



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



## DEVELOPMENT OF A TRAINING PROGRAM FOR ENHANCING THE USE OF ICT TOOLS IN THE IMPLEMENTATION OF PRECISION AGRICULTURE

2018-1-ES01-KA202-050709

### **Introducción a la Agricultura de Precisión**

Autor: UPC

Fecha: Marzo 2020

*El presente Proyecto ha sido financiado con el apoyo de la Comisión Europea. Esta publicación (comunicación) es responsabilidad exclusiva de su autor. La Comisión no es responsable del uso que pueda hacerse de la información aquí difundida.*

## Contenido

<b>1</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Instrucciones para el tutor</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1</b>	<b>Qué es Agricultura de Precisión</b> .....	<b>2</b>
2.1.1	¿Qué piensas sobre Agricultura de Precisión? .....	2
2.1.2	Definición de Agricultura de Precisión .....	3
2.1.3	Terminología utilizada en AP.....	6
<b>2.2</b>	<b>Principales herramientas y ejemplos</b> .....	<b>7</b>
2.2.1	Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	8
2.2.2	Sistemas Satelitales de Navegación Global (SSNG).....	8
2.2.3	Sensores.....	10
2.2.4	Tecnologías de Aplicación Variable (VRT) .....	11
<b>2.3</b>	<b>Costes y Beneficios</b> .....	<b>12</b>
<b>2.4</b>	<b>Reglamento y marco legislativo</b> .....	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>Referencias</b> .....	<b>16</b>

## 1 Objetivos

El objetivo de esta sesión es:

- 1) Crear conciencia sobre los conceptos básicos de la Agricultura de Precisión (PA)
- 2) Definir los principales beneficios y costes de usar AP
- 3) Describir las principales herramientas para lograr la AP y exponer ejemplos actuales.
- 4) Visión general del marco legislativo actual en Europa

## 2 Instrucciones para el tutor

Esta lección tiene una duración de 1h30min. La presentación permitirá obtener una visión general de la Agricultura de Precisión a través de una definición reconocida por las principales partes interesadas, algunos ejemplos particulares, el impacto en los beneficios y en el medio ambiente y el marco legislativo actual en Europa.

### 2.1 Qué es Agricultura de Precisión

Para crear conciencia sobre los conceptos básicos de Agricultura de Precisión (AP), la primera parte de la sesión se divide en tres partes:

- 1) Discusión por grupos sobre que piensan que es AP.
- 2) Mostrar algunas definiciones de AP pronunciadas por organizaciones e investigadores de relevancia en el entorno de la AP.
- 3) Describir la terminología principal que define AP.

#### 2.1.1 ¿Qué piensas sobre Agricultura de Precisión?

(Diapositiva 4 del documento *Lección\_introducción AP.pptx*)

La sesión empieza con una actividad sencilla antes de comenzar a concienciar a los asistentes sobre lo que podría ser AP. Para eso, los asistentes se separan en pequeños grupos de 3 personas para escribir una definición de 25 palabras en un tiempo de 5 minutos. Posteriormente, cada grupo expondrá la definición y el instructor escribirá en la pizarra las palabras clave de cada definición leída. Esta actividad debe durar unos 15 minutos (5 minutos para crear la definición y 10 minutos para la discusión).

Una vez finalizada la actividad, las palabras se mantendrán en la pizarra. De esta forma, durante el transcurso de la sesión, cada vez que aparezca una palabra que esté en la pizarra, esta se señalará, reforzando así la intuición de los asistentes y poniendo en relieve sus conocimientos previos.

### 2.1.2 Definición de Agricultura de Precisión

(Diapositiva 5 a 14 del documento *Lección\_introducción AP.pptx*)

McBratney and Whelan (2001) hizo la siguiente definición:

*“El Manejo Específico Localizado de cultivos se puede definir como: hacer coincidir la aplicación de insumos y las prácticas agronómicas con los atributos del suelo y los requisitos de los cultivos, ya que varían en un campo.”*

El concepto a destacar en esta afirmación es el Manejo Específico Localizado de cultivos (SSCM) que se puede entender como la gestión de la *variación dentro de una parcela*. Este es un parámetro clave en el concepto de AP.

La variabilidad en campo proviene básicamente de las características del suelo que en algún momento podría provenir de la unificación de parcelas, dando variabilidad al suelo a pesar de ser una sola parcela.

Khosla (2008) propuso la siguiente definición:

*“Aplicar insumos en el momento correcto, con la cantidad correcta en el sitio correcto, con el recurso correcto y de forma correcta”.*

En esta definición es importante poner el foco en la palabra *insumo* (que es lo único que se puede variar en el campo) y la palabra *correcto*, llevando a los agricultores y partes interesadas a las trabajar de la mejor forma posible con buenas prácticas agrarias.

Un ejemplo de esto es aplicar productos fitosanitarios en el momento correcto (máxima sensibilidad de la plaga), con la dosis correcta por hectárea (para ser letal), en el lugar correcto (considerando la variación en el campo), con el pulverizador calibrado correcto siguiendo las mejores prácticas de manejo como uso de boquillas de baja deriva para evitar la deriva de pesticidas.

El laboratorio de Agricultura de Precisión de la Universidad de Sidney sugiere la siguiente definición (US, web reference):

*“La Agricultura de Precisión (AP), como forma de Manejo Específico Localizado (SSCM), ofrece un remedio a muchas de preocupaciones. La filosofía implica hacer*

*coincidir la aplicación de insumos y las prácticas agronómicas con las propiedades del suelo y los requisitos del cultivo, ya que varían en un sitio.*

*En conjunto, estas acciones se conocen como el tratamiento "diferencial" de la variación de campo en oposición al tratamiento "uniforme" subyacente a los sistemas de gestión tradicionales".*

Con esta definición, el término de Manejo Específico Localizado se refuerza considerando no solo la variación en el campo, sino también el concepto de manejo de las propiedades del suelo y los requisitos del cultivo. La segunda parte de la definición, permite señalar la AP como el punto opuesto a un sistema de gestión uniforme como la gestión tradicional de las parcelas. SSCM lleva implícito que la variación en la parcela tiene que ser identificada y, evidentemente, es necesario realizar una clasificación de esta variación.

Recientemente, la Junta directiva de la Asociación Internacional para la Agricultura de Precisión (ISPA), ha aceptado la siguiente definición de AP como oficial:

*"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".*

Realmente, esta definición es la más completa puesto que incluye todos los términos fundamentales de AP, que se pueden explicar de la siguiente manera:

- *Gestión* de recursos e insumos.
- *Recoge* información de campo a través de sensores (embarcados o en teledetección) o a través de medidas manuales u observación.
- *Procesar* información recogida con SIG (Sistemas de Información Geográfica).
- *Analizada* por un agrónomo o agricultor con ciertas habilidades en AP.
- *Temporal, espacial e individual* en relación a la variación a lo largo de los años, la variación en la propia parcela así como la variación entre individuos.
- *Combinado con otra información* procedente de sensores instalados en el campo y otras fuentes de información procedentes de centros de investigación o instituciones gubernamentales de apoyo a la agricultura.
- *Para respaldar las decisiones de gestión* que debe tomar el agricultor en base a su propia experiencia y complementada con programas de apoyo a la decisión.
- *De acuerdo a una variabilidad estimada como Manejo Específico Localizado.*
- *Para así mejorar la eficiencia en el uso de recursos*, que significa minimizar las pérdidas de insumos así como optimizando su uso.
- *Productividad*, a través del incremento del rendimiento.
- *Calidad* de los productos.
- *Rentabilidad* de las explotaciones a través de hacer más con menos y realizando una actividad más sostenible económicamente.

- *Sostenibilidad de la producción agrícola* para que las generaciones futuras de agricultores puedan seguir con la actividad agraria.

Llegados a este punto nos podemos plantear dos preguntas:

- ¿Qué hay de todos aquellos elementos electrónicos montados en el tractor que ayudan al agricultor a realizar una tarea más precisa?
- ¿Aquellos elementos electrónicos embarcados en el tractor con sistemas satelitales de navegación global (SSNG) muy caros no son AP?

La realidad es que, siempre que esta tecnología se utilice para variar los insumos acorde a la variabilidad de la parcela, se podrá considerar AP.

Algunas soluciones tecnológicas que se acostumbran a presentar como AP, deben ser debatidas en profundidad puesto que se pueden considerar tecnología punta para incrementar la eficiencia de la operación.

Una de las tecnologías que es difícil de separar de AP son los sistemas autoguiado o los de ayuda al guiado, que automatizan la dirección del tractor en una trayectoria perfectamente definida. En parcelas realmente largas, con poca variación de la dirección, es una herramienta realmente útil, puesto que cualquier desviación puede derivar en un error acumulado muy grande al final de la jornada de trabajo. Según Terry Griffin (Economista especialista en producción de cultivos de Kansas State University), “Los sistemas autoguiado ha mejorado la vida de los agricultores y de sus familias. Los operarios de las máquinas están menos cansados y fatigados al final de la jornada de trabajo cuando se utilizan tecnologías como el autoguiado”.

Una situación similar se produce en sistemas de dosis variable adaptados a la velocidad de avance. El objetivo de estos sistemas es permitir una distribución uniforme de los insumos en toda la parcela. Cuanto mayor sea la velocidad de avance, el caudal aumenta y, al contrario, si se reduce la velocidad de avance, también se reduce el caudal manteniendo la dosis por hectárea constante (independiente de la variación de la velocidad)

Por ejemplo, si se utiliza una abonadora, se necesita alta tecnología para alcanzar este objetivo con servomotores eléctricos para ajustar el regulador de dosis, sensores para medir el peso de la tolva, un sensor para medir la velocidad de avance y un sistema electrónico para controlar todos estos sensores y actuadores. Igualmente el objetivo final de estos sistemas es mantener una dosis constante de fertilizante por hectárea. Todos estos sistemas conectados montados en la abonadora, juntamente con un mapa de prescripción permitirán aplicación de fertilizantes variable adaptada a la variabilidad de la parcela.

Otro ejemplo claro es la pulverización de pesticidas en cultivos extensivos. El mercado está lleno de sistemas automatizados que controlan las secciones de la barra para evitar el solape entre pasadas y de esta forma evitar una sobredosis de productos.

Igual como en el ejemplo de la abonadora, se debe hacer una gran inversión en el pulverizador. Se necesita un receptor SSNG de alta precisión (menos de 0,5 m) y un sistema de control automatizado para cerrar la pulverización. Evidentemente se deben añadir otros dispositivos para evitar sobrepresiones en el pulverizador. El objetivo es mantener una dosis constante por hectárea en todo el campo. Toda esta tecnología está lista para ser utilizada tanto en una aplicación basada en mapas de prescripción como en sensores integrados.

Un ejemplo aplicado a un sistema de riego es la implementación de sensores en el campo para determinar el momento adecuado para regar, o también los programas para detectar el estrés hídrico del suelo o planta. Como los ejemplos anteriores, todos estos sistemas/tecnologías no son AP en la medida en que no tengan en cuenta la variabilidad del campo.

Al traducir las definiciones anteriores a un proceso al que a partir de ahora llamaremos ciclo, este ciclo de la AP se puede resumir en 4 fases. El ciclo empieza recogiendo información sobre el cultivo, suelo, medioambiente y si es posible, rendimientos de la cosecha de años anteriores. Esta información, que son datos, tiene que ser procesada con un programa específico que los convertirá en información relevante, que generalmente se expresa en un mapa. Con esta información (mapas) el agricultor puede tomar decisiones basándose en su propia experiencia y apoyándose en programas de ayuda a la decisión. La decisión tomada generalmente se expresa también en un mapa de prescripción.

Para pasar por estas etapas del ciclo, se requiere información de diferente índole, que puede provenir desde Sistemas Satelitales de Navegación Global hasta Sistemas de Información Geográfica o Tecnologías de Aplicación Variable. Cuando la información y la prescripción se muestran como mapas y el ciclo tarda varios días en completarse, se puede denominar Agricultura de Precisión basada en mapas. Cuando no se mapea la información y el ciclo se completa en algunos milisegundos, se denomina Agricultura de Precisión basada en sensores en tiempo real (Arnó et al 2016).

### 2.1.3 Terminología utilizada en AP

(Diapositiva 15 a 20 del documento *Lección\_introducción AP.pptx*)

Una vez que la definición de AP está clara, vamos a poner el foco en los elementos clave de la AP para entender mejor las herramientas principales y ejemplos utilizados en la lección. Para ello, los siguientes términos serán definidos: subparcela, variabilidad, eficiencia, aplicación variable, tecnología y beneficios.

- 1) **Subparcela.** Es una parte de la parcela. La agricultura convencional/tradicional considera la parcela como una sola pieza. AP considera la parcela como muchas parcelas dentro parcela. Además, con la tecnología adecuada, es posible llegar a

cada planta individual. No importa cuán grande sea el campo, la detección es individual para cada planta.

- 2) *Variabilidad*: Todos los campos son heterogéneos, y esta heterogeneidad (suelo, agua, pendiente, nutrientes, etc.) se refleja siempre en los cultivos (etapa de crecimiento, vigor, estrés, etc.). Sin embargo, en la mayoría de los casos, la perspectiva del ojo humano no permite darse cuenta de estas diferencias. La variabilidad es la fuerza impulsora detrás de AP. Sin variabilidad, no hay razón para subdividir campos. (En el pasado, las decisiones de gestión eran más fáciles si se podían aplicar a todo el campo). Entonces, se podría hacer una pregunta: ¿Debemos manejar el campo con la misma dosis?
- 3) *Eficiencia*: No hace muchos años, para los agricultores era difícil correlacionar las técnicas de producción y el rendimiento de los cultivos con la variabilidad de la tierra. Esto limitó su capacidad para desarrollar las estrategias de tratamiento de suelo/plantas más efectivas que podrían haber mejorado su producción. Hoy en día, la aplicación más precisa de pesticidas, herbicidas y fertilizantes, y un mejor control de la distribución de esos productos son posibles a través de la Agricultura de Precisión, reduciendo así los gastos, produciendo un mayor rendimiento y creando una explotación más amigable con el medio ambiente. En este sentido, es posible distinguir entre:
  - *Eficiencia de gestión*: es la capacidad del productor de utilizar la tecnología de AP para la gestión fundamental de la operación.
  - *Eficiencia en la toma de decisiones*: es la capacidad de utilizar registros costes y de producción para tomar decisiones tales como: labranza cero versus labranza convencional o qué cultivos dan mayor rendimiento.

El caso más común de una mayor eficiencia es la aplicación variable de fertilizantes / productos fitosanitarios.

- 4) *Aplicación variable*: Las tecnologías de aplicación variable se basan en equipos electromecánicos controlados por sistemas informáticos que permiten y ajustan la aplicación de un insumo casi en tiempo real. El objetivo es que el 100% del campo tenga la cantidad correcta de insumo. Con las tecnologías de aplicación variable (VRT) adecuadas, es posible realizar una aplicación de productos variable (VRA) en cualquier operación de campo. Estas variaciones se pueden realizar desde un mapa de prescripción o desde un sensor embarcado.
- 5) *Beneficios*: El ahorro de costes es el mayor beneficio debido al uso de PA. Pero existen otros beneficios importantes como tales como el *Medio ambiental*: capacidad para reducir o distribuir insumos estratégicamente o tomar decisiones que reducirán el impacto sobre los recursos naturales (franjas de protección, productos a menor tasa, etc.); *Económicos*: decisiones que dan como resultado un mayor rendimiento monetario.

## 2.2 Principales herramientas y ejemplos

Para comprender mejor las oportunidades de implementar la AP, es necesario definir las herramientas o tecnologías que permiten AP. En las siguientes diapositivas se propone una definición, descripción y algunos ejemplos para cada herramienta.



### 2.2.1 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

(Diapositiva 21 a 24 del documento *Lección\_introducción AP.pptx*)

¿Qué es SIG? (Sistemas de información geográfica) SIG se refiere a programario informático que proporciona almacenamiento, recuperación y transformación de datos espaciales (de campo). Se puede utilizar un SIG completamente funcional para analizar características entre capas para desarrollar mapas de aplicación de prescripción u otras opciones de manejo como la recolección selectiva (Glens et. Al. 2009).

Generalmente, la recopilación de datos se obtiene de manera discontinua. Por ejemplo, cuando se toman muestras de suelo, es muy difícil determinar la textura del suelo de toda la superficie de la parcela, a menos que esté utilizando un sensor Veris3100 (Uribeetxebarria, 2018). Para analizar los resultados de las muestras de suelo y correlacionarlos con otras variables como el rendimiento, se utiliza una herramienta SIG que transforma estos datos discretos en un mapa continuo.

También es posible utilizar este SIG para guiar al observador a través del campo para muestrear diferentes variables (características de la vegetación, fertilidad, enfermedad, etc.) desde una imagen aérea (que genera un mapa continuo) hasta un mapa discreto.

Hay varios programas disponibles en el mercado. Un ejemplo son: QGIS (<https://qgis.org/en/site/>), un software gratuito de código abierto (FOSS – Free Open Source Software) o ArcGIS (<https://www.esri.es/arcgis/>). Estas son las plataformas más utilizadas en análisis geoespacial.

### 2.2.2 Sistemas Satelitales de Navegación Global (SSNG)

(Diapositiva 25 a 28 del documento *Lección\_introducción AP.pptx*)

¿Qué es el Sistema Satelital de Navegación Global (SSNG)?

Un SSNG es una constelación de satélites en órbita junto con equipos terrestres que permiten al usuario determinar su posición, con respecto a un sistema de coordenadas dado, utilizando señales transmitidas por satélites.

Hay varias constelaciones en todo el mundo: Sistema de posicionamiento global (GPS) desarrollado por Estados Unidos de América; Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (GLONASS) desarrollado por Rusia, Galileo desarrollado por la Unión Europea junto con la Agencia Espacial Europea; BeiDou + COMPASS desarrollado por China.

Estas constelaciones están disponibles para cualquier receptor. GPS y GLONASS pueden ser desactivados o degradados por sus operadores en cualquier momento debido a su propósito militar.

La industria agrícola puede beneficiarse de estas constelaciones ya que permite: mejorar el rendimiento de las parcelas mediante un tratamiento personalizado; gestionar la propiedad más manera eficiente; mejorar el control del tráfico en las parcelas.

Dependiendo de la tarea que se quiere realizar, los agricultores necesitan más precisión. Por ejemplo, para determinar la posición de un campo se necesita poca precisión (alrededor de 20 m de precisión). Esta precisión es bastante ineficaz cuando se toman muestras del terreno o cuando el campo se debe dividir en zonas, entonces una precisión de alrededor de 1 m es más apropiada. Para tareas como pulverización y fertilización, una precisión de 30 cm es más exacta que 1 m. Para guiado por tractor (5 cm) o guiado entre hileras de plantas (<2 cm) para el control mecánico de malezas en cultivos de campo.

¿Cómo puede un agricultor alcanzar estos niveles de precisión?

Es posible mediante el uso de sistemas de aumento basados en satélites (SBAS – Satellite Based Augmentation Systems) como por ejemplo WAAS, EGNOS, OmniSTAR) o sistemas de aumento basados en tierra (GBAS – Ground Based Augmentation Systems) como por ejemplo Beacon/DGPS comercial, RTK/Red RTK, etc.

A sub-metric precision could be reached by means of SBAS. This is a good solution to get introduced in Precision Agriculture. Some of this correction signals are free and other needs a subscription. For a higher precision, public or private nets, radio signal or internet connection should be used. High precision step, with less than 5 cm, will be assisted by GBAS like RTK systems. These are the most expensive systems but offers the highest precision.

Se podría alcanzar una precisión submétrica mediante SBAS. Esta es una buena solución para introducirse en la AP. Algunas de estas señales de corrección son gratuitas y otras necesitan una suscripción. Para una mayor precisión, se deben utilizar redes públicas o privadas, señal de radio o conexión a Internet. La alta precisión, con menos de 5 cm, se asistirá con sistemas GBAS como RTK. Estos son los sistemas más costosos pero ofrecen la mayor precisión.

### 2.2.3 Sensores

(Diapositiva 29 a 35 del documento *Lección\_introducción AP.pptx*)

En los inicios de la Agricultura de Precisión, se consideraba que AP empezaba a través de los mapas de rendimiento generados por las cosechadoras. Estos mapas se obtenían mediante un sensor montado en la propia máquina. Actualmente el uso de la teledetección montada en satélites, aeronaves o vehículos aéreos no tripulados (UAV) permite obtener información sobre el paisaje y su variación.

¿Qué son los sensores? Un sensor es un dispositivo que responde a un estímulo físico (como calor, luz, sonido, presión, magnetismo o movimiento particular) y transmite un impulso resultante (como para medir u operar un control). Un ejemplo simple de sensores podría ser un caudalímetro de agua o un sensor ultrasónico.

En AP, se están desarrollando sensores para determinar el estrés del cultivo, las propiedades del suelo, la incidencia de plagas, las estructuras de la vegetación, etc. La medición se puede obtener cuando el tractor pasa sobre el campo, cuando un observador recorre la parcela a pie o como una foto aérea obtenida desde un avión o un satélite.

En este ámbito de la AP es posible diferenciar entre dos tipos de sensores: sensores embarcados y remotos (teledetección). ¿En qué diferencias? Los sensores embarcados (como los que permiten detectar malas hierbas o los sensores ultrasónicos para detección de distancia) se pueden montar en el tractor, en el apero o en cosechadora. Ello permite medir las características de la parcela/cultivo. Esta información se puede cargar en un SIG para procesarla o transferirla directamente a una Tecnología de Aplicación Variable (VRT). Los sensores remotos (como los sensores ópticos) generalmente se clasifican como sensores aéreos o satelitales a pesar de que la Teledetección significa que la información se adquiere sin contacto físico.

En cuanto a la teledetección, los sensores más utilizados son las cámaras fotográficas y multiespectrales. Con una cámara fotográfica, los agricultores obtendrán datos sobre el reflejo rojo, verde y azul del campo. Un ejemplo de salida de datos de una cámara fotográfica podría ser una ortofotografía. Para obtener información más útil, se necesitan más bandas espectrales, como Infrarrojos. Con esta información se puede calcular el índice NDVI, vinculado al estrés hídrico o al vigor del cultivo.

Por otro lado, un ejemplo de sensor embarcado son los sensores ultrasónicos. Por ejemplo, se puede montar en un tractor para determinar la variación de la vegetación a lo largo de la fila. Un ejemplo de salida de datos es una variación del volumen de la vegetación detectado por cada sensor montado a tres alturas diferentes. El siguiente paso, y realmente fácil de adaptar, es la aplicación de dosis variable adaptada a la variación del dosel determinada por los sensores.

## 2.2.4 Tecnologías de Aplicación Variable (VRT)

(Diapositiva 36 a 42 del documento *Lección\_introducción AP.pptx*)

¿Qué es la tecnología de aplicación variable (VRT)? VRT son las tecnologías que permiten modificar la actuación según la variabilidad del campo. VRT permite la Aplicación de Dosis Variable (VRA), que ajusta la dosis al campo. VRT incluye controladores y el hardware necesario en los aperos o directamente al tractor que varían la salida. Estos sistemas utilizan el mapa de variación obtenido con un SIG, o información proporcionada por sensores *on the go* (embarcados) para modificar características de actuación de la operación que está realizando el agricultor.

A continuación se explica un ejemplo aplicado al proceso de pulverización:

- *Aplicación de dosis variable basada en mapas de prescripción.* En este ejemplo se ajusta un pulverizador (en este caso adaptado para cultivos de viñedo) para cargar un mapa de prescripción y tomar decisiones según los datos del mapa (Campos et al 2019). En este caso, el mapa contiene información sobre la dosis de pulverización. Para eso, el pulverizador utiliza la localización del tractor y actúa sobre el regulador de presión para modificar el caudal. Tras el proceso de pulverización, se obtiene un mapa de aplicación, de donde se puede obtener la trazabilidad así como verificar que el tratamiento se ha realizado correctamente.
- *Aplicación de dosis variable basada en sensores embarcados.* En este ejemplo, un pulverizador para viñedo está equipado con sensores de ultrasonido y electroválvulas de solenoide para ajustar el caudal a la variación de la vegetación (Gil et al 2007). Se necesita un receptor SSNG al sistema para controlar el proceso de pulverización. En la imagen de la presentación es posible observar la variación del caudal de acuerdo con la variación del volumen de vegetación y los ahorros obtenidos en comparación con una aplicación constante.
- *Aplicación de dosis variable basada en sensores embarcados y ajustada según mapa de prescripción.* En este caso, un pulverizador para frutales ajusta la dosis de aplicación de la misma forma que en el ejemplo anterior, basándose en los datos de los sensores ultrasónicos. Además se carga un mapa de prescripción con información relacionada con áreas sensibles donde el caudal de líquido/aire se puede ajustar para reducir la contaminación por fitosanitarios (Doruchwski et al 2009).

## 2.3 Costes y Beneficios

(Diapositiva 43 a 46 del documento *Lección\_introducción AP.pptx*)

Los beneficios de la Agricultura de Precisión van mucho más allá de la rentabilidad. Presenta beneficios para el medio ambiente y así como para la sostenibilidad de las explotaciones. Entonces, muchas veces, decidir invertir en AP no es solo una simple cuestión de costes y retornos.

Decidir la inversión en AP no es una tarea fácil. Dado que existen diferentes niveles tecnológicos (desde receptores SSNG de alta precisión hasta una pantalla simple y un botón manual para cambiar la dosis de aplicación) y diferentes formas de hacer PA (desde el diseño de sistemas de riego hasta VRT), los agricultores deben elegir aquellas tecnologías que mejor se adapten a sus necesidades. Las aplicaciones de AP que pueden funcionar en una determinada explotación pueden no ser las más apropiadas para otra explotación (Arnó et al, 2018). Entonces, las características del campo y las expectativas de los agricultores deberían conducir a una opción de rentabilidad. En este sentido, hay que considerar qué habilidades tiene el agricultor. Como se dijo arriba, hay muchos niveles de tecnología y eso significa que el agricultor juega un papel relevante. Las habilidades necesarias cambian cuando se usa un VRT integrado en el tractor + apero o cuando se usa SIG para generar un mapa de prescripción y cargarlo en un controlador de apero.

Dado que la AP ajusta los inputs a la variabilidad del campo, se puede asumir un impacto ambiental menor al reducir las pérdidas. Dado que la aplicación uniforme no considera las variaciones en cuanto a necesidades del cultivo, en alguna subparcela se sobredosificará (desperdiciando insumos y contaminando el medio ambiente) y en otra subparcela se subdosificará (con los riesgos asociados de reducir la producción o repetir la aplicación).

Al menos, la sostenibilidad de la explotación depende de un equilibrio entre inversiones en nuevas tecnologías adaptadas al mercado (optimización de insumos, trazabilidad, alimentación más segura, etc.) que facilite la vida del agricultor y sea segura para el medio ambiente. Los beneficios de la implementación de la Agricultura de Precisión van desde el corto plazo, como la economía, hasta el largo plazo, como la sostenibilidad de las empresas agrícolas. Los impactos positivos sobre el medio ambiente, la logística de la empresa agrícola o el valor social del trabajo agrícola pueden atribuirse a la AP.

Como se mencionó anteriormente, existen diferentes niveles de tecnologías, por lo que los costos dependen de: al tiempo dedicado a analizar los datos de todos los sensores; la disponibilidad para transformar los datos en decisiones (necesidad de aumentar los programas de capacitación en usos de AP) y evaluar los impactos más allá de las ganancias (social e impactos ambientales).

## 2.4 Reglamento y marco legislativo

(Diapositiva 47a 53 del documento *Lección\_introducción AP.pptx*)

Los métodos para Agricultura de Precisión prometen aumentar el rendimiento y la calidad de la producción agrícola utilizando menos insumos (agua, energía, fertilizantes, pesticidas, etc.). El objetivo es ahorrar costes, reducir el impacto medioambiental y producir más y mejores alimentos.

La definición de un marco legislativo para la promoción de la Agricultura de Precisión es un aspecto importante que está considerando la Unión Europea. La comunicación de la Comisión sobre la Política Agrícola Común (PAC) posterior al 2020 (COM, 2017) señala que se reconoce cada vez más la importancia de la contribución potencial que la innovación puede hacer a la agricultura y las zonas rurales, entre otras cosas a través de la inversión diferenciada en investigación y desarrollo, en particular puede contribuir al crecimiento de la productividad en la agricultura, así como en términos de desarrollo sostenible.

La PAC debería desempeñar un papel importante a la hora de ayudar a los agricultores a obtener más ingresos del mercado. Existe una clara necesidad de impulsar las inversiones en la reestructuración, modernización, innovación, diversificación y adopción de nuevas tecnologías y oportunidades digitales como la Agricultura de Precisión.

Además, el papel potencial y las oportunidades que la Agricultura de Precisión puede ofrecer a la agricultura europea se han presentado en un estudio realizado para los miembros del Parlamento Europeo por la unidad de Prospectiva Científica del Parlamento (STOA) sobre la Agricultura de Precisión y el futuro de la agricultura en Europa (STOA, 2016).

En este estudio, se identifican cuatro temas principales: seguridad alimentaria, sostenibilidad ambiental de la agricultura, cambios sociales y adopción de tecnología en la agricultura, habilidades y educación para los agricultores.

Independientemente de cuál pueda ser el contexto económico en las próximas décadas, los agricultores de la UE necesitarán AP para mejorar sus rendimientos en tierras cultivables menos disponibles. Hoy en día, la UE se está esforzando en tomar medidas para abordar el desafío de la Agricultura de Precisión, a través del programa Horizonte 2020, bajo el tema específico “Reto social 2” que se relaciona parcialmente con la AP.

La sostenibilidad es otro pilar central del estudio de STOA AP y de las discusiones de expertos. Este estudio propone la AP como uno de los temas clave que debe abordar la próxima PAC. Por ejemplo, debería incitar a los agricultores a invertir en tecnologías de AP a través del Pilar 1 y un esquema renovado de ecologización. Se podría apoyar

en forma de un “bono de sostenibilidad” vinculado a la inversión en tecnologías de AP. En este sentido, el desarrollo de estándares de AP como garante de la transparencia, sostenibilidad e interoperabilidad a través del Centre Européen de Normalization (CEN), la Organización Internacional de Normalización (ISO) y el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI) es muy necesario.

Sustainability is another central pillar of the STOA PA study and expert discussions. The study recommends that PA should be one of the key issues to be addressed by the next CAP. For instance enticing farmers to invest in PA technologies through Pillar 1 and a renewed greening scheme. It could take the form of a 'sustainability bonus' linked to investment in PA technologies. In this sense, developing PA standards focusing on transparency, sustainability and interoperability through the Centre Européen de Normalisation (CEN), the International Organization for Standardization (ISO) and the European Telecommunications Standards Institute (ETSI).

Así como los ordenadores, Internet, los teléfonos inteligentes y la navegación por satélite han cambiado nuestra vida, la Agricultura de Precisión, desencadenará cambios sociales en las comunidades rurales e iniciará nuevos modelos comerciales. Una posibilidad política es construir una infraestructura adecuada para mantener y atraer a los jóvenes agricultores.

Como toda nueva tecnología, la introducción y adopción de AP requerirá que los agricultores aprendan nuevas habilidades. Fomentar nuevas formas de aprendizaje o llegar a fincas más pequeñas mediante un nuevo mecanismo educativo y de tutoría se presenta como una opción que necesita un impulso político.

Algunos de los miembros del panel de STOA piensan en fomentar el apoyo para la transición hacia la Agricultura de Precisión en la UE a través de la Política Agrícola Común (PAC). Sin embargo, los eurodiputados también expresaron su preocupación por la posible pérdida de puestos de trabajo en el sector en países altamente dependientes de la agricultura para el empleo, a través de la introducción de la Agricultura de Precisión y la automatización en las prácticas agrícolas.

Además del marco de la PAC, otras iniciativas de la Comisión Europea sobre el medio ambiente se centran en ayudar al desarrollo de la Agricultura de Precisión:

- EIP-Focus group on Precision Farming
- Legislación sobre UAV (recomendaciones de la EASA)
- Horizonte 2020 (prioridades de investigación en AP)
- Directiva 2009/127/EC sobre los requisitos de los pulverizadores relacionados con la protección del medio ambiente.
- Directiva 2009/128/EC para un uso sostenible de los plaguicidas.

Uno de los desafíos a los que se enfrenta la UE está relacionado con la propiedad de los datos. Del informe STOA 2016 se observa que por un lado la falta de infraestructura de banda ancha en áreas rurales y la conectividad a dispositivos, los datos efectivos la

propiedad en el contexto del big data y la falta de estándares, y las limitaciones en el intercambio de datos entre sistemas, constituyen otros obstáculos y desafíos que deben abordarse.

La Agricultura de Precisión también plantea preguntas en relación con los términos de interacción entre humanos y máquinas, en particular con respecto a la falta de servicios independientes de asesoría/consultoría, el impulso tecnológico, la seguridad alimentaria y si la Agricultura de Precisión agravaría aún más la situación del empleo en el campo de la agricultura.

En lo que respecta a los datos no personales, la identificación y especificación de 'propiedad de los datos', 'secretos comerciales' o 'cuestiones de propiedad intelectual', aspectos de la ley de competencia, datos públicos y usabilidad, acceso a máquinas generadas y datos máquina a máquina, constituyen algunos desafíos adicionales relacionados con los datos. Por ejemplo, los detalles sobre la fertilidad del suelo y el rendimiento de los cultivos se han considerado históricamente como un secreto comercial para los agricultores, y de repente esta información se recopila bajo el disfraz de tecnología y mejoras milagrosas del rendimiento. Es probable que un sistema de gestión como la Agricultura de Precisión, que depende en gran medida de datos, mapas e imágenes, cree nuevas preocupaciones sobre la gestión de datos, el acceso a los datos, la propiedad de los datos agregados, el control de los datos generados, asimilados y manipulados a través de actividades de Agricultura de Precisión, lo que plantea una serie de preguntas difíciles: ¿Quién es el propietario de los datos? ¿Es usted el propietario de los datos (como individuo o como empresa) o es propiedad de otra organización? ¿El uso de un servicio de software en particular significa que la propiedad se transfiere al proveedor de servicios? ¿Quién debería tener acceso a los datos generados por los equipos agrícolas de precisión? ¿Quién es el propietario de los usos secundarios y terciarios de los datos; ¿Se puede limitar o ampliar esta propiedad y de qué manera? ¿Quién es el propietario si los datos se recopilan en un contrato separado (por ejemplo, recolección personalizada o aplicador personalizado)?



### 3 Referencias

Arnó, J., Escolà, A., Martínez-Casasnovas, J.A. Can Precision Agriculture be profitable? 2018. New Ag International November/December, pp 18-24

Arnó, J., Escolà, A., Martínez-Casasnovas, J.A. Precision Agriculture: What's behind the name? 2016. New Ag International Nov/Dec, pp 18-27

Campos, J., Llop, J., Gallart, M., García-Ruiz, F., Gras, A., Salcedo, R., Gil, E., 2019. Development of canopy vigour maps using UAV for site-specific management during vineyard spraying process. *Precis. Agric.* 20, 1136–1156. Doi: 10.1007/s11119-019-09643-z

Communication from the commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social committee and the committee of the regions. The future of food and farming. COM (2017) 713 final.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1515507022105&uri=CELEX:52017DC0713>

Doruchowski, G., Swiechowski, W., Holownicki, R., Godyn, A., 2009. Environmentally-Dependent Application System (EDAS) for safer spray application in fruit growing. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 107–112.

Gil, E., Escolà, A., Rosell, J.R., Planas, S., Val, L., 2007. Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors. *Crop Prot.* 26, 1287–1297. Doi:10.1016/j.cropro.2006.11.003

Khosla R (2008) The 9th International Conference on Precision Agriculture opening ceremony presentation. July 20-23<sup>rd</sup>.

McBratney, A. B., & Whelan, B. (2001). Precision Ag. - Oz style. In *First Australian Geospatial Information and Agriculture Conference* (Vol. Sydney, Au, pp. 274–282). NSW Agriculture.

Precision Agriculture and the future of farming in Europe". Scientific Foresight Study from Science and Technology Option Assessment (STOA). [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2017/603207/EPRS\\_STU\(2017\)603207\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2017/603207/EPRS_STU(2017)603207_EN.pdf)

University of Sydney, web reference:

[https://sydney.edu.au/agriculture/pal/about/what\\_is\\_precision\\_agriculture.shtml](https://sydney.edu.au/agriculture/pal/about/what_is_precision_agriculture.shtml)

Uribeetxebarria, A., Arnó, J., Escolà, A., Martínez-Casasnovas, J.A., 2018. Apparent electrical conductivity and multivariate analysis of soil properties to assess soil



constraints in orchards affected by previous parceling. *Geoderma*, Volume 319, 185-193, ISSN 0016-7061.

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.01.008>.