

Agricultura de precisión: conceptos y situación actual

¿Es la agricultura de precisión una realidad o una promesa de futuro?

Las diferencias a gran escala hace mucho que son conocidas y corregidas por el agricultor, que gestionará de distinta manera las tierras de la vega que las del altozano, aunque estén relativamente próximas. Pero dentro de una misma parcela siguen existiendo diferencias, unas veces evidentes (ej. paso de un regato que encharca parte de la tierra) y otras ocultas que producen importantes variaciones en el rendimiento de unas zonas u otras. El objetivo de la agricultura de precisión es poner a disposición del agricultor toda la información necesaria sobre las variaciones agronómicas dentro de la parcela, para que en cada metro cuadrado de terreno se labore, fertilice, siembre, riegue... en la proporción idónea para conseguir la máxima producción posible en cada punto. Esto conlleva una reducción de costes de producción y una gestión agrícola más respetuosa con el medio ambiente, que podemos resumir en los siguientes puntos:

- Optimización del uso de recursos costosos.
- Reducción de los contaminantes ambientales.
- Mejor aprovechamiento de la maquinaria agrícola.
- Mayor facilidad de gestión de la explotación agrícola.
- Incremento de la producción.

Para llevar a cabo estas mejoras, los equipos de agricultura de precisión tienen que ser capaces de:

- Disponer de mecanismos más precisos de ajuste y control de la maquinaria durante el trabajo en campo.
- Adquisición automatizada de la información y manejo de los datos mediante ordenadores y bases de datos bien estructuradas. Uso de sistemas de información geográfica (GIS). Empleo de sistema de ayuda a la decisión (modelos de predicción del cultivo, suelo, etc.; sistemas expertos).

- Distribución de abono localizada y variable según las características del suelo en cada punto, su riqueza en nutrientes, agua y crecimiento del cultivo.

El conjunto de técnicas que conocemos como "agricultura de precisión" no siempre corresponden a un concepto bien definido. De hecho ni siquiera este nombre es el único que se emplea para referirse a dichas técnicas: también podemos encontrar expresiones tan dispares como "agricultura de prescripción", "gestión agrícola específica del terreno" o "tecnologías de aplicación de dosis variable" (en inglés: prescription farming, site-specific management, variable rate application technology). De cualquier forma todos estos términos confluyen en una idea común: los cultivos y los suelos no son uniformes en su distribución espacial.

Valero Ubierna, Constantino.

Dpto. Ingeniería Rural, Universidad Politécnica de Madrid.

- Distribución de fitosanitarios localizada según las necesidades del cultivo.

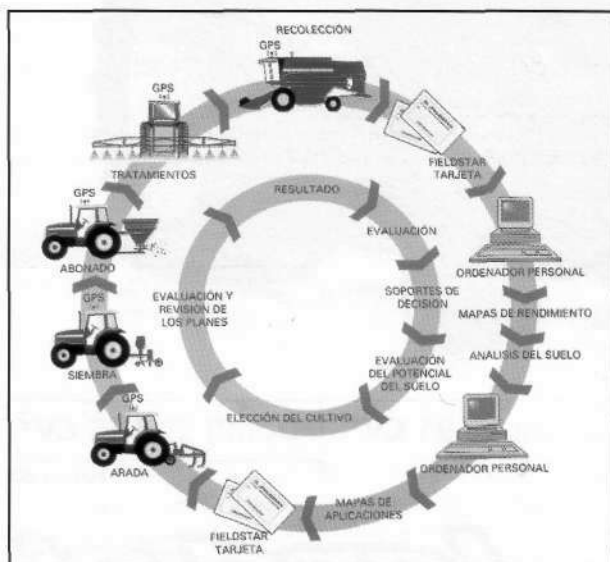
En realidad hay dos formas de llevar a cabo la agricultura de precisión: una basada en mapas y otra basada en sensores en tiempo real. La primera se fundamenta en el almacenamiento de la información y la confección de mapas (p.ej. de producción) para realizar posteriormente las tareas de cultivo; la segunda se basa en sensores instalados en cada maquinaria de cultivo que detectan el estado de la planta o suelo según avanzan por el terreno y controlan la labor del apero en consecuencia. La técnica más empleada es la primera (mapas) y es a la que nos vamos a referir en lo sucesivo.

Aunque los elementos que componen los equipos de agricultura de precisión pueden variar, hay ciertos componentes comunes a todos, que vamos a describir brevemente.

Localizando la maquinaria en el terreno: sistemas GPS

Dado que la agricultura de precisión se basa en la localización exacta de las variaciones dentro de la parcela, es imprescindible el uso de un sistema que permita identificar de manera unívoca la posición de la maquinaria trabajando en el campo con relación a las coordenadas terrestres (latitud, longitud). Esto es posible gracias al uso de los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y de las comunicaciones vía satélite. La máquina (tractor, cosechadora...) dispondrá de un receptor por el que le llegan las señales desde varios satélites, y el sistema electrónico es capaz de calcular las coordenadas correspondientes.

Existen dos redes de satélites de este tipo, la estadounidense (GPS-Navstar) y la rusa (GLONASS). Ambos están formados por 24 satélites orbitando alrededor de la Tierra, y ambos nacieron con fines militares, aunque hoy en día se usan también con fines civiles (aviación, ingeniería, etc.). Lo importante es que la precisión en la localización de un punto del terreno que proporcionan estos sis-



El ciclo de cultivo de la agricultura de precisión comienza y termina con la toma de datos de producción en la cosechadora. Una vez evaluados estos datos, unidos a otras informaciones (análisis de suelo) y tomadas las decisiones, las operaciones de cultivo siguientes se realizarán de forma individualizada en cada m².

temas es baja (está disminuída a propósito, de hecho) y sólo llega a +/- 100 m ó +/- 35 m respectivamente, lo cual es insuficiente para el uso agrícola. Este problema se solventó mediante la implantación del sistema DGPS o GPS diferencial, que se basa en la instalación de antenas emisoras auxiliares en lugares estratégicos, de forma que la señal conjunta de éstas y los satélites permiten corregir los errores de posicionamiento y llegar a precisiones cercanas al centímetro.

Medir la producción y representarla: mapas de rendimiento

Puesto que el objetivo final es que cada punto del terreno produzca el máximo posible, lo primero que necesitamos es representar gráficamente el rendimiento particular en todos los puntos. Para conseguirlo, la primera máquina que tiene que disponer de los elementos necesarios es la cosechadora (en el caso de cultivos de grano) o la maquinaria de recolección correspondiente.

Las cosechadoras de cereales pueden ir equipadas con una serie de dispositivos que funcionan conjuntamente para generar los mapas de rendimiento:

- Sensor de producción: normalmente situado en la parte superior del elevador de grano desde las cribas a la tolva. Existen varios tipos de sensores, dependiendo de su principio físico de funcionamiento. En general se distingue entre los que miden volumen y los que miden flujo de masa, y pueden funcionar mediante células de carga (microbalanza), sensores de fuerza, de impactos o de interferencia de radiación electromagnética. En los sistemas que miden masa de grano es fundamental que se mida a la vez el contenido en humedad del grano, puesto que de lo contrario se incurriría en importantes errores al calcular el rendimiento tras el secado del grano. Adicionalmente deben existir sensores de pérdidas de grano en

la salida de los órganos de separación.

- Sensor de medición de anchura de trabajo y velocidad de avance: en las cosechadoras más avanzadas estas dos informaciones las proporciona automáticamente la máquina, si bien el operario tendrá que realizar en ocasiones ajustes, como cuando la anchura real de trabajo no corresponda con la anchura útil o cuando se observe un patinamiento que la cosechadora no es capaz de medir. Estos sistemas se complementarán con la información proporcionada por el DGPS.

- Sistema de posicionamiento en el terreno: antena receptora GPS

- Sistema de visualización de datos: mediante un monitor electrónico que integre toda la información visualmente y pueda crear el mapa de rendimiento.

- Sistema de almacenamiento de datos, transferencia a un ordenador de oficina y programa de gestión de la información: en los sistemas de agricultura de precisión avanzados se le exige al monitor que sea capaz de guardar los mapas de rendimiento en un soporte electrónico transferible a otro ordenador, o bien enviarlos por radio. En este último podremos combinar la información de la producción con otros datos para tomar decisiones más eficazmente

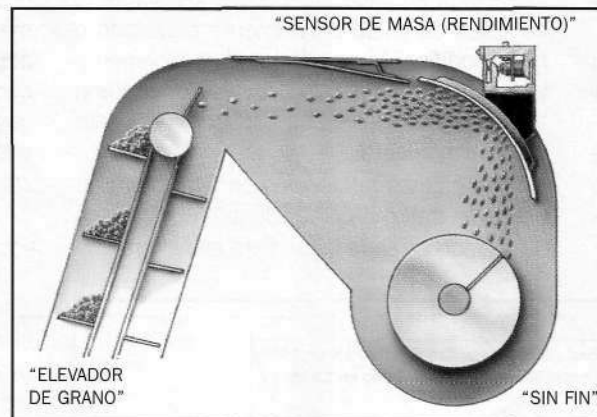
En el caso de otros cultivos que no se aprovechan por su grano, también se están desarrollando sensores capaces de medir el rendimiento. En picadoras autopropulsadas de forraje el sensor principal es similar al de las cosechadoras, ya que mide cantidad de flujo másico del material que va siendo impulsado hacia el deflector de salida. En empacadoras se están implantando sensores de tamaño de paca combinados con sensores de humedad y densidad. En cosechadoras de remolacha una solución puede ser la instalación de células de carga bajo las cintas de paso de las raíces.

En todos los casos, la confección del mapa es tarea de un programa específico del tipo GIS (sistema de información geográfica) que se encarga de unir la información de localización de cada punto con su valor de producción, o cualquier otro dato útil.

Más mapas: suelo, agua, malas hierbas...

Para obtener una idea lo más cercana a la realidad de las diferencias de producción entre las diferentes zonas de una parcela y poder entender por qué se producen es necesario disponer de otros mapas adicionales: de la riqueza en nitrógeno, fósforo y potasio del suelo, del contenido en materia orgánica, de la humedad, e incluso de la infestación por malas hierbas.

Todo ello requiere un trabajo adicional que, por ahora, no está demasiado automatizado. Para conseguir mapas de fertilidad del suelo no queda más remedio que realizar análisis de laboratorio en toda la parcela, bien tomando muestras aquí y allá aleatoriamente (poco recomendable) o bien planificando una cuadrícula de puntos de extracción de las muestras y llevando a la parcela una antena portátil GPS para ir registrando la posición exacta en cada uno de los puntos. Todas las muestras se enviarán poste-



La cosechadoras de cereales para agricultura de precisión incorporan sensores de producción en los conductos de elevación de grano hasta la tolva.

riormente al laboratorio y los datos resultantes se introducirán en el programa de ordenador para la creación de mapas.

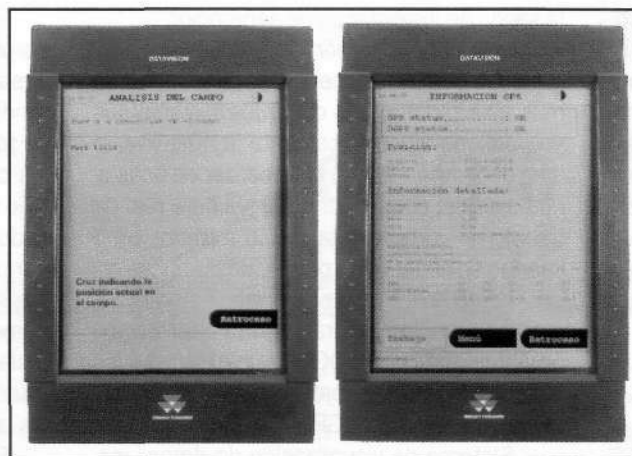
La confección de mapas de malas hierbas es todavía más compleja y se están estudiando diversas formas de hacerlo: un experto que reconozca y valore manualmente sobre el terreno, auxiliado por un GPS; o bien equipos de análisis de imagen automáticos montados sobre la maquinaria de pulverización. Este último caso es un ejemplo de cómo algunos mapas se confeccionan a la vez que se realiza el tratamiento con la maquinaria para el cultivo siguiente.

Controlar las dosis en cada m²

Una vez dispongamos de todos los mapas y datos de nuestras parcelas, llega el momento de dar un tratamiento diferenciado a cada metro cuadrado de terreno, para conseguir su máximo rendimiento en el siguiente año.

Para ello es necesario que las distintas máquinas y aperos dispongan de mecanismos específicos para el control de la dosis/labor realizada de forma muy precisa, además del correspondiente GPS montado en el tractor.

La fertilización con dosis variable en el caso de abonos granulados requiere mecanismos de dosificación controlados por ordenador que actúen sobre un disco de salida de velocidad variable, una ventana de caída de apertura modificable, o una cadena con velocidad regulada. Si queremos dosificar inde-



Los equipos completos para agricultura de precisión deben agrupar distintos componentes funcionando coordinadamente: medición de la producción, medición de la posición de la máquina, medición del área trabajada y gestión de datos.

pendientemente N, P y K, o bien combinar varios abonos compuestos, la fertilización de precisión puede complicarse notablemente. En el caso de abonos líquidos, los mecanismos serán similares: control electrónico de las bombas dosificadoras, de la presión, abrir o cerrar individualmente las boquillas, etc.

La aplicación de tratamientos fitosanitarios líquidos es similar a la del caso anterior. En líneas generales, para aplicar una dosis diferenciada en cada lugar podemos: variar la cantidad de caldo previamente mezclado o bien modificar la proporción dinámicamente inyectando una cantidad variable de materia activa en un volumen constante de disolvente en cada momento.

Las últimas tendencias en agricultura de precisión tratan de dar incluso un laboreo diferenciado en cada lugar. Para ello el arado o

cultivador correspondiente llevará instalados sensores de esfuerzo en varios puntos y actuadores para variar la profundidad de trabajo (o presión, o velocidad de rotación de fresado). De esta forma se conseguirá labrar cada metro cuadrado de acuerdo con sus necesidades.

Ayudando a las decisiones

Todos los sistemas y equipamientos necesarios para la agricultura de precisión generan una cantidad de información que puede resultar excesiva para el agricultor, o bien puede ser difícil de combinar para tomar las decisiones finales de cultivo. Por ello los programas de gestión de la información

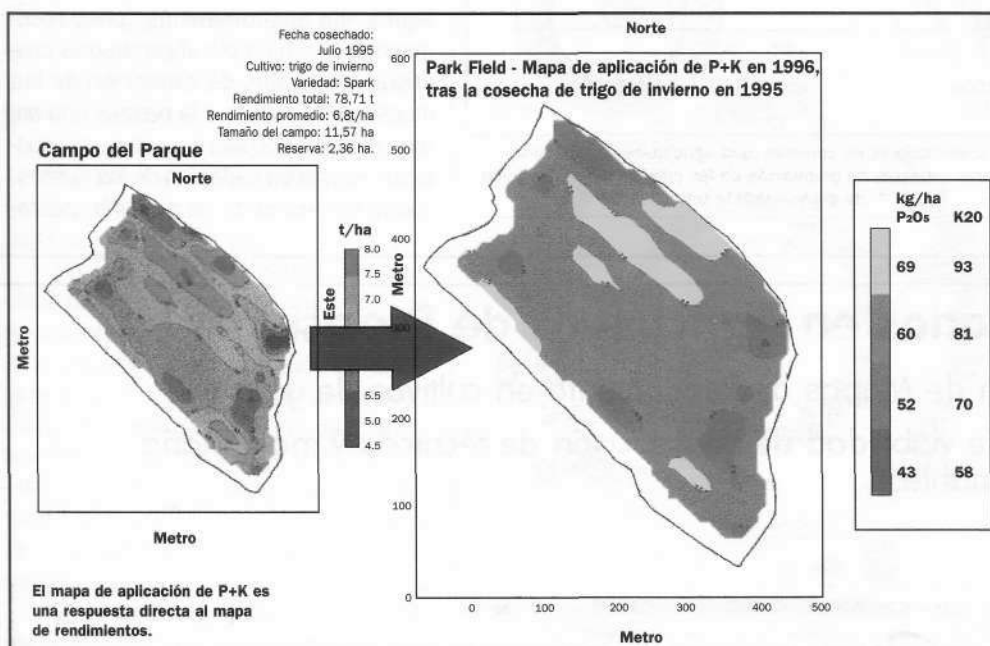
que el agricultor puede utilizar en su ordenador de oficina incluyen cada vez más módulos de ayuda a la decisión.

Los sistemas de ayuda a la decisión son programas que combinan algoritmos matemáticos (p.ej. cálculo de la dosis de abono nitrogenado según las extracciones del cultivo y la riqueza en suelo) con bases de datos de sistemas expertos (el conocimiento de expertos humanos traducido a reglas lógicas entendibles por una máquina) y con modelos matemáticos de simulación (del crecimiento de las plantas, del suelo, etc.) que, en conjunto, son capaces de analizar los datos de los mapas y sugerir la decisión de cultivo más recomendable en cada punto.

Adopción de la tecnología: pero ¿se usa o no se usa?

Con lo que hemos visto hasta ahora, está claro que la agricultura de precisión requiere de un grado de tecnificación alto en la maquinaria y en la explotación en general para llegar a ser una realidad útil. La pregunta es ¿hay alguien que esté usando todo esto en la actualidad? La respuesta es: sí.

Lo primero que hay que tener en cuenta es que existen varios niveles de empleo de las técnicas de agricultura de precisión. Hay muchos agricultores que emplean cosechadoras dotadas de monitor de rendimiento (aunque no lleven antenas GPS ni medios de intercambio de datos con un ordenador) y que simplemente van observando la información del monitor electrónico para descubrir variaciones de producción en sus campos; uniendo estos datos puntuales con su experiencia propia será capaz de optimizar las tareas de cultivo. Si además la cosechadora está dotada de GPS y puede confeccionar mapas de rendimiento, el agricultor podrá comparar los mapas de años sucesivos. Los siguientes pasos



En los mapas de rendimiento (izquierda) se pueden descubrir diferencias de producción de hasta el 100%. El mapa de aplicación de fertilizantes (derecha) será consecuencia de las decisiones tomadas sobre el rendimiento.

serán: integrar los análisis de suelo en el conjunto de la información, gestionar todos los datos en un ordenador y, finalmente, el uso de maquinaria con capacidad de aplicación de dosis variable.

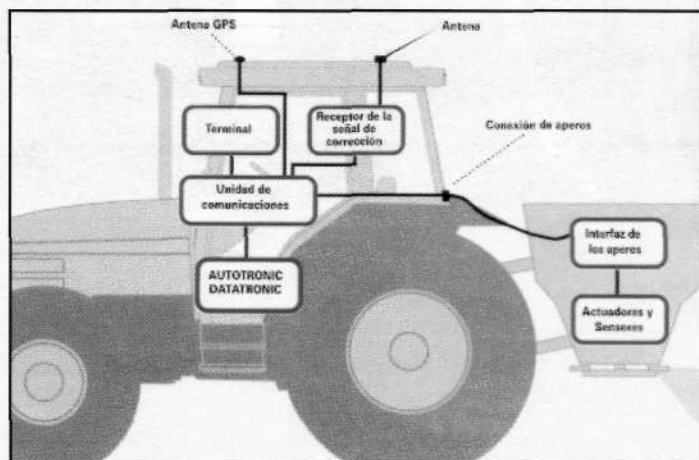
En una encuesta publicada en julio de 2001 por la Universidad de Purdue y la revista CropLife se ha estudiado el uso real de la agricultura de precisión y su evolución en las últimas campañas en Estados Unidos. Sorprendentemente «el uso general de las tecnologías de precisión llegó al 63% de los agricultores en el medio-oeste, si bien en otros estados llega sólo a 28%. En la campaña 1999/2000, tras unos cuantos años de crecimiento muy rápido, el ritmo ha frenado ligeramente, igual que en el 2001». Pensar que existen grandes áreas de cultivo en las que más de la mitad de los agricultores emplean agricultura de precisión debería romper los esquemas de los más reacios. Es cierto que el nivel de tecnificación en Norteamérica es el más alto del mundo, y los márgenes de explotación son distintos a los españoles, pero este hecho marca una tendencia que no se puede ignorar.

Otra encuesta realizada por la EFITA (Federación Europea para las Tecnologías de la Información en Agricultura, Alimentación y Medioambiente) en 1999 a miembros de los servicios de extensión agraria, ingenieros, científicos y agricultores estudió el uso de la IT (Information Technology: ordenadores, programas de gestión, internet, etc.) en la agricultura. Las conclusiones fueron que la adopción de estas herramientas era pobre en el campo, si bien los agricultores estaban convencidos de que si no las usaban «perderían capacidad competitiva» en su negocio, y los servicios de extensión agraria señalaban que «el futuro de la agricultura pasaba necesariamente por estas tecnologías».

El factor económico: ¿es rentable?

En última instancia, la adopción de la agricultura de precisión dependerá de si el agricultor ve rentabilidad en ello. La agricultura de precisión es una tecnología reciente (aunque hace casi una década que se empezó a desarrollar) y como tal requiere unas inversiones iniciales que podrán ser amortizadas en el futuro a medida que su desarrollo se perfeccione.

Los costes de la agricultura de precisión normalmente se han estudiado midiendo el gasto en medios de producción (fertilizantes, fitosanitarios, etc.) que deberán reducirse si se emplea adecuadamente la técnica y las de-



El control de los aperos para la aplicación de tratamientos diferenciados en cada punto requiere de un ordenador/monitor en el tractor, receptores GPS y "aperos inteligentes" con gestión electrónica de dosis.

cisiones son correctas. Un fabricante de maquinaria indica en su folleto que el «ahorro medio de consumos es de 10.000 pesetas por hectárea» en cultivos de cereal europeos. Sin embargo no son despreciables los costes de adquisición y reposición de los equipos, ni los de aprendizaje del personal.

Los beneficios tampoco son fáciles de cuantificar: la comparación entre el aumento de producción de una parcela gestionada con agricultura de precisión y su rendimiento antes de aplicar la técnica, puede conllevar errores debidos a factores que no se han tenido en cuenta en su momento, como el microclima de cierta zona. Igualmente, los beneficios medioambientales son difícilmente evaluables.

Los estudios de rentabilidad a corto plazo muestran rentabilidad económica en algunos casos. La rentabilidad es mayor en cultivo de mayor valor añadido (patatas, hortalizas, siembra) que en cultivos con poca elaboración (maíz grano, cereales), y es mayor cuantos más factores de producción seamos capaces de controlar con las técnicas de dosificación variable.

Sistemas comerciales

Las soluciones que nos ofrecen los fabricantes para la implantación de la agricultura de precisión son variadas y, hasta hace poco, algo confusas. La situación hace algunos años era que cada fabricante lanzaba al mercado su sistema (en ocasiones simplemente una pantalla de rendimiento, en otras todo un servicio postventa para aprendizaje del programa de gestión), incompatible con los de la competencia. Los prospectos informativos vendían grandes ideas y no quedaba claro cómo poner en práctica las decisiones de cultivo para la campaña siguiente, sobre todo si la maquinaria a utilizar era de otro fabricante.

Afortunadamente esta situación está cambiando en la actualidad, debido a dos factores. En primer lugar, la falta de concreción de los sistemas no es imputable en su totalidad a los fabricantes: es la colaboración entre fabricante y usuario la que define el sistema idóneo para cada agricultor, y la que va creando las líneas de desarrollo de la tecnología. Así es como la agricultura de precisión ha ido evolucionando en distintas partes del mundo, fundamentalmente EEUU.

Por otro lado, la incompatibilidad de los distintos sistemas se está solventando gracias a una estandarización reglamentada internacionalmente, que se ha materializa-

do en la creación del estándar DIN 9684 (también conocido como LBS+) que define las conexiones electrónicas entre las diferentes partes de un equipo de agricultura de precisión mediante una pequeña red informática (CAN), el intercambio de datos y señales entre ellos, y las especificaciones básicas que debe tener el terminal (monitor) de control. Gracias a este acuerdo entre fabricantes, en un futuro muy próximo será posible extraer el monitor de rendimiento de la cosechadora y conectarlo al tractor (de otra marca) para realizar tareas con "aperos inteligentes", o llevarlo en el bolsillo hasta la oficina para volcar los datos al ordenador, y todo ello sin problemas de incompatibilidad de formatos ni conexiones.

Entre los sistemas disponibles podemos destacar: el Fieldstar de Massey Ferguson (Fendt, AgCo) con su monitor Datavision II; el sistema Agrocom de Claas con el ordenador Cebis; o el sistema Greenstar de John Deere, si bien hay otros igualmente interesantes, y muchos fabricantes de maquinaria están esforzándose por implementar en sus máquinas dispositivos de control electrónico de precisión.

A modo de conclusión, se puede señalar que el ingeniero agrónomo y economista de la Universidad de Purdue Lowenberg-DeBoer, ha señalado que la agricultura de precisión es uno de los cambios tecnológicos más importantes en la agricultura desde la introducción del tractor a principios del siglo XX. En aquella ocasión el uso del tractor pasó por etapas de euforia y retroceso, a la vez que se ajustaba la forma de producción a la nueva tecnología, y se modificaba el tractor para ajustarlo a las necesidades de producción. En el caso de la agricultura de precisión el proceso está siendo similar, y la tendencia será claramente a que se incorpore en las explotaciones agrícolas de forma más eficiente y económicamente rentable según se siga desarrollando.