

## Tècniques i tecnologies utilitzades en Agricultura de Precisió

Donat que l'Agricultura de Precisió (AP) és una estratègia molt àmplia i transversal, les tècniques i tecnologies que hi participen són moltes i diverses. L'AP té fama d'utilitzar molt tecnologia digital i això la fa massa cara per a determinats sistemes de cultiu. Aquesta fama és força merescuda, tanmateix, a la [definició d'AP de la International Society of Precision Agriculture](#) la tecnologia no apareix esmentada per enlloc. Per tant, quan parla de recollir, processar i analitzar dades i dur a la pràctica les decisions preses, això es pot fer amb l'ajut de tecnologia digital o sense. És evident que la tecnologia facilita tots aquests processos però això no és un impediment en sistemes amb parcel·les petites o en el que es disposi d'alternatives com, per exemple, mà d'obra a un cost raonable. Per exemple, és possible prendre dades de l'estat del cultiu o de l'afectació de determinades plagues o malalties a partir d'observacions visuals i aquestes es poden georeferenciar en mapes impresos amb una quadrícula raonable. Una vegada preses les decisions de maneig en forma de mapes de prescripció (d'aplicació de fertilitzant o productes fitosanitaris, o de sembra, reg o altres), aquestes es podrien portar a la pràctica amb equips convencionals sempre que les variacions de les dosis a aplicar tinguessin uns patrons espacials fàcils d'executar. En la terminologia anglòfona, aquest tipus d'AP s'anomena **Soft Precision Agriculture**, que es podria traduir per **AP suau**.

De fet, aquest tipus d'agricultura amb molta precisió però sense tecnologia és el que practicaven els nostres besavis i besàvies i els seus avantpassats. El fet que ells trepitgessin els camps tot caminant al pas de bous i mules els permetia conèixer les seves parcel·les de tal manera que sabien exactament què calia fer a cada lloc per tal de treure'n el màxim profit (**Figura 1**). Ells i elles ja feien AP quan aplicaven una mica més de fem en les zones més productives i menys fem en les zones que no podien produir més. Ja aplicaven més herbicida a les zones on hi havia més males herbes o les arrencaven manualment quan convenia. Això que feien era ben bé Agricultura de Precisió. Amb l'arribada de la mecanització agrària, l'agricultor va perdre una mica el contacte amb el camp. Ja no s'hi passejava tant perquè anava damunt d'un tractor i per a poder-lo amortitzar calia treballar més de pressa per a poder acumular més superfície. Tant la mecanització com les diverses millores aconseguides en agronomia van aconseguir augmentar les produccions considerablement però el preu va ser treballar amb dosis i actuacions uniformes cadascuna de les parcel·les. S'havia de fer anar els



tractors a velocitats elevades per a treballar més superfície i això feia impossible adaptar el maneig a les característiques de cada zona. A més, les parcel·les van anar augmentant la seva superfície i van passar d'un o diversos jornals de terra (aquella superfície que es podia treballar en una jornada) a tenir desenes i desenes d'hectàrees. Això va fer que, inevitablement, les parcel·les fossin cada vegada més variables.



**Figura 1.** Sega manual ([cintraseupovo.blogspot.com/2011/08/uma-bela-historia.html](http://cintraseupovo.blogspot.com/2011/08/uma-bela-historia.html)) i fertilització orgànica amb bous ([trajinha-sempre-no-coracao.blogspot.com/2010/](http://trajinha-sempre-no-coracao.blogspot.com/2010/)).

Actualment, els avenços tecnològics i el desenvolupament de sensors, controladors electrònics i actuadors més robustos i amb més capacitat de processament permeten arribar al detall de coneixement dels camps i dels cultius que tenien els nostres avantpassats i a permetre distribuir els diferents recursos agrícoles de manera variable per tal d'adaptar-se a la variabilitat del camp i a les característiques de cada zona. Així, en el moment que els equips convencionals ja no poden donar resposta a la variabilitat de les parcel·les, ja es possible trobar al mercat equips que utilitzen les anomenades **Tecnologies de Dosificació o Aplicació Variable** (en anglès, **Variable-Rate Technologies**). En anglès, aquesta agricultura més tecnificada rep el nom de **Hard Precision Agriculture** o **AP dura**. Donat que utilitza més tecnologia, aquesta agricultura tindrà també uns costos més elevat però els beneficis potencials també són més elevats. Caldrà fer una bona anàlisi econòmica per tal de decidir si pot ser rendible o no, independentment de les dimensions de l'explotació.

Moltes vegades, a aquesta agricultura més tecnificada i digital se l'anomena Agricultura 4.0, seguint la terminologia que s'ha aplicat a la indústria. El problema aquí és que no hi ha una societat científicotècnica darrera del concepte d'Agricultura 4.0 i, per tant, no hi ha cap definició oficial que aclareixi què és i, sobretot, què no és Agricultura 4.0. La conseqüència és que aquest terme es fa servir per a descriure situacions ben diferents. En el món industrial, la Indústria 4.0 és aquell estadi evolutiu d'una indústria tal que



permet integrar tots els seus sistemes digitals distribuïts preexistents (monitoratges amb sensors, automatitzacions de processos puntuals, bases de dades, robots, sistemes de suport a la presa de decisions, etc.) en un únic sistema ciberfísic que integri totes les dades i informacions generades i sigui capaç de prendre decisions globals per sí sol. Actualment, encara som lluny d'un sistema com aquest en una explotació agrícola i, per tant, el terme Agricultura 4.0 no és adequat. L'Agricultura de Precisió pot fer servir molta tecnologia, moltes solucions digital i, fins i tot, robots agrícoles. Tanmateix, encara no hi ha una integració íntima de tots aquests components en un sol sistema que sigui capaç de prendre decisions autònomament. Aquesta feina encara la fan els agricultors/es i les tècniques i tècnics. Seguint l'analogia de la indústria, es podria dir que una explotació tradicional estaria practicant Agricultura 2.0 i aquelles que apliquin estratègies d'AP estarien fent, com a molt, Agricultura 3.0. La Indústria o l'Agricultura 5.0 sembla que ha de ser aquella en que la planta industrial o tota l'explotació serà gestionada íntegrament per robots (Figura 2).



Figura 2. Evolució de l'agricultura segons la tecnologia aplicada.

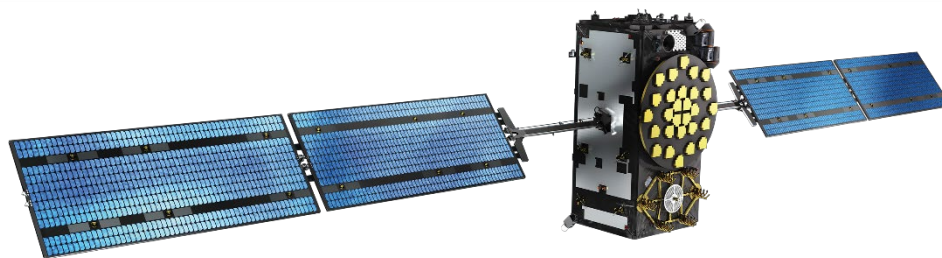
El [cicle de l'AP](#) es divideix en 4 etapes: 1) adquisició de dades, 2) extracció d'informació, 3) presa de decisions i 4) actuació al camp. En totes elles hi podem trobar tècniques i tecnologies diverses que ajudaran tècnics i agricultors a millorar el seu maneig agronòmic. A continuació s'exposaran algunes de les tècniques i tecnologies de cada etapa del cicle.

## Adquisició de dades

En aquesta etapa del cicle cal recollir dades sobre el cultius i el seu medi. Hi ha diverses tècniques i tecnologies disponibles comercialment i moltes altres encara en desenvolupament.



Donat que volem conèixer la variabilitat del cultiu al llarg i ample del camp, un dels requisits més importants en AP és que les dades obtingudes tinguin associades les coordenades d'allà on s'han generat. Per a fer-ho, el més habitual és fer servir els **Sistemes Satel·litaris de Navegació Global (SSNG)**, en anglès **Global Navigation Satellite Systems (GNSS)**. És a dir, sistemes basats en satèl·lits que permete obtenir les coordenades d'un punt i navegar (anar d'un punt conegut a un altre) per tot el món, de manera global. El més conegut d'aquests sistemes és el Global Positioning System o GPS. Tanmateix, n'hi ha 3 més: el GLONASS rus, el GALILEO europeu i el BEIDOU xinès (**Figura 3**). Actualment, els receptors utilitzats en agricultura són compatibles amb diversos o tots ells i, per tant, anomenar-los simplement GPS no és del tot correcte. El terme genèric és un receptor SSNG o GNSS. Amb aquests receptor podem georeferenciar la presa de mostres de sòl o de cultiu manuals o bé les lectures de sensors ja siguin discretes (en punts concrets) o en continu (mesures preses sobre la marxa, sense aturar-se).



**Figura 3.** Reproducció d'un satèl·lit del Sistema Satel·litar de Navegació Global GALILEO (Font: ©EUSPA, ©European Agency for the Space Programme).

Una altra de les tecnologies més emblemàtiques de l'AP és l'observació de la terra mitjançant sensors embarcats en satèl·lits, el que es coneix com a **teledetecció** (en anglès, **Remote Sensing**). Hi ha diversos tipus de sensors embarcats als satèl·lits però els més utilitzats en AP són els **sensors radiomètrics** o **sensors òptics multiespectrals**. Es tracta de sensors òptics perquè capturen la llum reflexada per la superfície terrestre i són multiespectrals perquè són capaços d'enregistrar llum de diverses longituds d'ona dins de l'espectre radioelèctric, a més de la llum visible vermella, verda i blava. Amb aquestes diferents longituds d'ona es poden construir diferents índex de vegetació que es relacionen amb paràmetres fisiològics de les plantes. El més conegut d'aquests índex és l'**índex de vegetació de diferència normalitzada** o **Normalised Difference Vegetation Index** o **NDVI**. Aquest índex, per exemple, es calcula amb la llum vermella i de l'infraroig proper que reflexen les plantes i és proporcional a l'activitat fotosintètica de les plantes i al seu estat. Des del inici de la teledetecció, les característiques



dels sensors i els productes ofertats han anat evolucionant molt de pressa. Actualment, és possible aconseguir imatges de satèl·lits amb una resolució de 10 m amb una freqüència de 5 dies de qualsevol punt del món i de forma gratuïta gràcies a la missió Sentinel-2 del programa Copernicus de la Comissió Europea (Figura 4). També es possible aconseguir imatges amb resolucions espacials molt més elevades tot i que aquestes ja solen ser de pagament.



**Figura 4.** Satèl·lit de la missió Sentinel-2 del programa Copernicus (Font: ESA - P. Carril).

Un dels problemes de la teledetecció satel·litària és que els satèl·lits estan a altituds molt elevades (786 km en el cas dels satèl·lits Sentinel-2). Això fa que la llum del sol que els arriba reflexada per la superfície terrestre es vegi molt afectada per l'atmosfera o, fins i tot, que no es vegi la superfície terrestre degut a la presència de núvols. Afortunadament, el desenvolupament de nous sensors miniaturitzats i més assequibles ha permès que aquests puguin ser embarcats en avions tripulats i, fins i tot, en **vehICLES aeris no tripulats** (o, en anglès, **Unmanned Aerial Vehicles** o **UAV**), altrament anomenats **drons**.

Una alternativa a la teledetecció és la utilització de sensors propers o terrestres. Tècnicament, la **teledetecció** és la mesura de paràmetres amb un dispositiu o sensor sense contacte amb l'objecte mesurat. Tot i això, en AP s'entén com a **teledetecció** la utilització de sensors sense contacte amb el



terra i **detecció propera o pròxima** (en anglès, *Proximal Sensing*) quan el sensors o la plataforma on estan embarcats es recolzen a terra. En detecció propera es fan servir molts tipus de sensors i de principis de funcionament diferents. Hi ha **sensors radiomètrics** que realitzen mesures puntuals i altres que capturen matrius de mesures en forma d'imatges. Altres tipus de sensors òptics són els que utilitzen la llum per a mesurar distàncies i així obtenir mesures geomètriques dels cultius. Altres sensors realitzen mesures mecàniques de forces i deformacions. Alguns d'aquests sensors es fan servir per a mesurar la quantitat de gra net que puja a les tremuges de les recol·lectores. Aquesta dada, juntament amb les coordenades del lloc on s'ha segat permetran generar mapes de rendiment o de collita. Un altre grup de sensors es fa servir per a obtenir mapes de les característiques del sòl. Algunes d'aquestes tecnologies es descriuen en altres apartats del Repositori Digital d'Agricultura de Precisió.

També és important la digitalització de dades diverses que poden ser importants per a la presa de decisions de maneig. La digitalització no és més que convertir dades analògiques (en suport paper o observacions visuals, etc.) en dades digitals per a poder-les integrar a la segona etapa del cicle de l'AP, l'**Extracció d'informació**. En aquest punt, és molt important tenir en compte totes les dades digitals de caire administratiu que es puguin obtenir dels quaderns d'explotació digitals o de les dades obertes de les Administracions. Els telèfons mòbils o tauletes també són eines molt potents per a digitalitzar observacions visuals georeferenciades de l'estat dels cultius o de problemes amb infraestructures de l'explotació.

## Extracció d'informació

En definitiva, actualment hi ha infinitat de sensors i cada vegada n'hi haurà més de disponibles. Això permet obtenir moltes dades tan dels cultius com del seu medi. Tanmateix, les dades per sí soles no tenen significat si no es filtren, es validen i es processen per a convertir-les en informació útil per ajudar a prendre decisions de maneig. En aquesta etapa hi participen moltes tècniques i tecnologies diferents com són les tècniques estadístiques per a descriure les dades, analitzar-les i correlacionar-les amb altres dades. Donat que moltes de les dades utilitzades en AP tenen associades les coordenades on s'han obtingut, en aquesta etapa també s'hi aplicaran processos geoestadístic, que permetran interpolar les dades obtingudes de forma discreta per a disposar de dades contínues per tal de generar mapes de les distribucions espacials de les mesures. En aquesta etapa hi juguen un paper important els **Sistemes d'Informació Geogràfica** o **SIG** (en anglès, *Geographic Information Systems* o *GIS*), que permeten visualitzar les dades



georeferenciades, els **mapes ràster o de superfície** de les dades interpolades i editar aquestes dades per a convertir-les en informació. Les tècniques més habituals són la interpolació de dades per a generar mapes que té en compte la seva distribució espacial, anomenada **krigatge** (en anglès, *kriging*), la classificació o agrupació de dades similar per a la delimitació de zones dins d'una parcel·la, anomenada **clusterització** (en anglès, *clustering*) o la correlació i anàlisi de la variància de diferents capes de dades per tal de determinar la seva interacció.

## Preses de decisions

Aquesta és, sens dubte, una de les etapes més complicades del cicle de l'AP. Una de les primeres decisions que caldrà prendre en AP és si es continua amb el maneig uniforme convencional o bé s'opta per una estratègia de maneig variable per zones. Aquesta decisió ha de tenir en compte aspectes agrònomic però també aspectes tecnològics i aspectes econòmics. Els aspectes agrònomic, són evidents. Cal veure si la variabilitat del cultiu detectada en camp es pot corregir amb tècniques de maneig o no. Tanmateix, si es pot corregir, cal veure si es disposa de la tecnologia adequada per a fer-ho, ja siguin equips convencionals o més sofisticats. I, finalment, cal analitzar la rendibilitat de les solucions a adoptar, si els canvis a introduir en el maneig implicaran un increment de la rendibilitat de l'explotació o si, per contra, poden generar pèrdues.

En aquesta etapa cal tenir en compte, sobretot, els **coneixements agrònomic** i **l'experiència de l'agricultor i dels tècnics**, les solucions que s'adoptin en altres explotacions d'aquella zona i dades agroekonòmiques de que es pugui disposar. En alguns casos, tot aquest coneixement s'integra en sistemes informàtics que s'alimenten de dades concretes de l'explotació i ofereixen, com a sortida, una proposta de maneig, que sempre ha de ser validada per l'agricultor o el tècnic de l'explotació. Aquests sistemes s'anomenen **Sistemes de Suport a la Decisió** o SSD (en anglès, *Decision Support Systems* o *DSS*). Al Grup de Recerca en AgròTICa i Agricultura de Precisió hem elaborat un SSD, anomenat **DOSA3D**, per a tal d'ajustar els volums d'aplicació unitaris de productes fitosanitaris a les característiques de la plaga o malaltia a controlar i, sobretot, a les dimensions de la vegetació en cultius arboris i vinya. Col·legues de la Unitat de Mecanització Agrària (UMA) de la Universitat Politècnica de Catalunya també han publicat un sistema de recomanacions i ajust de dosis específic per a vinya, el **Dosaviña** (Figura 5). Cal seguir treballant a nivell de recerca per tal de generar SSD que cobreixin totes les operacions de maneig per tal de facilitar la presa de decisions.





**Figura 5.** Pàgines web d'inici dels sistemes de suport a la decisió [DOSA3D](#) (GRAP) i [Dosaviña](#) (UMA).

## Actuació al camp

Finalment, una vegada preses les decisions, cal anar al camp i portar-les a la pràctica. Tal com es descriu al document **Metodologies de l'Agricultura de Precisió**, les prescripcions de les operacions de maneig poden ser en forma de mapes (**AP basada en mapes**) o bé poden ser decidides i executades en temps real (**AP en temps real**). En el cas dels mapes de prescripció, tal com s'ha explicat al començament d'aquest document, si el patró espacial de la variabilitat del camp ho permet, l'operació es podria arribar a executar amb equips convencionals. Per contra, si la variabilitat del camp exigeix dosis canviants, el més adequat serà fer servir equips amb **Tecnologies de Dosificació o Actuació Variable** (en anglès, **Variable-Rate Technologies** o **VRT**). Aquests equips incorporen sensors, controladors i actuadors que els permeten autoajustar-se per tal d'aplicar dosis diferents en funció de mapes de prescripció prèviament elaborats i carregats als controladors dels equips o bé en funció de les lectures que realitzin els sensors en cas d'AP en temps real.

*Activitat finançada a través de l'Operació 01.02.01 de Transferència Tecnològica del Programa de desenvolupament rural de Catalunya 2014-2022*







En el primer cas, en **AP basada en mapes**, l'equip han d'incorporar un **receptor SSNG** per tal d'indicar al controlador en quin lloc del camp i troba i poder obtenir la dosi que hi correspon a partir del mapa de prescripció. En el segon cas, en **AP en temps real**, no és necessari disposar de receptors SSNG donat que l'actuació no depèn de la posició de l'equip sinó de les lectures dels sensors en aquell punt. Tanmateix, en els dos casos és molt interessant poder recollir dades georeferenciades del tractament o dosificació que finalment ha executat l'equip per tal de poder obtenir un mapa d'aplicació i validar l'actuació realitzada. Si el mapa d'aplicació coincideix amb el de prescripció, el tractament s'ha executat correctament. Si no, caldrà pensar en accions correctores. Si no es disposa de mapa de prescripció, el mapa d'aplicació permetrà saber què s'ha fet en cada zona de la parcel·la i això pot ser molt útil per a futures actuacions.

Actualment ja hi ha força fabricants que embarquen tecnologies de dosificació variable als seus equips, cosa que els permet fer actuacions diferenciades per zones o específiques per a cada punt dels camps. Així, al mercat hi podem trobar sembradores i adobadores variables, polvoritzadors variables tant per a cultius extensius com per a cultius arboris i sistemes de reg variable (especialment pívots). El desenvolupament tecnològic d'aquests equips està facilitant l'adopció de l'Agricultura de Precisió.

L'autoria d'aquest document és del **Grup de Recerca en AgròTICa i Agricultura de Precisió** i ha estat elaborat per Àlex Escolà amb el suport de Carla Román.



Aquesta obra està sota una llicència de Creative Commons Reconeixement-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

*Activitat finançada a través de l'Operació 01.02.01 de Transferència Tecnològica del Programa de desenvolupament rural de Catalunya 2014-2022*

