

Aplicacions del monitoratge de superfícies agràries

Aquest article descriu algunes de les eines disponibles per al monitoratge del territori i l'optimització de la presa de decisions agrícoles i mediambientals.

Es presenten diferents exemples d'aplicació, com el monitoratge de la Política Agrícola Comuna (PAC), la generació d'un mapa de riscos de pol·linització creuada de cítrics i la teledetecció de plagues de caqui. Ressalta la conveniència de posar en valor l'important cabal de coneixement i bases de dades del qual disposem.

L'increment de la població humana exerceix una gran pressió en la demanda d'aliments. Les estimacions de l'Organització de les Nacions Unides per a l'Alimentació i l'Agricultura (FAO) assenyalen que la producció agrícola ha d'augmentar un 70% per a 2050 i aquest augment ha de ser compatible amb la mitigació dels efectes del canvi climàtic.

Per això s'entén la importància i necessitat del monitoratge del territori. La Unió Europea promou la teledetecció per a la gestió òptima dels recursos agrícoles i forestals a



diversos nivells (des d'escala regional fins de parcel·la), declarar estats de força major i secundar amb dades objectives les polítiques relacionades amb el canvi climàtic.

Per això està desenvolupant Copernicus, el programa d'observació de la Terra més ambiciós de la història, el qual proporciona imatges satel·litàries precises, actualitzades i d'accés gratuït. Ja estan en òrbita les principals missions d'interès agrari. La missió Sentinel-2 està constituïda per una parella de satèl·lits idèntics en òrbita polar, desfasats 180°, els quals capturen la informació de la superfície terrestre en 13 bandes espectrals, amb resolucions espacials entre 10 i 60 m, la qual cosa permet obtenir imatges d'una zona cada cinc dies. La missió Sentinel 1 també disposa de dos satèl·lits idèntics que proporcionen imatges de Radar d'Obertura Sintètica en la banda C amb la mateixa periodicitat.

A la Comunitat Valenciana, la Conselleria d'Agricultura, Desenvolupament Rural, Emergència Climàtica i Transició Ecològica necessita eines per a supervisar a nivell supralocal (comarcal, de conca, autonòmic, etc.) tant l'impacte de l'activitat humana com el de les mesures polítiques agràries i mediambientals sobre l'adaptació i mitigació del canvi climàtic. El monitoratge és també un important suport a nivell d'explotació individual, a través de les tecnologies associades a l'agricultura de precisió. Aquesta és una estratègia de gestió que arreplega,

processa i analitza dades temporals, espacials i individuals, combinant-les amb altres informacions per a recolzar les decisions de maneig agronòmic, amb la finalitat de millorar l'eficiència, la productivitat, la qualitat, la rendibilitat i la sostenibilitat de la producció agrícola.

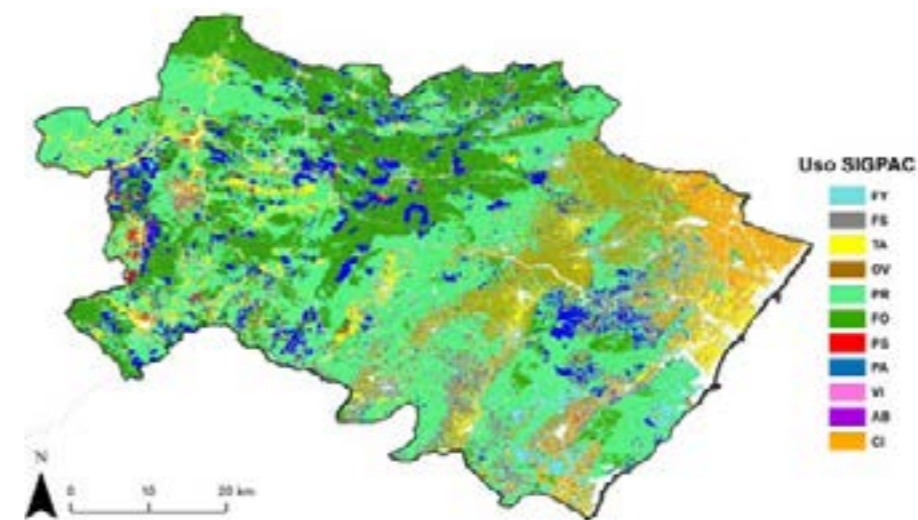
Malgrat la seua enorme utilitat en termes econòmics i mediambientals, la implantació de les tecnologies associades a l'agricultura de precisió i a la teledetecció en el sector agrari valencià és escassa. Entre altres raons, per la falta d'informació sobre les seues possibilitats, per la naturalesa de la producció (associada principalment a fruiteres mediterrànies, a causa del seu major valor afegit) i per l'excessiu minifundisme.

L'agricultura de precisió s'ha desenvolupat enormement en cultius anuals extensius. No obstant això, a la Comunitat Valenciana resulta d'interès prioritari la seua implementació en cultius pluriennals, principalment en fruiters (tarongers, mandariners, caquis, magraners, alvocats, nesprers, etc.), ametlers i vinyes. No obstant això, la Comunitat Valenciana té centres d'investigació capdavanters, una organització cooperativa i associativa envejable, multitud d'empreses agràries d'una capacitat adaptativa demostrada i empreses de base tecnològica innovadores que permeten desenvolupar tot el potencial de l'agricultura de precisió.



EL MONITORATGE DE LA PAC MITJANÇANT TELEDETECCIÓ

A la Comunitat s'han realitzat proves pilot per al monitoratge de la PAC mitjançant teledetecció des de 2019. Actualment, la Conselleria disposa de diverses eines d'anàlisi, basades en teledetecció i en Sistemes d'Informació Geogràfica. D'especial importància han sigut els treballs realitzats per la Universitat de València i per la Universitat Politècnica de València per a la detecció automàtica dels usos del sòl i l'abandó de terres. El primer utilitza tècniques d'aprenentatge profund (Deep Learning) basades en xarxes neuronals bidireccionals de memòria a curt i llarg termini (Bidirectional Long Short-Term Memory, BiLSTM), sobre sèries temporals d'imatges Sentinel 2 (figura 1) (Campos-Taberner et al., 2020). El segon desenvolupa mètodes per a la detecció de parcel·les irregulars i models per a l'estimació basats en ortoimatges i sèries temporals d'imatges Sentinel 1 i 2 (Ruiz et al., 2020). També és de destacar el treball de Morell et al. (2021) per a la detecció automàtica de l'abandó de parcel·les de cítrics.



La Unió Europea promou el monitoratge basat en la teledetecció per a la gestió òptima dels recursos agrícoles i forestals i per a secundar amb dades objectives les polítiques relacionades amb el canvi climàtic. Per això està desenvolupant el programa d'observació de la Terra més ambiciós de la història.

Figura 1. Exemple de mapa d'estimació dels usos del sòl del nord de la província de Castelló obtingut pel grup Teledetecció de Medi Ambient de la Universitat de València (UV-ERS).

Els principals problemes que s'identifiquen per al monitoratge de la PAC utilitzant imatges satel·litàries es deriven de la baixa resolució espacial de les imatges gratuïtes de les quals es disposa, la qual cosa dificulta o impossibilita dur a terme determinades tasques, com assenyalat l'abandó de terres amb major precisió, distingir alguns usos del sòl, discriminar entre alguns cultius, localitzar els sòls regats o detectar l'eliminació de la coberta vegetal o d'alguns elements del paisatge.

LA NECESSITAT DE LA FUSIÓ D'INFORMACIÓ. EXEMPLE D'UNA EINA PER A AUGMENTAR LES CAPACITATS DE TELEDETECCIÓ

En el monitoratge del territori s'empren diferents tecnologies de recopilació d'informació, entre les quals destaca la teledetecció (mitjançant imatges captades per satèl·lits, avions, drons o vehicles terrestres), els sensors terrestres de paràmetres fisiològics o de característiques del sòl, i les bases de dades agronòmiques i meteorològiques.

Encara que les imatges satel·litàries són una font importantíssima de dades, actualment ofereixen una resolució espacial relativament baixa, la qual cosa dificulta l'anàlisi a nivell de parcel·la o de planta. A més, l'adquisició d'imatges multispectrals o hiperespectrals de qualitat és molt susceptible a la cobertura de núvols. Hi ha una gran quantitat de literatura científica orientada a establir relacions matemàtiques entre els paràmetres biofísics o edàfics i determinats índexs espectrals que combinen informació de dues o més bandes, com el conegut Índex de Vegetació de Diferència Normalitzada (NDVI) i molts altres. No obstant això, es fa impossible discriminar el valor d'aquests índexs per al sòl i per a

la vegetació en parcel·les amb cultius en els quals els marcs de planificació són menors que la resolució, o en aquelles en què la vegetació no cobreix total i homogèniament el sòl. Tanmateix, el desenvolupament d'empreses especialitzades en serveis d'adquisició d'imatges aèries (drons o avionetes), potencialment aplicables en agricultura, està creixent enormement, la qual cosa permet disposar d'imatges amb alta resolució espacial. Els drons ofereixen flexibilitat a un cost relativament baix, però estan limitats per l'autonomia de vol i les condicions meteorològiques i subjectes a diferents regulacions de seguretat aèria.

En el monitoratge s'empren diferents tecnologies per a recopilar informació: teledetecció (satèl·lits, avions, drons o vehicles terrestres), sensors terrestres i bases de dades agrometeorològiques.

Una solució a aquest problema consisteix a combinar les dues fonts d'informació: aprofitar d'una banda la major resolució espacial que proporcionen les imatges obtingudes amb vehicles aeris, i, de l'altra, la major freqüència temporal i la qualitat d'imatge dels sensors multispectrals instal·lats en les missions satel·litàries. La fusió d'imatges consisteix a aplicar diverses tècniques de tractament de dades amb aquest propòsit.

L'IVIA ha desenvolupat un procediment per a la fusió d'imatges procedents de la missió Sentinel 2 (baixa resolució, alta qualitat espectral, alta resolució temporal), ortofotos de l'Institut Cartogràfic Valencià (ICV) (alta resolució, baixa resolució temporal) i imatges obtingudes amb drons (molt alta resolució espacial, baixa resolució temporal). El procediment de fusió s'aplica per a generar sèries temporals d'imatges sintètiques d'alta resolució. Per a il·lustrar els resultats, la figura 2a mostra una representació de l'índex NDVI a partir d'una imatge de satèl·lit d'una parcel·la d'oliveres a Villena (Alacant) sobre l'ortofoto de l'ICV, mentre que la figura 2b representa el mateix índex després de fusionar la imatge satel·litària amb una altra d'alta resolució obtinguda per dron. Es pot observar que en aquesta última es distingeix clarament el sòl de les copes, per la qual cosa el càlcul de l'NDVI associat exclusivament a la vegetació pot ser més precís.

Figura 2. a) Imatge NDVI generada en una parcel·la de Villena (Alacant) a partir de la imatge Sentinel 2-2A del 25 de juliol de 2019; b) Imatge NDVI fusionada amb una imatge de dron de data similar. Els valors baixos de NDVI es representen en colors vermellinosos; els valors alts, en colors verdosos.



EL MAPA DE RISCOS DE POL·LINITZACIÓ CREUADA DE CÍTRICS: LA IMPORTÀNCIA D'UTILITZAR FONTS D'INFORMACIÓ JA DISPONIBLES

La producció de cítrics valenciana es destina al mercat en fresc, per la qual cosa majoritàriament es cultiven varietats que no produeixen llavors, principalment partenocàrpiques i autoincompatibles. No obstant això, algunes varietats, en circumstàncies favorables, induïxen la formació de llavors en altres (pol·linització creuada).

Aquest fenomen es produeix principalment mitjançant insectes, ja que la pol·linització anemòfila és escassa en els cítrics. Per aquest motiu, els sectors apícola i cítricol poden arribar a tenir interessos contraposats en arribar la floració. Conseqüentment, la Generalitat Valenciana estableix mesures per a atendre els interessos de tots dos. D'aquesta manera, limita els assentaments de bucs prop de determinades zones de cultius de cítrics durant la floració i, al mateix temps, regula l'ús de fitosanitaris perjudicials per a les abelles en aquestes àrees.

L'IVIA ha desenvolupat eines que permeten gestionar aquesta qüestió de manera objectiva, utilitzant coneixements científics i dades sobre el terreny. Amb aquesta finalitat, planteja un model geoestadístic que estima com es distribueix el risc de pol·linització creuada al nostre territori. El model es basa en dues fonts de dades:

- REGEPA de la CV, que conté informació geolocalitzada de les plantacions i la declaració de la varietat de cítrics cultivada.
- Estudis realitzats per l'IVIA sobre la capacitat de cada varietat comercial per a induir llavors en les altres, així com la seua sensibilitat a la pol·linització per altres cítrics, durant més de 25 anys d'experimentació.

El model assumeix que la capacitat de pol·linització creuada depèn de:

- a) les varietats plantades,
- b) la quantitat de material susceptible d'intervenir en la pol·linització, i
- c) la distància entre les parcel·les que interactuen.

S'ha desenvolupat un algorisme en el qual, per a cada parcel·la plantada amb una varietat sensible a la pol·linització, es determinen totes les parcel·les veïnes amb capacitat de pol·linitzar-la que es troben a la distància màxima del vol de les abelles (3 km segons Couvillon et al., 2015).

L'IVIA ha desenvolupat eines que permeten gestionar la pol·linització creuada dels cítrics de manera objectiva, utilitzant coneixements científics i dades sobre el terreny. Amb elles es pot optimitzar la gestió de la ubicació de bucs, així com planificar el desenvolupament del sector cítricol.

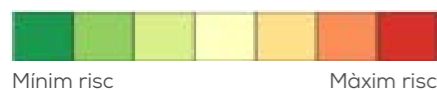


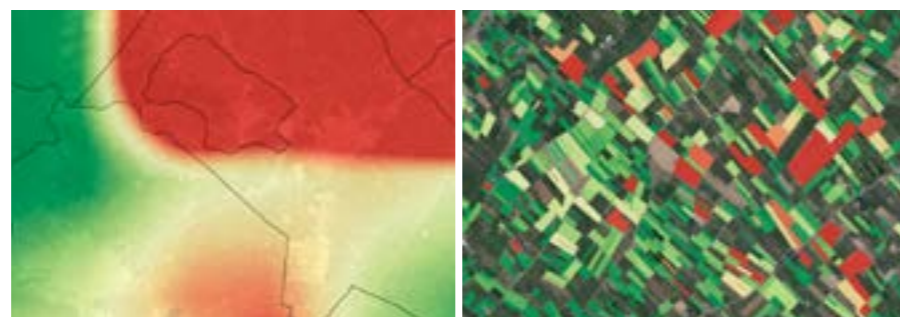
Figura 3. Mapa de riscos de pol·linització creuada de cítrics en la CV. Mapa general (dalt). Detalls a nivell de municipis. Les línies negres defineixen els municipis (esq.). Detalls de polígons (dta.).

Una vegada determinades les parcel·les veïnes, es calcula el risc que in-
dueix cadascuna d'elles sobre la parcel·la sensible, en funció de les dades
sobre pol·linització obtingudes de l'IVIA i aplicant factors correctors de dis-
tància i de superfícies plantades.

Posteriorment, se sumen tots els riscos que indueixen les parcel·les veï-
nes a la parcel·la en estudi. Finalment, s'expressa el risc d'una determinada
zona com la suma dels riscos de les parcel·les incloses en aquesta. El mol-
del, encara que no inclou les dades de totes les parcel·les cítriques de la
CV, està basat en més de 218.000 recintes, la qual cosa li proporciona una
gran robustesa estadística.

Actualment es disposa d'una base de dades en la qual s'expressa de mane-
ra numèrica el risc de ser pol·linitzada cada parcel·la del REGEPA. Aquesta
base de dades es pot reflectir en forma de mapa de riscos a la CV segons
l'exemple que apareix en la figura 3.

Gràcies a aquest model, es pot optimitzar la planificació i gestió de la ubi-
cació de bucs, afavorint l'activitat apícola a les zones en les quals existisca
menor risc per als agricultors. Així mateix, es pot planificar el desenvolupament
del sector cítrica tenint en compte l'augment o disminució dels
riscos de pol·linització.



GLOSSARI



Espectre electromagnètic: distribu-
ció d'energies de les radiacions elec-
tromagnètiques. S'expressa en termes
de la longitud d'ona o freqüència de
les radiacions. Comprén des de les
radiacions amb menor longitud d'ona
(raigs gamma, raigs X) fins a les de ma-
jor longitud d'ona (microones, ones de
ràdio). La llum visible és una xicoteta
part de l'espectre electromagnètic
(longituds d'ona entre 400 i 770 nm
aproximadament).

Banda espectral: part de l'espectre
electromagnètic que captura un sen-
sor. Per exemple, els sensors de les
càmeres de vídeo convencionals (i els

nostres ulls) són sensibles a tres zones
(bandes) de l'espectre electromagnètic
en la zona de llum visible, que es co-
rresponen amb el blau, el verd i el roig.
Una banda es defineix pel rang de fre-
qüències o longituds d'ona que abasta.

Imatge multispectral: imatge com-
posta per diverses (poques unitats o
desenes) imatges amb diferents bandes
espectrals.

Imatge hiperespectral: imatge com-
posta per moltes (diverses desenes o
centenars) imatges amb bandes espec-
trals estretes.

Resolució espacial: mínima distància
real que pot contenir un píxel d'una
imatge.

Resolució espectral: mínima diferència
entre les longituds d'ona o freqüències
que pot distingir un sensor.

Imatge de radar d'obertura sintètica:
imatge que s'obté a partir d'un radar
amb una tecnologia especial, embarcat
en un satèl·lit. La intensitat del senyal
que rep el sensor depèn, entre altres
factors, de la rugositat de la superfície
observada i de paràmetres que poden
estar relacionats amb la humitat del sòl.

PRIMERS RESULTATS DE DETECCIÓ REMOTA DE PLAGUES

Les mosques blanques (Hemiptera: Aleyrodidae) i cotonets (Hemiptera: Pseudococcidae) causen importants danys al cultiu de caqui. A més de l'efecte sobre el fruit i les fulles, aquests insectes produeixen melasses que serveixen de substrat per al desenvolupament dels fongs associats a la negreta (Cubian et al., 2021). La negreta afecta a la funció fotosintètica i, per tant, al creixement vegetatiu, ja que interfereix en l'intercanvi gasós entre l'atmosfera i la fulla. En general, això es tradueix en modificacions de la reflectància de les copes dels arbres, per la qual cosa aquest estat d'estrés pot ser detectat a partir de l'anàlisi d'imatges satel·litàries. Per aquest motiu, el Centre d'Agroenginyeria de l'IVIA està desenvolupant algorismes per a estimar el nivell d'infestació de negreta a partir d'observacions proporcionades pel Centre de Protecció Vegetal i Biotecnologia de l'institut.

Així, al setembre de 2021 es van realitzar mostres en 36 parcel·les situa-
des a l'Alcúdia i a Carlet, en les quals un expert va valorar visualment el
nivell de negreta codificant-lo de la següent manera: 1 (no hi ha negreta),
2 (intermedi) i 3 (greu). Les dades es van georeferenciar utilitzant un mòbil.
Es va dissenyar un algorisme de segmentació a nivell de píxel sobre una
imatge sintètica multispectral (R, G, B, RedEdge, NIR, SWIR 1 i SWIR2)
del mes, generada a partir de totes les imatges amb escassa nuvolositat
d'aquella zona, procedents de Sentinel 2. Posteriorment es va utilitzar un
classificador Random Forest. Finalment, la classificació de la parcel·la es va
realitzar assignant el valor de la majoria dels píxels. Els resultats van ser es-
perançadors (100% de classificacions correctes en el conjunt de validació,
figura 4) i es preveu ampliar les mostres al llarg de la present campanya.
Així mateix, es pretenen utilitzar els resultats de l'estudi per a realitzar pre-
diccions epidemiològiques.

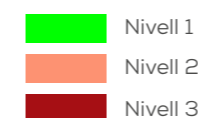


Figura 4. Vista parcial dels primers resultats de teledetecció de nivells de negreta en cultius de caqui de la zona de l'Alcúdia i de Carlet al setembre de 2021.



Aquest treball demostra la im-
portància d'explotar tant les
tècniques de teledetecció com
algunes valuoses bases de da-
des de la Conselleria, així com
altres obtingudes a partir de
mostres de camp, per al des-
envolupament de noves eines
que permeten optimitzar tant la
gestió del territori com la gestió
a nivell de parcel·la.

REFERENCIES

Campos-Taberner, M., García-Haro, F.J., Martínez, B., Gilabert, M.A. (2020). "Deep learning para la clasificación de usos de suelo agrícola con Sentinel-2". *Revista de teledetecció* 56: 35-48

Couvillon, M.J., Riddell Pearce, F.C., Acclerton, C., Fensome, K.A., Quah, S.K.L., Taylor, E.L., Ratnieks F.L.W. (2015). "Honey bee foraging distance depends on month and forage type". *Apidologie* 46:61-70

Cubian, M., Beitia, F. J., Weigand, S. & Monzó, C. (2021). "Phytoseiid mite assemblages and Dialeurodes citri (Hemiptera:Aleyrodidae) infestations in persimmon orchards under different soil managements". Poster presented at: 7th International Symposium on Persimmon. (Kaki 2020), Nara, Japan

Morell-Monzó, S., Sebastià-Frasquet, M.-T., Estornell, J. (2021). "Land Use Classification of VHR Images for Mapping Small-Sized Abandoned Citrus Plots by Using Spectral and Textural Information". *Remote Sens.* 2021, 13, 681

Ruiz, L.A., Almonacid-Caballer, J., Crespo-Peñaroch, P., Recio, J.A., Pardo-Pascual, J.E., Sánchez-García, E. (2020). "Automated classification of crop types and condition in a Mediterranean area using a fine-tuned convolutional neural network". *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLIII-B3-2020

>Autor de l'article:
Enrique Moltó García
Institut Valencià d'Investigacions Agràries (IVIA). Centre d'Agroenginyeria
molto_enr@gva.es