

Teledetecció d'alta resolució d'àrees naturals

Un enfocament pràctic

Agustín Lobo
Luis Solé Sugrañes

Institut de Ciències de la Terra

Introducció

En els darrers vint anys, la *Imaging Remote Sensing* (teledetecció d'imatge) s'ha convertit en una tecnologia útil i operativa en moltes ciències aplicades, especialment per a les que han de recórrer a la cartografia. No obstant això, malgrat l'entusiasme inicial i les afirmacions i la propaganda dels enginyers vinculats al desenvolupament de sensors, les seves aplicacions a l'ecologia i el medi ambient no han estat tan rellevants com es predeia. Una important excepció són les imatges de *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) obtingudes d'AVHRR, que és una informació fonamental per a l'estudi del *Global Change* (el canvi mundial). Però fins i tot en aquest cas és irònic que un sensor que no fou dissenyat pensant en aplicacions o usos ecològics sigui l'instrument RS més poderós per a l'ecologia^{1,2}.

Una aplicació tan adequada a escala mundial no té un equivalent en una escala més detallada, com la que subministra LANDSAT-TM o SPOT-HRV³. La causa d'això és, en part, que el seu cicle repetitiu més llarg i el seu preu més elevat entrebanquen les fàcils correccions atmosfèriques i molts estudis multitemporals. Però la raó més important és que el canvi d'escala imposa un canvi de variable. A escala mundial, la vegetació pot ser considerada com un concepte individual, el qual pot ser descrit per una variable d'imatge derivada com a NDVI. A aquesta escala, el NDVI està ben correlat amb biomasses verdes, i aquesta relació té fins i tot una sòlida base teòrica⁴. Per contra, en imatges que cobreixen de 15 a 30 km amb píxels de 10 a 30 m, la vegetació no pot ser considerada com un concepte individual i sovint el NDVI no es correla bé amb cap variable biofísica que tingui sentit. La correlació entre la majoria de variables ecològiques (índex d'àrees de fulla perenne, densitat, biomasses verdes i llenyoses, producció biològica,

etc.) i les variables d'imatge derivada s'hauria d'intentar assignant diferents funcions a diferents categories de vegetació o grups d'aquestes. En les ciències mediamambientals la situació és anàloga: l'avaluació de l'estat de la vegetació no es pot fer independentment del tipus de vegetació⁵. A aquesta escala, òbviament, cal una adequada cartografia temàtica ecològica que distingeixi diferents tipus de vegetació.

Per desgràcia, les classificacions d'imatges aparionades LANDSAT-TM i SPOT-HRV a *pixel-by-pixel* estàndard ha tingut un ús molt limitat en la producció de mapes temàtics útils ecològicament. Aquests sensors foren dissenyats per diferenciar cobertes tan diferents com l'aigua o la neu o ermassos i collites. Però pel que fa a la cartografia ecològica, gairebé sempre tractem simplement amb diferents tipus de vegetació o, fins i tot, amb diferents tipus de boscos o pastures. Tot sovint, el poder diferenciador d'ambdós sensors no dóna prou. Un problema addicional a molts indrets del món, especialment a les regions mediterrànies, és que les àrees anomenades "naturals" són molt petites, i el paisatge es presenta com un mosaic en el qual cadascuna de les seves parts és internament molt diversa i complexa, i es compon de molts elements diferents. Tot sovint, les resolucions de 30, 20 o fins i tot 10 m per píxel són una limitació important.

Restablir variables quantitatives ecològiques com les esmentades anteriorment o avaluar l'estat de la vegetació a partir d'aquesta imatge resulta encara més difícil, a causa de l'amplada de les bandes que ofereixen els sensors¹. La detecció amb TM o HRV només és efectiva en els casos en què les cobertes són espacialment molt homogènies i la força és extensiva⁶. A més, la finestra temporal per a una avaluació òptima molt sovint és estreta. Essent el període de repetició dels satèl·lits LANDSAT i SPOT molt llarg, les adquisicions

Notes:

1. HOBBS, R.J. i MOONEY, H.A.: *Remote Sensing of Biosphere Functioning*. Springer-Verlag. Nova York, 1990.
2. ROUGHGARDEN, J., RUNNING, S.W. i MATSON, P.A.: "What does Remote Sensing do for Ecology?", a *Ecology*, núm. 72, pàg. 1918-1922. 1991.
3. GOETZ, A.F.H.: "Principles of narrow band spectrometry in the visible and infrared: instruments and data analysis", a TOSELLI, F. i BODECHTEL, F. (eds.): *Imaging spectroscopy: Fundamentals and prospective applications*. Kluwer Academic Publ. 1991.
4. SELLER, P.J., BERRY, J.A., COLELLO, G.C., FIELD, C.B. i HALL, F.G.: "Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. III. A reanalysis using improved leaf models and a new canopy integration scheme", a *Remote Sensing of the Environment*, 42:187-216. 1992.
5. SCHIMEL, R.S., DAVIS, F.W. i KITTEL, T.G.F.: "Spatial information for extrapolation of canopy processes: examples from FIFE", a EHLERINGER, J.R. i FIELD, C.B. (eds.): *Scaling Physiological Processes from Leaf to Globe*. Academic Press. 1993.
6. VOGELMANN, J.E. i BARRET, N.R.: "Assessing Forest Damage in High-Elevation Coniferous Forests in Vermont and New Hampshire Using Thematic Mapper Data", a *Remote Sensing of Environment*, 24:227-246. 1988.

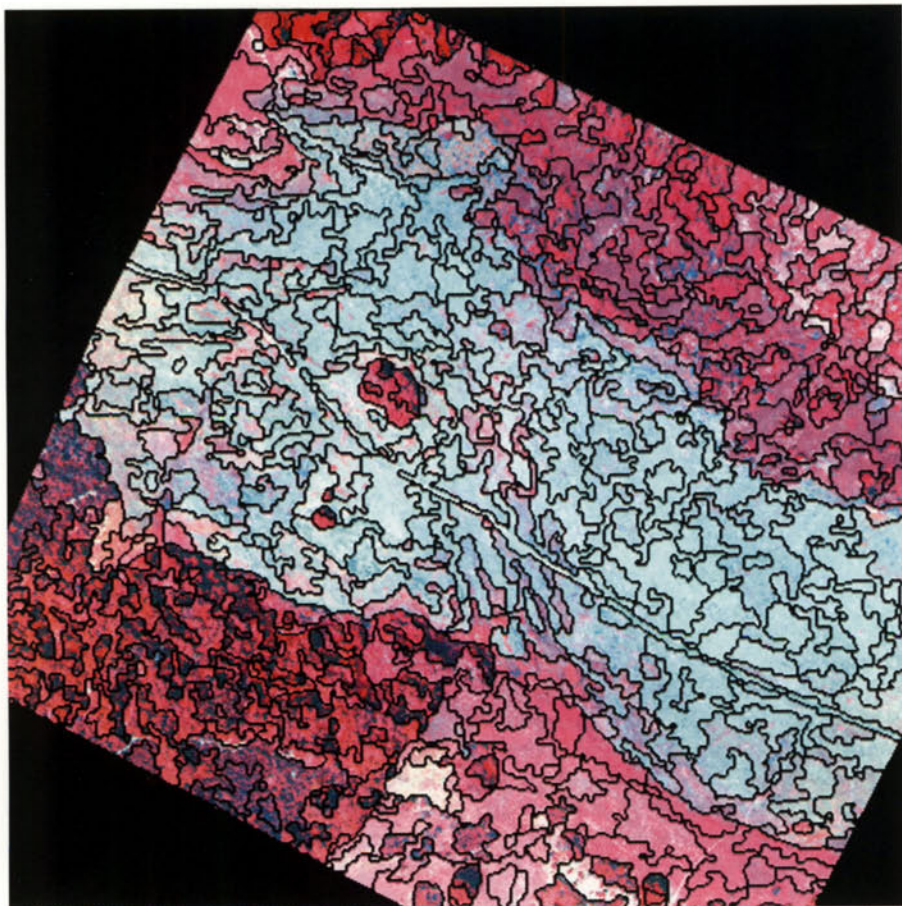
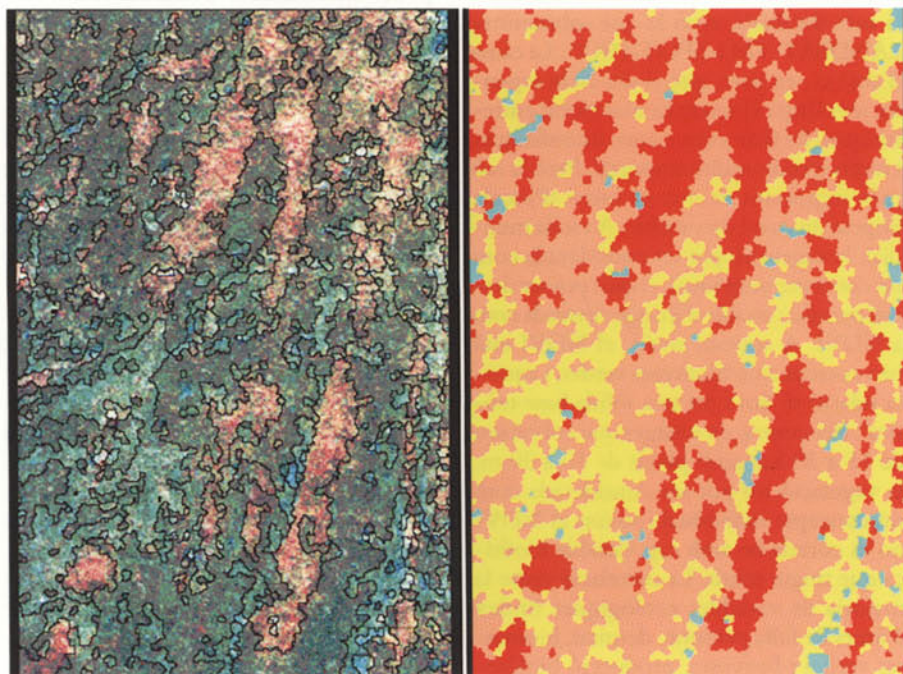


Figura 1:
Segmentació de la imatge CIR
de les serpentejants prades de Jasper
Ridge (Califòrnia).
Resolució: 1 m per píxel

Figura 2:
Mapa de vegetació obtingut
mitjançant l'aplicació d'anàlisi
discriminant a una fotografia CIR
segmentada. 13,5 cm per píxel



realment disponibles en bones condicions atmosfèriques poden ser estranyes o, de vegades, fins i tot inexistentes.

Espectroradiòmetres de banda estreta aerotransportats

Els espectroradiòmetres de banda estreta aerotransportats representen un important avenç en la captació per monitor d'àrees naturals⁷. Poden ser enlairats

quan calgui i amb la resolució espacial desitjada. Un gran nombre de bandes espectrals estretes els atorga un poder de diferenciació molt més elevat i la capacitat de mesurar quantitativament les respostes espectrals de la vegetació a les condicions mediamambientals. Però aquesta imatge també requereix un poder de computació més elevat a fi d'aconseguir un processament més complex, el qual s'allunya de la classificació estàndard a una comparació de dissenys i una anàlisi mixta de signes espectrals⁸. Aquesta complexitat és la causa principal del nombre relativament reduït d'estudis que han estat fets amb AVIRIS⁹, fet que ha induït la NASA a cancel·lar plans per a la inclusió de l'HIRIS en el satèl·lit EOS-1. Malgrat el seu nombre reduït, les aplicacions d'imatges AVIRIS han estat molt rellevants en ecologia⁹, demostrant el poder de l'espectroscòpia d'imatges. No tan sols l'alta resolució espectral suposa l'ús de diferents tècniques. L'alta resolució espacial requereix l'abandonament del píxel com a unitat espacial elemental per a l'anàlisi d'algorismes de segmentació d'imatges. Ja hem dit que les classificacions multivariades basades en píxels aplicades a imatges SPOT o LANDSAT produeixen típicament mapes pobres quan es representen paisatges complexos. Aquest problema només empitjora si es tracta d'imatges espacials d'alta resolució. Això és conseqüència del fet que la majoria de categories amb sentit ecològic no són internament uniformes però tenen certa textura. La importància de distingir els diferents tipus de textura augmenta amb la resolució espacial, fins el punt que les diferenciacions basades en píxels són pràcticament inútils quan es processen fotografies aèries digitalitzades de color infraroig (CIR)¹⁰.

Algunes experiències

Nosaltres proposem l'ús de tècniques de segmentació d'imatge per tal d'afrontar els problemes introduïts tant per l'alta resolució espacial com per l'elevat nombre de bandes. Aquestes tècniques efectuen una partició de la imatge en porcions internament homogènies, i aleshores aquestes porcions —més que els píxels originals— es converteixen en elements d'ulteriors anàlisis i diferenciacions. Hem aplicat satisfactòriament aquesta tècnica a fotografies aèries CIR digitalitzades i a imatges LANDSAT-TM, i actualment estem unint la segmentació a dades AVIRIS.

El primer exemple és el processament d'una fotografia aèria CIR digitalitzada que cobreix les serpentejants prades de Jasper Ridge, la Reserva Ecològica de la Universitat de Stanford (Califòrnia). Aquest és el lloc idoni per a molts experiments sobre la resposta de la vegetació a una

atmosfera enriquida en CO₂ i la resposta d'una beca fundada per la NASA per a la Universitat de Princeton a fi d'estudiar les relacions entre model i processament en les pastures. Es digitalitza la imatge a una resolució d'1 m per píxel i es segmenta a diversos nivells de detall, un dels quals es mostra a la *figura 1*.

A més, a tall de test del poder d'aquesta tècnica per a diferenciar tipus complexos de vegetació a una resolució molt alta, es digitalitza una porció de la imatge amb píxels de 13,5 cm. Aquesta imatge incloïa un projecte experimental de 30 x 30 m. Després de segmentar la imatge vàrem visitar algunes de les porcions i, combinant la informació terrestre amb la derivada de la imatge, vàrem traçar una anàlisi diferenciadora lineal. L'anàlisi va identificar satisfactòriament quatre categories de vegetació (*figura 2*). Actualment, ens ocupem en l'aplicació d'aquesta tècnica a imatges CIR de major altitud que cobreixen tota la Reserva. El propòsit és caracteritzar cada porció mitjançant l'espectre d'un píxel AVIRIS complet.

Una altra de les nostres aplicacions actuals correspon al bosc de Green Mountain, a Connecticut. Aquest bosc és una zona molt extensa de muntanya que fou aprofitada completament pels primers colonitzadors europeus i de llavors ençà ha estat allunyada de qualsevol intervenció humana. Per consegüent, és un lloc únic per a l'estudi de successió forestal i ha estat el principal camp de desenvolupament del SORTIE, un model de simulació forestal de la Universitat de Princeton. La nostra implicació en el projecte consisteix a com-

parar l'estructura espacial del bosc actual amb els resultats del SORTIE obtinguts mitjançant diferents hipòtesis. S'estudia l'estructura espacial a escales que van des de la subregional a la local, i amb aquest objectiu hem processat fins ara una imatge LANDSAT-TM i una fotografia aèria CIR a baixa altitud. Esperem en poc temps poder separar i identificar corones individuals després d'aplicar anàlisis diferenciadores.

Conclusions

Els espectroradiòmetres aerotransportats d'alta resolució introdueixen millores importants, però el seu ús suposa una complexitat més gran i requereix tècniques més complicades. Usant la segmentació d'imatge aconseguim tres objectius: El primer és que fixem la nostra atenció en les porcions, que normalment són components rellevants del paisatge, en compte de fixar-la en els píxels, que rarament representen gaire cosa més que ells mateixos. El segon és que guanyem poder diferenciador perquè podem usar estadístiques de segon ordre per a caracteritzar les porcions. I el tercer és que reduïm la complexitat perquè podem caracteritzar cada porció mitjançant un espectre mitjà de brillantor.

Malgrat que la imatge produïda per sensors de banda ampla tot sovint és insuficient per a aplicacions ecològiques i mediambientals, això no significa que sigui innecessària. Els estudis basats en imatges LANDSAT-TM o SPOT-HRV són encara un pas útil dins d'un projecte integrat de Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG).

Notes:

7. TOSELLI, F. I BODECHTEL, J.: *Imaging spectroscopy: Fundamentals and prospective applications*. Kluwer Academic Pub. 1988.
8. VANE, G., GREEN, R.O., CHRIEN, T.G., ENMARK, H.T., HANSEN, E.G. I PORTER, W.M.: "The airborne visible/infrared imaging spectrometer (AVIRIS)", a *Remote Sensing of the Environment*, núm. 44 (2/3), pàg. 127-144. 1993.
9. USTIN, S.L., WESSMAN, C.A., CURTISS, B., KASISCHKE, E., WAY, J. I VANDERBILT, V.C.: "Opportunities for using the EOS imaging spectrometers and synthetic aperture radar in ecological models", a *Ecology*, núm. 72 (6), pàg. 1934-1945. 1991.
10. LOBO, A., MOLONEY, K. I CHIARIELLO, N.: *Fine-scale pattern of a serpentine grassland: a study based on digitized CIR imagery*. Submitted to *Ecology*. 1994.