

Bases tecnológicas de la Agricultura de Precisión

Àlex Escolà

Coordinador del Grupo de Investigación en
AgróTICa y Agricultura de Precisión de la
Universitat de Lleida – Agrotecnio-CERCA Center.

Introducción

La ardua tarea de alimentar a la humanidad encomendada a agricultores y a técnicos no solo implica la producción de alimentos suficientes sino también la responsabilidad de velar por el medio ambiente. Así, el uso de recursos agrícolas, además de ser eficaz, debe, necesariamente, ser eficiente.

Por consiguiente, el objetivo de la agricultura moderna es doble: incrementar las producciones y conseguir una actividad agrícola sostenible. Dicha sostenibilidad no solamente se refiere al medio ambiente, implica, además, que las explotaciones agrícolas puedan sobrevivir, hablando en términos económicos. Es por ello que estamos frente a la necesidad de posibilitar el incremento de la producción de manera sostenible para el reto que supone el incremento de los alimentos en un 30 % para los próximos 30 años.

Se exponen a continuación los principales aspectos referentes a la evolución de la agricultura y al desarrollo de la Agricultura de Precisión como herramienta clave para el uso eficiente y sostenible de los insumos en el proceso productivo.

Evolución y ciclo de la Agricultura de Precisión

Para conseguir una producción creciente de alimentos, desde la sedentarización de los primeros Homo sapiens, la agricultura ha experimentado varias revoluciones. En la **Figura 1** se muestra una de las posibles clasificaciones de su evolución por etapas.

En la Agricultura 1.0, agricultores y jornaleros estaban en estrecho contacto con sus campos puesto que los recorrían a velocidad de trabajo de bueyes y mulas. Tenían tiempo de sobras para observar sus características, entender su variabilidad y manejarlos en consecuencia. Así, una zona muy productiva seguramente recibiría más estiércol que una zona con una producción limitada por el tipo de suelo o su profundidad. Este conocimiento de los campos y el manejo específico de cada zona según sus

características se perdió en la Agricultura 2.0, con la aparición de los tractores y la mecanización agraria. Los pequeños campos se agruparon en campos mayores, la velocidad de trabajo pasó de los 2 o 4 km/h de los bueyes a los 5 o 8 km/h de los tractores. El agricultor dejó de recorrer sus propiedades a pie y se montó en un vehículo que tenía la obligación de trabajar muchas horas y mucha superficie y hacerlo a gran velocidad para recuperar la inversión. Las dosis se armonizaron para la nueva unidad de manejo: todo el campo. Un campo que, por haber crecido con la anexión de los campos colindantes, era ahora todavía más variable. El uso de los recursos agrícolas perdió eficiencia en aras de incrementar la producción al mínimo coste posible.



Figura 1.
Evolución y clasificación por etapas de la Agricultura.

Actualmente, podríamos decir que nos encontramos en la denominada Agricultura 3.0. La sociedad se ha dado cuenta de que no todo vale para incrementar la producción y los beneficios. Hemos comprobado que el uso indiscriminado de fertilizantes, herbicidas y productos fitosanitarios es perjudicial para el medioambiente y, por consiguiente, para la humanidad a la que debemos alimentar. Y hace ya un tiempo que estamos hablando de utilizar los insumos de forma razonable y lógica. Es decir, de forma eficiente y sostenible. La digitalización ha contribuido enormemente a esta revolución. Pero, cuidado, digitalizar no es suficiente! Estrictamente hablando, la digitalización es el proceso por el cual pasan los datos de analógicos a digitales, del papel a los ceros y unos, del archivador a la carpeta del ordenador o del cuadernillo a la hoja de cálculo.

Y el mero hecho de tener datos digitales no implica, automáticamente, que las decisiones tomadas sean mejores. La digitalización ha permitido la automatización de muchos procesos, la recopilación y análisis de datos históricos, la integración de datos provenientes de fuentes diversas y variadas.

Es así como los datos digitales convenientemente analizados pueden convertirse en información útil para que el agricultor y los técnicos puedan tomar decisiones de manejo mejor documentadas. Y aquí es donde entra en juego la Agricultura de Precisión.

Según la Sociedad Internacional de Agricultura de Precisión (la ISPA, en inglés), *la Agricultura de Precisión es una estrategia de gestión que recoge, procesa y analiza datos temporales, espaciales e individuales y los combina con otras informaciones para respaldar las decisiones de manejo de acuerdo con la variabilidad estimada, y así mejorar la eficiencia en el uso de recursos, la productividad, la calidad, la rentabilidad y la sostenibilidad de la producción agrícola.*

En definitiva, lo que pretende la Agricultura de Precisión (AP) es utilizar técnicas y tecnologías para brindarle al agricultor aquel conocimiento de su pequeño campo que tenía durante la Agricultura 1.0 y que perdió durante la Agricultura 2.0. La AP también facilita herramientas para poder hacer un manejo sostenible y adecuado a las características particulares de cada zona dentro del campo. Es decir, lo que pretende la AP es pasar de la unidad de manejo campo a la unidad de manejo zona, dentro de ese campo. En la Agricultura 2.0, todo el campo recibía la misma dosis de riego, la misma dosis de fertilizante, la misma dosis de fitosanitarios, el laboreo era uniforme y la siembra o plantación, también.

El campo era tratado como una unidad uniforme, invariable, indivisible. En cambio, en una primera etapa (**Figura 1**), la AP utiliza observaciones del propio agricultor pero también sensores, ya sean próximos o remotos, para recopilar datos sobre el campo y sobre el cultivo. En una segunda etapa, se analizan los datos conseguidos y se observa si el suelo del campo o el cultivo presentan variaciones importantes que puedan justificar un manejo a una escala menor que la unidad campo. Es decir, se convierten los datos en información útil para que el agricultor y sus asesores puedan tomar decisiones de manejo más documentadas. Estas decisiones se toman en la etapa tercera y la primera de ellas es decidir si se mantiene un manejo uniforme para todo el campo o bien si la variabilidad detectada justifica, agrónomica y económicamente, una actuación variable en el campo.

Figura 2.
Ciclo de la Agricultura de Precisión,
empezando por la etapa de Adquisición
de datos.



Finalmente, una vez elaborada la prescripción correspondiente, en la cuarta etapa se procederá a materializar la operación y si se trata de una actuación variable se pueden utilizar las tecnologías de dosificación variable de la AP para llevarla a cabo (VRT en inglés). Asociadas a cada etapa del ciclo de la AP aparecen técnicas, tecnologías y herramientas disponibles para llevarlas a cabo (Figura 2). El ciclo de la AP se puede llevar a cabo de tres maneras distintas. La primera es la denominada **Agricultura de Precisión basada en mapas**. En ella, los datos tomados en la primera etapa deben localizarse mediante receptores GNSS (Global Navigation Satellite Systems) para, posteriormente, en la segunda etapa, poderlos interpolar y representar la distribución espacial de la variable medida en forma de mapa (mapas de características del suelo, mapas de vigor del cultivo, mapas de cosecha, modelos digitales del terreno, etc.). La prescripción resultante de la etapa de toma de decisiones también tendrá forma de mapa (mapa de dosis de siembra, mapa de dosis de fertilizante, mapa de dosis de fitosanitarios, etc.). Y ese mapa de prescripción se puede cargar en el controlador del tractor o bien de un apero equipado con tecnologías de dosificación variable para que, automáticamente, el equipo vaya modificando la dosis aplicada en función de su posición en el campo según lo indicado en el mapa de prescripción.

Es evidente que la base de este tipo de AP es la georeferenciación de los datos, de las decisiones y de los equipos y para ello, es casi imprescindible el uso de receptores GNSS en la primera etapa y la última y el manejo de datos georeferenciados y sistemas de información geográfica (SIG) en la segunda y en la tercera.

Hay otro modo de practicar la AP, la denominada **Agricultura de Precisión en tiempo real**. Así como en la AP basada en mapas entre la adquisición de datos y la actuación en campo pueden pasar varias horas o días o incluso semanas, en la AP en tiempo real el ciclo se ejecuta, como indica el propio nombre, en tiempo real. Así, mientras el tractor y el apero van circulando por el campo, los sensores embarcados toman los datos, el controlador de a bordo los procesa y los analiza, se toma una decisión y los controladores del apero la ponen en práctica en el mismo momento. En cuestión de milisegundos se llevan a cabo las cuatro etapas. Si bien en este tipo de AP no es necesario georeferenciar los datos ni la prescripción, sí resulta conveniente hacerlo para tener un registro de lo que realmente se ha realizado en el campo. Tampoco escapará al lector que la inmediatez de la AP en tiempo real no permite relacionar los datos tomados sobre la marcha con otras informaciones disponibles, como tampoco permite prever la cantidad de insumo a aplicar a priori.

La tercera metodología para llevar a cabo la AP es, simplemente, la fusión de las dos anteriores. Así, la toma de datos georeferenciada y la ejecución del mapa de prescripción en la cuarta etapa del ciclo va a ser afectada por la intervención de sensores y actuadores que modularán la dosis final aplicada en función de los datos tomados en tiempo real.

Para entender mejor lo anteriormente expuesto, vamos a ver un ejemplo basado en la aplicación de productos fitosanitarios en plantaciones de especies leñosas. Habitualmente, la aplicación de fitosanitarios en este tipo de plantaciones se realiza mediante pulverización foliar. Como su nombre indica, el objetivo de este tipo de tratamientos es la superficie de las hojas y es evidente que, cuanto más superficie foliar tenga una planta, más cantidad de producto debería pulverizarse para conseguir una deposición suficiente. Si consideramos una plantación con todos los árboles exactamente iguales, una dosis uniforme de producto para la plantación sería lo más indicado. Sin embargo, la realidad dista mucho de esta suposición. Los árboles suelen crecer de forma variable, especialmente si se trata de una plantación de gran superficie. Estas diferencias pueden ser debidas a características cambiantes del suelo, a la incidencia variable de plagas y enfermedades, a un sistema de riego deficiente,

etc. Así las cosas, el vigor de las plantas o su estado sanitario o hídrico pueden provocar un crecimiento diferenciado dentro de una misma plantación dando lugar a plantas con diferente superficie foliar. En este caso, la aplicación de una dosis uniforme daría lugar a diferencias en la cantidad de materia activa depositada en las hojas de cada planta. Así, un árbol pequeño podría resultar sobredosificado mientras un árbol grande, con muchas más hojas, podría resultar subdosificado. Pues bien, es en este caso en el que la AP y una aplicación variable tendría pleno sentido.

Para ello podríamos poner en práctica la Agricultura de Precisión basada en mapas. En este caso, sería necesario elaborar un mapa de la cantidad de vegetación en cada punto de la parcela. Este tipo de mapas se puede elaborar a partir de sensores de vigor u otro tipo de sensores embarcados en plataformas remotas tales como satélites, avionetas o drones o bien en plataformas terrestres. Los sensores de vigor son, habitualmente, sensores radiométricos que estiman el vigor de una planta en base, por ejemplo, a la actividad fotosintética que realizan y se asume que un árbol vigoroso tendrá más superficie foliar que un árbol de la misma plantación menos vigoroso. Una vez elaborado el mapa del cultivo y clasificado el vigor de las plantas, es necesario generar un mapa de prescripción, asociando una dosis de fitosanitario a cada clase de vigor. Finalmente, si la variabilidad del cultivo es alta o presenta poca estructura espacial, lo más recomendable es utilizar un pulverizador equipado con tecnologías de dosificación variable, capaz de autoregularse para variar el caudal pulverizado en función de la zona de la plantación en donde se halle, a partir del mapa de prescripción (Figura 3).

Otra opción sería la Agricultura de Precisión en tiempo real. En este caso, el pulverizador debe embarcar un sensor o grupo de sensores que vayan midiendo las dimensiones de las copas y su frondosidad para ajustar la cantidad de caldo fitosanitario aplicado a las características de la vegetación. Para ello, es necesario que el pulverizador vaya equipado también con actuadores que modifiquen de forma continua el caudal pulverizado en tiempo real.

Tanto en el caso de la AP basada en mapas como en la basada en tiempo real, es muy conveniente que el pulverizador incorpore un receptor GNSS y sensores de caudal o presión con el fin de generar un registro de la dosis de fitosanitario realmente aplicada en cada punto de la plantación. Estos datos permitirán al agricultor y al técnico disponer de la información necesaria para evaluar la calidad del tratamiento y relacionarla con su eficacia biológica.

Finalmente, una fusión de las dos metodologías sería el caso de un pulverizador capaz de interpretar y ejecutar un mapa de prescripción con dosis diferentes en zonas distintas de la plantación y, a la vez, estar equipado con un sensor de detección de vegetación. Así, en el caso de estar en una zona con una dosis de aplicación prescrita de 750 l/ha el pulverizador se autoregularía para aplicar esa dosis siempre y cuando enfrente a las boquillas hubiera un árbol. En caso de ausencia de vegetación, aun estando en una zona de 750 l/ha, el caudal pulverizado sería cero puesto que no tendría sentido aplicar producto en una zona sin vegetación.

Si la Agricultura de Precisión se encuentra en la denominada Agricultura 3.0, vemos que todavía falta mucho tiempo para llegar a la Agricultura 4.0. Ello supondría el intercambio y análisis automático de miles o millones de datos (Big Data) generados por todos los subsistemas de una explotación agraria para la toma automatizada de decisiones y la gestión de un único sistema ciberfísico que aglutinara todos los elementos de esa misma explotación. Y todavía falta más para llegar a lo que parece que será la Agricultura 5.0, en donde la gestión de los datos y la actuación va a ser realizada enteramente por sistemas robotizados autónomos.

No estamos hablando de un robot agrícola que realice una función determinada, puesto que eso ya existe en la agricultura actual, sino de flotas de robots con funciones distintas que compartan sus datos y tomen decisiones de manera conjuntas y coherente para la gestión global de la explotación. ¡Esperemos que todo esto cuente, por lo menos, con la supervisión del agricultor!

Siguiendo con el ejemplo de los equipos de aplicación de productos fitosanitarios en cultivos leñosos, es importante destacar que antes de incorporar dispositivos electrónicos es imprescindible que los equipos sean ya lo más eficientes posible. En la aplicación de fitosanitarios, la eficiencia de aplicaciones la ratio entre la fracción de líquido que realmente se deposita sobre las hojas, denominada fracción útil, y la cantidad total aplicada. Una aplicación ideal, sin pérdida alguna, tendría una eficiencia de aplicación del 100 %.

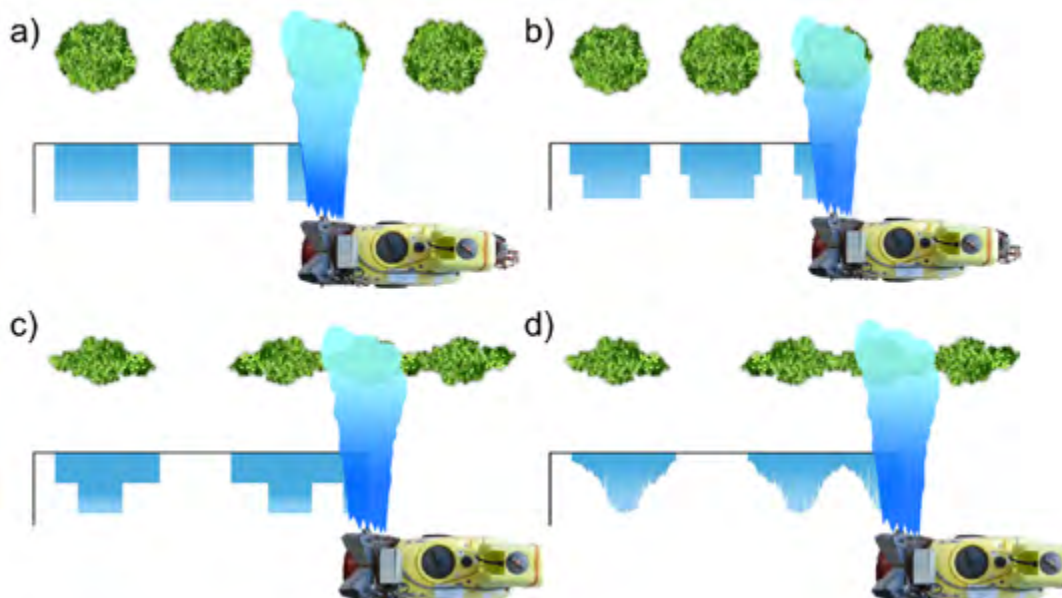


Figura 3. Pulverizador hidroneumático equipado con tecnologías de dosificación variable para la
a) Aplicación selectiva;
b) Aplicación pseudo-variable en vaso;
c) Aplicación pseudo-variable en seto;
d) Aplicación variable continua.

Figura 4.

Las copas de volumen reducido y bidimensionales del seto (izquierda) permiten una mayor eficiencia en la aplicación de productos fitosanitarios. Ensayos realizados por el GRAP en 2020 en almendro demuestran que tanto la deriva como el coste los tratamientos se redujeron significativamente.



Sin embargo, esta aplicación no existe ya que la interacción entre el equipo, la planta, el sistema de formación, la meteorología y el operario, entre otros, provoca siempre un porcentaje de pérdidas que fácilmente llega al 50 %. El primer paso es conseguir la máxima adaptación entre el sistema de formación y el equipo de aplicación y viceversa (**Figura 4**).

Se trata de maximizar la exposición del objetivo frente a la pulverización y minimizar el recorrido de las gotas para aumentar la deposición y reducir las pérdidas.

El hecho de utilizar equipos más eficientes y sistemas de formación que mejoran la penetrabilidad de la pulverización conlleva la necesidad de reajustar los volúmenes de aplicación unitarios y los caudales de aire a la baja. Esto repercute directamente en ahorro de productos fitosanitarios, en una reducción importante de las pérdidas y, por lo tanto, en una mayor eficiencia y sostenibilidad en el uso de este tipo de productos (**Figura 5**).

Finalmente, la robótica parece que ha llegado para quedarse y, poco a poco, va apareciendo en el mercado soluciones que buscan reducir los riesgos de contaminación y maximizar la eficiencia. Un buen ejemplo son los pulverizadores robotizados de la marca americana GUSS (**Figura 6**). Sin embargo, de poco serviría la robótica si los equipos automatizados no son ya de partida lo más eficientes posible y si el diseño de las plantaciones y de los tratamientos no es el adecuado.

Figura 5.

El cambio del volumen y de la arquitectura de copa, unido a la mejora de los equipos de pulverización ha posibilitado incrementar la eficiencia de los tratamientos fitosanitarios en más del 50 %, reduciendo a la vez su coste e impacto ambiental.



Figura 6

La disponibilidad de equipos de pulverización autónomos es un paso más hacia la automatización de tareas rutinarias en las explotaciones frutícolas como la protección del cultivo.

En las fotografías las dos versiones propuestas por GUSS (California-USA) para baja (6.1) y alta densidad de plantación (6.2).

Sin embargo, esto no será suficiente. Debe seguirse investigando, transfiriendo e innovando en ajustar las dosis insumos a cada cultivo y a cada sistema de formación, en desarrollar sistemas de soporte a la decisión para técnicos y agricultores, en mejorar los equipos de aplicación para que sean más eficientes y en adaptar los sistemas de formación de los cultivos leñosos para que permitan facilitar al máximo las aplicaciones de insumos y las operaciones agrícolas. La evolución de sistemas de formación en vaso a sistemas 2D son un paso interesante y una necesidad en muchos cultivos frutales. En este sentido, este tipo de arquitectura del árbol frutal posibilita un uso más eficiente de insumos e incrementar la producción por unidad de superficie.

Es decir, la “intensificación sostenible” que propone la FAO: “producir más con menos”. Además de todo esto, si realmente se quiere llegar a conseguir una agricultura verdaderamente sostenible, no debería olvidarse la formación de todo el sector en este repertorio de novedades que aparecen y evolucionan tan rápidamente. En definitiva, mejorar la eficiencia productiva reduciendo los insumos con más ciencia y tecnología transferida al sector de forma eficiente. Es el paradigma de la sostenibilidad.

Conclusiones

Las técnicas y tecnologías de la Agricultura de Precisión, y las que van a ir apareciendo, pueden realmente contribuir a mejorar la eficacia y la eficiencia en el uso y distribución de la mano de obra, fitosanitarios, fertilizantes y agua, como principales insumos agrícolas que en cultivos leñosos representan más del 70 % de los costes de producción. Tanto los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (objetivos 2, 12 y 15, www.un.org/sustainabledevelopment/es) así como el Pacto Verde europeo y su estrategia de la granja a la mesa (European Green Deal, Farm to Fork, ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_es) pretenden conseguir en relativamente pocos años una agricultura sostenible y eficiente en el uso de recursos agrícolas. Una reducción en el uso de fitosanitarios del 50 % y en el uso de fertilizantes del 20 %, como pretende el Green Deal para el año 2030 no será tarea fácil si se quiere mantener la producción actual e incluso incrementarla, y menos cuando se establece como tercer objetivo que la producción ecológica en dicho período se incremente del 9 % actual al 25 %.

La mejora de la eficiencia en el uso de fertilizantes y fitosanitarios se consigue aumentando la fracción útil de los insumos aplicados, aquella que realmente será eficaz, y reduciendo las pérdidas. Las aplicaciones selectivas y variables de la Agricultura de Precisión pueden ser una forma de reducir el producto total aplicado en un campo y minimizar las pérdidas.