agricultura minifundista, y no solo desde el punto de vista de superficie anual a trabajar, con el lógico desplazamiento del umbral de rentabilidad de la inversión, sino que desde el punto de vista operacional, el hecho de disponer de parcelas de dimensiones reducidas dificulta e incluso impide la subdivisión de la misma en zonas de necesidades y/o características similares. Por otra parte, la cada vez mayor anchura de trabajo de las máquinas obliga a la necesidad de disponer de parcelas en las cuales el número de pasadas sea importante con el fin de poder realizar la modulación de las aportaciones en un espacio mínimamente amplio.

Desde el punto de vista de cuantificar la inversión adecuada, diferentes trabajos se han publicado en los últimos tiempos. Haciendo referencia a uno de ellos, concretamente el elaborado por Lazzari y Mazzetto, de las Universidades de Udine y Milán respectivamente, se propone una metodología para el cálculo de la inversión óptima en materia de agricultura de precisión basada en el análisis de los flujos de caja de la explotación y en el periodo de retorno establecido para la inversión. Así, a partir de complejas fórmulas, los autores han analizado el caso concreto de la agricultura cerealícola italiana.

Con un tamaño medio de las explotaciones de 100 hectáreas, y unos ingresos brutos de unas 300.000 PTA/ha, resulta que si el objetivo de la explotación es el de obtener unos beneficios de un 3% de los ingresos brutos, la inversión máxima permitida no debería superar el 8% de los ingresos brutos, si se asume un periodo de transitoriedad de 2 años y un TIR del 10%. Esta inversión representa un total de 2.400.000 PTA para el total de la explotación. Esta inversión podría incluso incrementarse, según los citados autores, hasta un total de 5.250.000 PTA si se decide considerar nula la Tasa Interna de Rendimiento (TIR).

Pongamos otro ejemplo en un intento de valorar económicamente la rentabilidad de la inversión. Hablaremos en este caso del N-Sensor, el equipo anteriormente mencionado presentado por Hydro en la pasada edición de FIMA capaz de determinar las necesidades de nitrógeno en función de la reflexión de la luz por el cultivo. Podemos hacer en este caso dos tipos de análisis. El primero de ellos se corresponde con las ventajas económicas derivadas del ahorro de fertilizante nitrogenado aplicado en la parcela.

Numerosas pruebas de campo se han desarrollado en diferentes países de la Comunidad Europea (entre los que lamentablemente no se encuentra España) con objeto de evaluar las ventajas de la utilización del N-Sensor frente a la aplicación convencional de nitrógeno basada en una dosis fija por hectárea. Evidentemente los resultados obtenidos presentan grandes variaciones en función de las condiciones y características del medio en que las pruebas se han realizado. Sin embargo, un análisis global de las mismas puede dar una idea aproximada de las ventajas obtenidas del sistema.

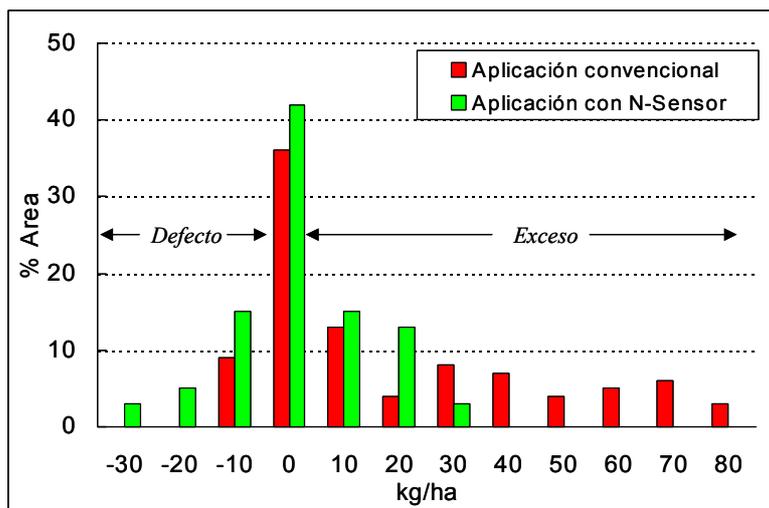


Figura 23. Distribución porcentual de la superficie en función de la cantidad de nitrógeno recibida. Los valores negativos indican superficie con defecto en la aplicación y los valores superiores a 0 cantidades en exceso.

Admitiendo como Eficiencia en la Utilización de Nitrógeno (EUN) la diferencia entre los aportes y las extracciones (producción x contenido en nitrógeno), la fig. 23 muestra la distribución porcentual de la superficie según el valor alcanzado por éste índice. Valores negativos indican deficiencias en el aporte de nitrógeno y valores positivos indican excesos, representando el valor 0 el punto de mayor eficiencia. Se observa en la gráfica como la aplicación tradicional basada en el mantenimiento constante de la cantidad presenta una parte importante de la superficie que ha recibido cantidades superiores a las necesarias. La aplicación en las mismas condiciones utilizando el N-Sensor reduce considerablemente los puntos con exceso de aplicación, e incrementa el porcentaje de superficie que ha recibido la dosis necesaria.

Estas ventajas no solamente representan incrementos en la cantidad producida, sino también se han observado diferencias en la calidad final del producto. Así, ensayos realizados en Gran Bretaña muestran un incremento del contenido de proteína del 10.8% cuando se realiza la aplicación de forma convencional al 11.6% cuando se utiliza el N-Sensor. Teniendo en cuenta la penalización económica aplicada por cada 0.1% en valores inferiores al 11% (1.6 €), esta disminución representa 3.2 € de reducción por tonelada.

El análisis del beneficio de la inversión puede realizarse desde otro punto de vista. Si admitimos como válido el incremento medio de cosecha generado por la utilización de este sistema en los múltiples ensayos realizados en la UE (169 kg/ha, equivalente a un 2.2% de la producción media) se puede realizar un análisis previo estimativo acerca del periodo necesario para la recuperación de la inversión.

Admitiendo un valor de adquisición del N-Sensor de 20.100 € (unos 3.350.000 PTA) y tomando como referencia los valores de incremento de producción medios obtenidos en los ensayos de campo realizados pueden plantearse algunas suposiciones en cuanto a periodo y superficie necesaria para la recuperación de la inversión. Se presenta a continuación un análisis estimado adaptado a nuestras condiciones partiendo del supuesto de una producción media de trigo de invierno en regadío de 4.000 kg/ha y un precio del producto de 120.24 €/t (20 PTA/kg)

Según se aprecia en la tabla 11, el periodo de tiempo necesario para la recuperación de la inversión necesaria es función de la superficie anual trabajada. Así, la recuperación se realizará en dos años para una superficie anual de 1000 ha, 3 años para 750 ha, 4 años para 500 ha o 9

años para 200 ha. Debe tenerse en cuenta que en este supuesto únicamente se ha considerado el incremento de cosecha obtenido por unidad de superficie, por lo que a estas ventajas deberían añadirse las consiguientes derivadas del incremento del contenido de proteína, reducción de la cantidad total de fertilizante y, de más difícil cuantificación, la reducción de las pérdidas debidas a lixiviaciones, excesos, etc. y el menor efecto medioambiental generado.

Las cifras anteriores hacen pensar en que, si bien puede resultar difícil la justificación de la incorporación del equipo en una explotación individual, salvo escasas excepciones, no lo es tanto el hecho de pensar en su utilización por parte de empresas de servicios y, fundamentalmente, cooperativas. En estos casos, no solo desde el punto de vista de garantizar la superficie anual a abonar, sino teniendo en cuenta las ventajas agronómicas que una distribución de la dosis ajustada a las necesidades puede generar en el balance global. Además, hasta ahora se ha planteado exclusivamente la actuación sobre cereales de invierno, pero es evidente que se trata de un sistema fácilmente adaptable a la aplicación nitrogenada a otros cultivos más rentables como el maíz o, y no solamente para la aplicación de fertilizantes sólidos, sino también para los fertilizantes líquidos. Por otra parte, y dadas las características de funcionamiento del sistema, cabe pensar asimismo en la posibilidad de utilización del N-Sensor acoplado a equipos para tratamientos fitosanitarios de forma que, tras el proceso necesario de calibración, quede establecida la relación entre intensidad luminosa reflejada y nivel de ataque de una determinada plaga o enfermedad, con la consiguiente modificación de la cantidad de caldo a distribuir.

Tabla 11. Estimación del periodo de recuperación de la inversión en función de la superficie de trabajo anual, en el supuesto de un valor de adquisición de 3.500.000 PTA. Datos en miles de pesetas (x1000) para un cultivo de trigo con un rendimiento medio de 4.000 kg/ha, un incremento de producción debido a la utilización del N-Sensor del 2.2% y un precio de venta del producto de 20 PTA/kg.

Años	Superficie trabajada (ha/año)					
	1	100	200	500	750	1000
1	1.76	176	352	880	1320	1760
2	3.52	352	704	1760	2640	3520
3	5.28	528	1056	2640	3960	5280
4	7.04	704	1408	3520	5280	7040
5	8.80	880	1760	4400	6600	8800
6	10.56	1056	2112	5280	7920	10560
7	12.32	1232	2464	6160	9240	12320
8	14.08	1408	2816	7040	10560	14080
9	15.84	1584	3168	7920	11880	15840
10	17.60	1760	3520	8800	13200	17600

Profundizando un poco más en la posibilidad de evaluar económicamente la incorporación de la agricultura de precisión en las explotaciones, un reciente trabajo de revisión bibliográfica en materia de agricultura de precisión realizado por Lambert y Lobembert-DeBoer de la Universidad de Purdue (USA) pone de manifiesto la dificultad y la gran diversidad de métodos utilizados por los diferentes autores cuando se trata de realizar balances económicos de la agricultura de precisión. Sobre un total de 108 artículos revisados se analiza, entre otros aspectos, la metodología y el grado de profundidad del balance económico realizado. En

cuanto a los métodos empleados, se citan tres grandes categorías: los que ofrecen grandes cifras sin analizar, los que presentan presupuestos o balances parciales sin entrar en desglose de los capítulos y los que realizan un análisis económico completo. La primera clasificación hace referencia a artículos en los que se presentan cifras que avalan el beneficio o no de la aplicación de las nuevas tecnologías sin especificar los cambios experimentados en los diferentes componentes como:

- coste de los inputs (semillas, fertilizantes, combustible)
- coste de la tecnología empleada
- coste de la adquisición de la información y manejo de datos
- costes informáticos (hardware/software)
- costes de aprendizaje y formación (tiempos perdidos)
- coste de utilización de las máquinas
- costes de asesoramiento y consultorías
- coste de elaboración de mapas de suelo, de cosechas,...

Los artículos que mencionan la existencia de estos componentes anteriormente detallados, pero no ofrecen información exhaustiva sobre los mismos se clasifican como análisis económicos parciales. Finalmente se clasifican como artículos con balance económico completo aquellos trabajos que presentan un análisis detallado de los aspectos anteriormente mencionados.

Tabla 12. Distribución porcentual de los trabajos de agricultura de precisión que incorporan análisis económico en función del método utilizado

Método de análisis	Porcentaje (%)
<u>Análisis económico</u>	
Balance económico completo	50
Balance económico parcial	19
Balance si detallar	20
Sin análisis económico	11
<u>Estimación de la producción</u>	
Simulación	22
Función de respuesta	23
Ensayos de campo	40
Sin estimación	15

(Lambert y Lobembert-DeBoer, 2000)

Sin duda el parámetro más utilizado para la evaluación económica de cualquier actividad agrícola es la valoración de la producción final del cultivo. En este sentido cabe señalar la diferenciación realizada en el trabajo de Lambert y Lobembert-DeBoer en función de la metodología utilizada para la estimación de la producción. Establecen los autores tres tipologías: funciones de respuesta, ensayos de campo y modelos de simulación. Las funciones de respuesta se corresponden generalmente con ecuaciones simples, a menudo cuadráticas, mediante las cuales se puede estimar la producción final en relación con los valores de una

serie de parámetros como nivel de fertilización, densidad de plantas o cualquiera de los factores del rendimiento del cultivo en cuestión. Los modelos de crecimiento de los cultivos son generalmente simulaciones multifactoriales complejas que tratan de simular el proceso fisiológico de las plantas mediante un software específico. Finalmente la estimación de la producción a partir de ensayos de campo trata de reproducir, a pequeña escala y con menor número de factores incontrolados, las condiciones reales de las parcelas agrícolas.

Tabla 13. Distribución porcentual de los trabajos relacionados con la agricultura de precisión que presentan análisis económico, en función de la tecnología analizada y el signo del balance

Tecnología	Estimación de beneficio (%)			
	Positivo	Negativo	Variable	Base
N	63	15	22	27
P,K	71	29	0	7
Tratamientos fitosanitarios	86	14	0	7
pH	75	0	25	4
GPS	100	0	0	3
Riego	50	0	50	2
Siembra	83	17	0	6
Mapas de rendimiento	43	14	43	7
Fertilización general	75	8	16	24
Sensores de suelo	20	40	40	5
Agricultura de precisión	77	0	23	14
<i>Combinación de tecnologías</i>	<i>63</i>	<i>11</i>	<i>27</i>	<i>108</i>

(Lambert y Lobembert-DeBoer, 2000)

Según lo expuesto, la tabla 12 indica los porcentajes de artículos que presentan alguno de los métodos de análisis económico anteriormente descritos, así como el método utilizado para la estimación de la producción final. Como información añadida se presentan los resultados de la tabla 13 en la que se puede apreciar la gran variabilidad en los resultados económicos obtenidos en función del tipo de tecnología ensayada, lo que pone de manifiesto una vez más, la falta de uniformidad de criterios a la hora de evaluar económicamente la actividad.

La cuantificación económica y la evaluación de los beneficios de la agricultura de precisión es, como hemos visto en las líneas anteriores, un proceso y una metodología de cálculo difíciles de aplicar y, cuando menos, probados únicamente en unas condiciones particulares. En nuestras condiciones, ¿cuál debería ser la inversión adecuada? Esta claro que queda mucho camino por recorrer y muchas experiencias de campo por llevar a cabo para poder dar una cifra fiable. Lo que no debe olvidarse en ningún caso es que, hoy por hoy, las máquinas que circulan en un gran número de explotaciones están capacitadas para adaptarse a las nuevas tecnologías, y que quizás el mayor problema sea la adaptación del agricultor a las mismas.

LA SITUACION REAL

Si asociamos agricultura de precisión con agricultura de futuro, se nos plantea inmediatamente una cuestión: ¿es que actualmente la agricultura, y por extensión el agricultor, no es preciso? ¿es que no realiza correctamente su trabajo? Evidentemente cualquier generalización es errónea pero, mayoritariamente, uno de los problemas de la agricultura actual en nuestro país es la falta de información y de formación necesarias para el buen desarrollo de cualquier actividad. Y la responsabilidad de esta falta de información no siempre es atribuible al sector. De hecho cuando uno tiene la oportunidad de trabajar directamente con el agricultor llega inmediatamente a la conclusión de que muchos de los problemas de los que actualmente adolecen las explotaciones agrícolas podrían resolverse con una adecuada labor de formación y, sobre todo, de información.

Existe un importante salto cualitativo entre lo que podemos ver en los múltiples certámenes nacionales e internacionales dentro del mundo de la mecanización agraria y la realidad de la mayor parte de las explotaciones. Todos estos equipos y su alta calificación tecnológica contrastan con la realidad observada en muchas áreas de nuestra geografía. Diferentes campañas de revisión de equipos se han llevado a cabo por diferentes instituciones, publicas o privadas, relacionadas en la mayoría de los casos con equipos destinados a la distribución de materias primas (abonadoras, sembradoras, equipos para tratamientos fitosanitarios) y desgraciadamente, todas ellas han revelado resultados similares. El Plan de Revisión de Abonadoras llevado a cabo por Ebro Agrícolas en la zona remolachera de Castilla-León ha puesto de manifiesto que el 60% de los equipos revisados eran desechables en las condiciones mecánicas en las que se evaluaron, es decir, que no existía ninguna anchura de trabajo con la que se pudieran obtener coeficientes de irregularidad inferiores al 10%, mientras que únicamente uno de cada cinco agricultores aplicaba la dosis de abono realmente pretendida; los resultados de la campaña de revisión de equipos de tratamientos fitosanitarios en las Denominaciones de Origen Penedés (Barcelona) y Campo de Borja (Zaragoza) ,llevada a cabo por la Escuela Superior de Agricultura de Barcelona (UPC), muestran defectos en el manómetro en el 90% de los casos, deficiencias en el indicador de nivel en 3 de cada 4 máquinas revisadas, boquillas con una media de edad de más de 5 años (con las correspondientes desviaciones de caudal debidas al desgaste) y velocidades de avance y presiones de trabajo utilizadas muy por encima de las aconsejadas (Fig. 23). Resultados similares se han obtenido en actuaciones realizadas en la zona citrícola valenciana y en el área de Lérida en el sector frutícola.

Sin embargo, lo que más llama la atención de estas campañas son los resultados obtenidos a partir de encuestas en cuanto a actitudes frente a la utilización de los equipos. La falta de hábitos en cuanto a calibración de equipos, comprobación de caudales (tanto de fitosanitarios como de abonos), la elección y comprobación de la correcta velocidad de trabajo en función de las características de la parcela, son desgraciadamente habituales. Y en la mayoría de los casos estos problemas son debidos no a una actitud de desinterés por parte del agricultor sino que se corresponden con un importante déficit de información y formación.

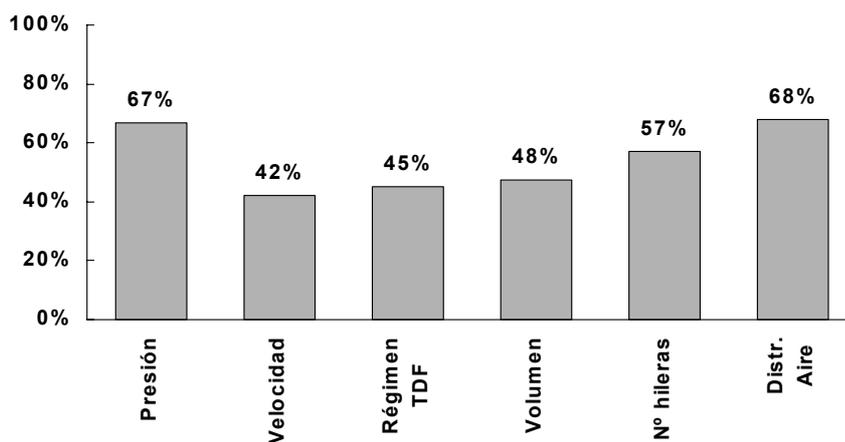


Figura 23. Porcentaje de equipos de tratamientos fitosanitarios en viña que utilizan parámetros de la aplicación no adecuados a las necesidades. Campaña de revisión de equipos de tratamientos fitosanitarios en viña en las Denominaciones de Origen Penedes (Barcelona) y Campo de Borja (Zaragoza).

Tabla 14. Criterios a tener en cuenta en la mecanización agraria

	Criterios para la decisión	La tecnología del futuro	Las acciones para hoy
<i>Trabajo del suelo</i>	Elección de la técnica en función del tipo de suelo y de la rotación	Regulación automática de los aperos en función del estado del suelo y del cultivo	Correcta elección del binomio tractor-apero y racionalización de las actuaciones
<i>Siembra</i>	Elección de la variedad y la dosis en función de los condicionantes (fecha de siembra y estado del terreno)	Modulación de la dosis durante la siembra según la variabilidad intraparcilaria	Comprobación previa de la dosis distribuida, utilización de semilla certificada y mantenimiento adecuado de la sembradora
<i>Fertilización</i>	Razonamiento de las dosis según objetivos de producción; utilización de los balances de nitrógeno	Modulación intraparcilaria de las dosis según las características constantes del suelo (tipo, profundidad), de las zonas identificadas y del estado del cultivo	Comprobación de la anchura óptima de trabajo, utilización de abonos con características físicas adecuadas, comprobación del caudal de abono.
<i>Protección de cultivos</i>	Modulación de las dosis y de los volúmenes, reducción de las pérdidas por deriva, estimación de riesgos mediante modelos de previsión	Aplicación selectiva de producto, sensores ópticos de detección de malas hierbas, etc.	Elección adecuada de los parámetros (velocidad, presión), control periódico de las boquillas, calibración antes de cada aplicación, adecuación del equipo.
AGRICULTURA		AGRICULTURA DE PRECISION	AGRICULTURA DE FORMACION

Probablemente este desfase entre el estado actual de la tecnología en materia de mecanización agraria y la realidad cotidiana podría reducirse a través de unas adecuadas campañas formativas. Y la responsabilidad de esta formación creo que debe ser compartida; por un lado desde la universidad, a través de la formación continuada, desde la administración mediante la organización de sesiones de trabajo y jornadas de demostración atractivas, desde el propio sector productivo (ejemplos claros pueden ser las asociaciones de productores como el ITCF, cereales y forraje, o el CETIOM, oleaginosas, ambas en Francia, o el ITGA en Navarra y AIMCRA en Castilla-León) dedicando una pequeña cuota, variable en función del volumen de producción, a la mejora y el desarrollo de cuantos aspectos tengan que ver con la actividad productiva; y finalmente desde el sector de los fabricantes y/o distribuidores de maquinaria agrícola a través de la organización de demostraciones, cursillos técnicos, etc. Afortunadamente cada vez son más las empresas en las que un elemento fundamental en su política de ventas es el de la formación del agricultor, entre otras razones porque es imposible el sacar el máximo beneficio de la tecnología actualmente disponible sin una buena base de conocimientos. Y esta buena base redundará al final el beneficio de todos.

MANEJO E INTERCAMBIO DE LA INFORMACION

A lo largo de este trabajo ha quedado claro un hecho fundamental: la agricultura de precisión se basa en un manejo intenso y preciso de una gran cantidad de información. Los avances en equipos electrónicos aplicados a la agricultura han posibilitado numerosos sistemas de control de los aperos. Por otra parte existe un importante flujo de información entre los equipos en movimiento y las fuentes estáticas de información que es preciso canalizar de una manera rápida, segura y, sobre todo, estandarizada.

La necesidad del establecimiento de un protocolo de estandarización que garantice la compatibilidad entre los diferentes elementos y que permita la relación fácil y fluida entre el tractor y los aperos, entre los diferentes componentes del tractor, entre diferentes aperos e incluso entre distintas unidades en trabajos independientes ha llevado a los distintos organismos responsables a la elaboración de diferentes protocolos de estandarización.

En este sentido dos propuestas de estandarización en la utilización de sistemas de conexión e intercambio de información en el binomio tractor-apero, ambas utilizando el protocolo CAN (Controller Area Network) se han desarrollado o están en fase de desarrollo:

- La alemana LBS (Landwirtschaftliches BUS-System [Agricultural-BUS-System]), codificada como DIN 9684/2-5.
- La ISO 11783, todavía en fase de desarrollo por el subcomité técnico TC23/SC19/WG1 y cuya publicación está prevista para dentro de un año.

Por otra parte, la necesidad de racionalizar la interpretación y el intercambio de información en y entre los distintos equipos móviles implicados en la agricultura de precisión, ha tenido como consecuencia el desarrollo de propuestas como la ISO 11878, conocida también como ADIS (Agricultural Data Interchange Standard), con el objetivo de estandarizar los sistemas de intercambio BUS.

Como ejemplo cabe reseñar la presentación en la pasada edición de FIMA 2001 del sistema para la integración del mando de equipos accionados LBS-CAN-BUS en los tractores Fendt 700 y 900 V, que recibió el premio de novedad técnica sobresaliente (fig. 24). El sistema permite el mando y control completo de los aperos acoplados al tractor. A partir de una tarjeta electrónica de entrada de datos el tractor reconoce inmediatamente las características y condiciones de trabajo necesarias del implemento, produciéndose en ese momento la carga del programa correspondiente al apero y la transmisión de la información necesaria a la terminal de mando "Variotronic" del tractor.



Figura 24. Sistema de integración del mando de equipos accionados LBS-CAN-BUS en los tractores FENDT 700 y 900 V.

Las propuestas de estandarización aquí descritas tienen una considerable importancia en el desarrollo futuro de la agricultura de precisión dadas las posibilidades de intercambio y conexión rápida, segura y eficaz entre sensores, procesadores, controladores y paquetes de software específicos desarrollados por diferentes fabricantes. Un ejemplo claro es el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica (SIG) compatibles con numerosas fuentes de información (LORIS de Kemira, AMAIS de Farmade o AGROMAP de Claas). Muchos de estos sistemas pueden describirse como SIG estrella dada su gran capacidad de adaptación a flujos de importación/exportación de información en varios formatos.

CONCLUSIONES

La agricultura de precisión ha pasado de ser un proyecto de futuro a una realidad palpable. La rápida evolución de las tecnologías implicadas, con el consiguiente descenso de los costes de fabricación, y la necesidad de mantener un entorno productivo que permita la sostenibilidad de los medios, hace que los avances tecnológicos enfocados hacia una mejora de las condiciones de trabajo, un incremento de la precisión en la distribución y una garantía de calidad de los productos finales sea una necesidad.

Sin embargo queda todavía mucho camino por recorrer hasta la completa difusión de estas nuevas tecnologías en la agricultura convencional. Y gran parte de este camino hace referencia al nivel formativo del usuario. Uno de los aspectos que mayor incidencia presentan en el

análisis económico de la agricultura de precisión es el correspondiente al proceso de formación del usuario. La mejor de las tecnologías será incapaz de generar resultados positivos si no somos capaces de sacar el máximo partido a las prestaciones. Y esto pasa por el establecimiento de canales de comunicación y de transmisión de información rápidos, seguros y eficaces entre las distintas figuras que intervienen en el proceso. No debemos olvidar que, al final, las máquinas trabajan en el campo y es el propio usuario el que debe conocer perfectamente las características, posibilidades y modos de actuación de las mismas.

No nos olvidemos pues de potenciar esta labor formativa basándonos inicialmente en la tecnología actual. De esta forma estaremos mejor preparados para recibir las innovaciones tecnológicas que vayan apareciendo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alcalá A R; Luque J M (1996) Farming mapping using the global positioning system (GPS). International Conference on Agricultural Engineering, AgEng96, Madrid, Spain. Paper No. 96A-008.

Auerhammer H; Schueller J K (1999) Precision Farming. CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Vol. III. Plant Production Engineering Pp. 598-616. CIGR-ASAE.

Baret F (1999) Caractérisation des lits de semence: application au contrôle automatique des outils agricoles. En: L'enjeu français de l'agriculture de précision. Hétérogénéité parcellaire et gestion des intrants. Salon International du Machinisme Agricole, Paris, 1999.

Escolá A; Solanelles F; Planas S; Rosell J R (2001) Design and validation of an electronic system for proportional control of chemical spraying in tree crops according to the vegetation volume. 1st Symposium of RSF-RSG. Crop protection efficiency in fruit growing and its impact on environmental and legislation. Leuven, Belgium, January 2001.

Ess D R; Morgan M T; Parsons S D (2000) Implementing Site-Specific Management: map versus sensor-based variable rate application. Purdue University. <http://www.purdue.edu>

Gil E Gimenez A (2001) N-Sensor. Sistema de aplicación selectiva de nitrógeno en tiempo real. XIX Conferencia Internacional de Mecanización Agraria. Zaragoza, 2001.

Gil E (2000) Viticultura de precisión. Aplicación modular de fitosanitarios en viña. Vida Rural, VII, 109, (19/2000), 44-46.

Lambert D; Lowenberg-DeBoer J (2000) Precision agriculture profitability review Site-Specific Management Center. School of Agriculture. Purdue University. <http://www.purdue.edu>

Lund I (2000) Sprayer nozzles for precision pesticide application. International Conference on Agricultural Engineering, AgEng00, Warwick, United Kingdom. Paper 00-PA-017.

- Mateo Box J M** (2001) La respuesta del cultivo a un gestión diferencial. XXIX Conferencia Internacional de Mecanización Agraria. Zaragoza, 2001.
- Marchal P** (2001) Evolutions technologiques et nouveaux défis de l'agriculture. En: Face aux enjeux européens, quelles stratégies de mécanisation? Cemagref editions, Paris, 2001.
- Moltó E** (2001) La electrónica en los equipos de tratamientos fitosanitarios. Aplicación de fitosanitarios y minimización del impacto ambiental. V Curso de Especialización. Universitat de Lleida, Febrero 2001.
- Nicoullaud B** (1999) Variabilité des sols et techniques de cartographie détaillée. En:L'enjeu français de l'agriculture de précision. Hétérogénéité parcellaire et gestion des intrants. Salon International du Machinisme Agricole, Paris, 1999.
- PAMI** (1999) A comparison of three popular yield monitors & GPS receiver. Praire Agricultural Machinery Institute. Canadá, 1999.
- Pérez de Ciriza J J** (2001) Perspectivas de la agricultura de precisión en el clima mediterráneo. Ensayos realizados en Navarra. XIX Conferencia Internacional de Mecanización Agraria. Zaragoza, 2001.
- Schoen H; Auernhammer H** (2000) Strategies for future mechanixation in Central Europe. International Conference on Agricultural Engineering, AgEng00, Warwick, United Kingdon. Paper 00-PA-002.
- Snauwaert P** (2001) Stratégies d'innovation en matière de machinisme agricole et prevision pour le proche avenir. En: Face aux enjeux européens, quelles stratégies de mécanisation? Cemagref editions, Paris, 2001.
- Stafford J V** (2000) Implementing Precision Agriculture in the 21st Century. Journal of Agricultural Engineering Research 76, 267-275.
- Stafford J V; Bolam H C** (1996) Improving reliability of position resolution using GPS for precision agriculture. International Conference on Agricultural Engineering, AgEng96, Madrid, Spain. Paper No. 96-G-008.
- Thevenet G** (1999) L'agriculture de précision en France, état de la situation et questions posées. En:L'enjeu français de l'agriculture de précision. Hétérogénéité parcellaire et gestion des intrants. Salon International du Machinisme Agricole, Paris, 1999.
- Tisseyre B; Paoli J N; Sacca A; Total J; Sevila F** (1998) dGPS correction based on a map algorithm for accurte machine location in the vineyard. International Conference on Agricultural Engineering, AgEng98, Oslo, Norway. Paper No. 98-A-041.