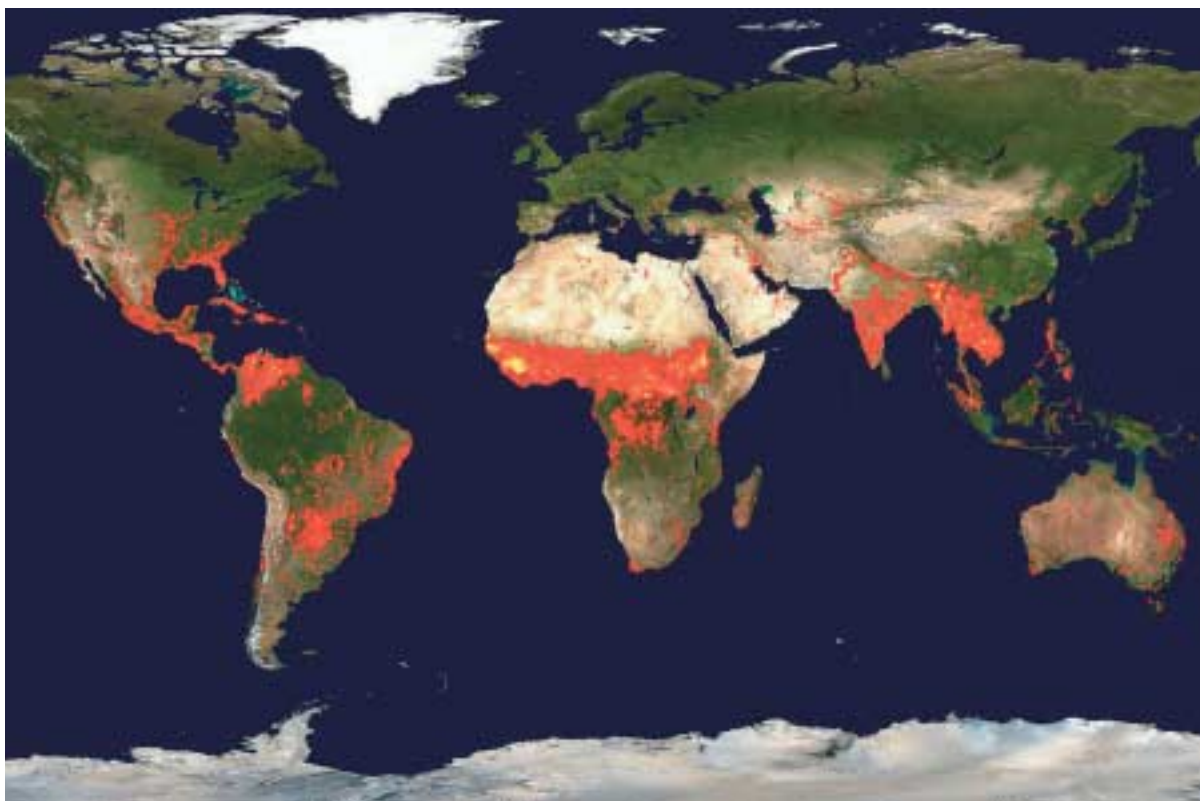


Baso-suteen satellite bidezko kartografia

Bastarrika Izagirre, Aitor; Martinez Blanco, M. Pilar

Kartografia eta Geodesia ingeniariak eta Topografia Ingeniaritza Teknikoko irakasleak



NASA (GSFC)/UMD

Modis Rapid Response System-ek 2006ko otsailaren azken astean ikusitako sute aktiboak (gorriz irudikatuta).

Mundu mailan erretako eremuen kartografia izatea oinarritzkoa da, aztertzeke zer eragin duten klima-aldaketan suteek sortzen dituzten gasek. Eremu txikiagoan ere garrantzitsua da erretako eremuen kartografia egitea, ondorio ekonomikoak eta ekologikoak ebaluatzeke eta balizko erabakiak hartzeke. Bi kasuetan, teledetekzioak aukera ezin hobea ematen du kartografia egiteko.

SATELITE BIDEZKO IRUDIAK LORTZEN ETA ERABILTZEN DITUEN TEKNIKARI deitzen zaio teledetekzioa. Baso-suteetan, hainbat fasetan erabili ohi da. Sutea gertatu aurretik, baliagarria da sute-arriskua kalkulatzeko erabiltzen diren ereduak behar duten informazioa lortzeko, landarearen egoera hidrikoa edo tenperatura zein den jakiteko... Sutea gertatzen ari denean, sutearen garapena eta hedadura aztertzen joan daiteke teledetekzioari esker. Azkenik, sutea amaitu eta geroko eragina ebaluatzeke ere erabiltzen da, erretako eremuen kartografia egiteko, eragindako kaltearen mailari buruzko informazioa

lortzeko, eta leheneratzeko prozesuari jarraipena egiteko.

Suteak eta haien eraginak

Baso-suteek, sastraken edo zuhaixken suteek eta erreketak bidezko nekazaritzak eragin handia dute ingurumenean, eskala txikienetik hasi eta handieneraino. Nahita eragindako deforestazioak guztiz aldatzen ditu tokian tokiko paisaiak. Eskualde mailan, suteak gertakari naturalak diren ekosistemetan —baso borealetan eta txaparral mediterraneoan, kasurako—, lan-

darediaren egituran eta osaeran eragiten dute, baita ziklo biogeokimikoan eta hidrologian ere. Halaber, baso-suteek eragin handia dute klima-aldaketan, berotegi-efektua areagotzen duten gasak eta partikulak (aerosolak) sortzen baitituzte.

Ekosistema bakoitzak bere erara erantzuten dio suari, eta, beraz, ekosistema zein den, suteak modu bateko edo beste ondorioak izan ditzake. Ezinbestekoa da, beraz, suteen kokalekua eta hedadura ezagutzeaz gain, jakitea zein diren erretako eremuen ezaugarriak.

Nolanahi ere, nahiz eta suteek mundu mailan eragin handia duten, arreta handiagoa sortzen dute eskala txikiagoan (eskualdekoa edo lokala). Sute mediterraneoak dira horren adibide: aintzat hartzen da nola eragiten duten eskualdeko ekonomian eta ingurumenean, baina mundu mailako eraginak ez dira aztertzen.

Teledetekzioaren sentsoreak

Satelite bidezko irudiekin lan egiteak abantaila handiak dakartza. Hasteko, ikuspegi globala duten fenomenoak ikertzeko aukera ematen du, ia mundu guztiko irudiak lortzen baitira, sistematikoki eta behaketa-egoera berdintsuetan. Bestalde, era desberdinetako sentsoreak dituztenez, eskala eta helburu anitzeko lanak egiteko modua ematen dute sateliteek. Gainera, gure begiek hautematen ez dituzten espektro elektromagnetikoaren beste eremu batzuetako informazioa jasotzen dute. Hala, fenomeno ugari hobeto ikusten dira, erretako eremuak, kasurako.

Mota askotako sentsoreak daude. Adibidez, pasiboak eta aktiboak bereiz daitezke. Lurreko objektuek islatutako Eguzkiaren erradiazio elektromagneti-



ARTIBIKOA

koa jasotzen dute pasiboek. Aktiboek, aldiz, uhinak igortzen dituzte Lurrera, eta, gero, objektuek itzulitako erantzuna jasotzen dute. Uhin horiek mikrouhinak izaten dira normalean, eta oso eraginkorrak dira lainoak zeharkatzeko duten ahalmenagatik.

banda-kopuruari. Gaur egun bereizmen espektral oso handiko sentsoreak daude (ehunka banda izan ditzakete), eta hiperespektral deitzen zaie. Azkenik, denbora-bereizmena minutu batzuetatik hilabetera bitartekoa izan daiteke; landa-eremu beraren irudia zenbatean behin hartzen den adierazten du horrek.

Hiru bereizmen horiek orekan daude, nolabait. Denbora-bereizmen handia duten sentsoreek espazio-bereizmen eta espektral txikia izan ohi dute, eta, normalean, meteorologian erabiltzen dira. Alderantziz, espazio-bereizmen handia dutenek denbora-bereizmen eta bereizmen espektral txikia izaten dute.

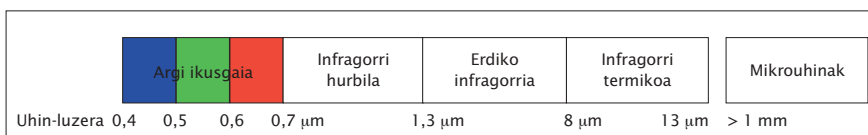
“baso-suteek eragin handia dute aldaketa globalean, ke-partikulen eta berotegi-gasen iturri esanguratsua baitira”

Bereizmenaren arabera ere sailka daitezke sentsoreak. Hiru bereizmen-mota daude: espazio-bereizmena, espektrala eta denbora-bereizmena. Irudiaren elementurik txikiaren neurriari deitzen zaio espazio-bereizmena, hau da, pixelaren tamainari. Espazio-bereizmen handiena metro bat ingurukoa da, eta txikiena kilometro batzuetakoa. Bereizmen espektrala, berriz, sentikorra den eremu espektralen kopuruari deitzen zaio, hau da,

Suteak eta sentsoreak

Duela bi hamarkada hasi ziren egiten erretako azaleraren balioespenak satelite bidez, sute aktiboen detekzioa eginez. Detekzio hori suteen tenperaturak eragindako erradiazio-maila altuetan oinarritzen da (3,6 mm inguruko bandan). Baina ez zen oso balagarria, satelitea maiztasun txikiegiarekin pasatzen baitzen sutearen garapen zehatza ezagutzeko. Gainera, suteak eragindako keak eta lainoek, askotan, sutearen detekzioa eragozten dute.

Hori dela eta, emaitza egokiak lortzeko, eremuen arabera hautatu behar dira sentsoreak eta bandak. Esaterako, sute aktiboak detektatzeko, denbora-bereiz-



Espektru elektromagnetikoaren eskema.

A. BASTARRIKA/M.P. MARTINEZ

men handiko sentsoreak erabili izan dira, hala nola *NOAA-AVHRR*, *ESA-ATSR*, eta, 2000. urtetik aurrera, *EOS-MODIS*. Azken sentsore horrek kalitate handiko datuak ematen ditu; irudiak georreferentziatuta daude, eta atmosferaren eta lainoen eragina zuzenduta eta kalibratuta. Irudi horietan oinarriturik, produktu estandar bat garatu dute mundu osorako: *MODIS MOD14 Fire and Thermal Anomalies Product*. Kilometro bateko espazio-bereizmenean egunero atzemandako sute aktiboak batzen ditu.

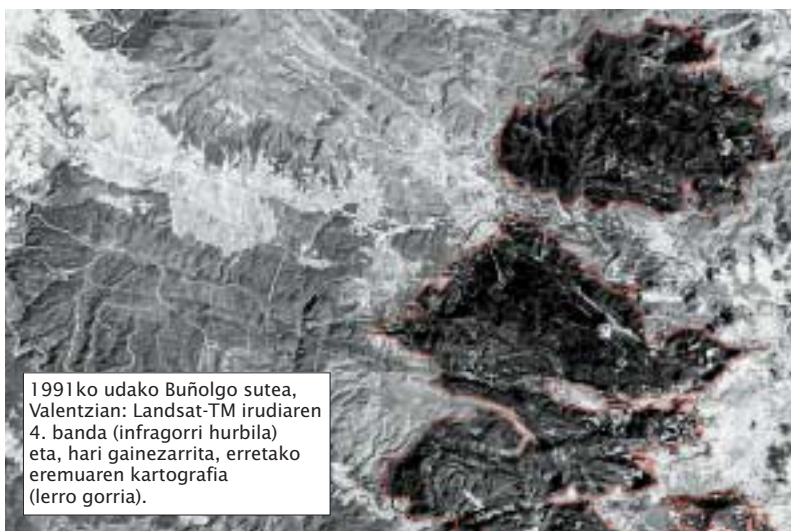
Dena dela, sute aktiboen detekzioak erretako eremuak neurtzeko egokiak ez direnez, bestelako teknikak garatu dituzte. Suteek eragiten dituzten aldatketak detektatzean oinarritzen dira teknika horiek, hain zuzen ere, errautsaren eta ikatzaren jalkitzea, eta landarediaren desagertzea edo aldatzea.

Plataforma-Sentsorea	Espazio-bereizmena	Bereizmen espektrala	Denbora-bereizmena	Irudiaren zabalera
NOAA-AVHRR	1.100 m.	5 banda	12 ordu	2.700 km.
ESA-ATSR	1.000 m.	7 banda	6-9 egun	500 km.
EOS-MODIS	250 m-1.000 m	36 banda	1 egun	2.330 km.
SPOT-VEGETATION	1.150 m	4 banda	1 egun	2.200 km.
LANDSAT-TM eta ETM+	30 m	7-8 banda	16 egun	185 km.
IKONOS	1 m-4 m	4 banda	3 egun	11 km.
QUICKBIRD	0,6m-2,5 m	4 banda	1-3-5 egun	17 km.

Eskualde mailan, jada aipatutako *NOAA-AVHRR* eta *EOS-MODIS* sentsoreez gain, lan dezente egin dira espazio-bereizmen ertaina duten beste sentsore batzuekin, adibidez *SPOT-VEGETATION*-ekin. Gainera, maila horretan, bai eta maila lokalean ere, oso arrunta da *Landsat-TM* eta *Landsat ETM+* sateliteen irudiak erabiltzea. Espazio-bereizmen ona izateaz gain, bereizmen espektral egokia dute (espektrro ikusgaia, infragorri hurbila,

erdiko infragorri ertaina eta banda termikoa) eta oso eraginkorrak dira erretako eremuen kartografia egiteko. Erretako eremuen nazio mailako kartografia-sistema gehienak irudi horietan oinarritzen dira.

Azken hamarkada honetan, espazio-bereizmen handiko irudiak hartzen dituzten sateliteak garatu dira, hala nola Space Imaging enpresaren *IKONOS* eta *DigitalGloberen QUICKBIRD*. Nahiz eta xehetasun-maila oso handia duten, aurrekoek baino bereizmen espektral txikiagoa dutenez (espektrro ikusgaia eta gertuko hurbila bakarrik), ez dira hain onak erretako eremuak mapan jasotzeko.



ALCALAKO UNIBERTSITATEKO GEOGRAFIA DEP.

1991 ko udako Buñolgo sutea, Valentzian: Landsat-TM irudiaren 4. banda (infragorri hurbila) eta, hari gainezarrita, erretako eremuaren kartografia (lerro gorria).

“duela bi hamarkada hasi ziren, satellite bidezko sute aktiboen detekzioa eginez, erretako eremuak neurtzen”



ALCALAKO UNIBERTSITATEKO GEOGRAFIA DEP.

2005eko udan Guadalajaran gertatutako sutearen Landsat-ETM+ irudia (infragorri ertaina, infragorri hurbila eta banda gorriaren kolore-konposaketa).

Zer neurtu?

Teledetekzioarekin edonolako kartografia egin aurretik, ezinbestekoa da mapan jaso nahi diren elementuek espektroko eremuetan nola jokatu duten jakitea. Horri sinadura espektral deritzen, eta, hori ezagututa, objektuak atzeman daitezke irudietan oinarrituta.

Erretako eremuen ezaugarri espektrala sutea gertatu denetik igarotako denborarekin, eragindako kaltearekin eta

aurretiko landarediarekin erlazionatua dago, eta epe laburreko nahiz luzeko eraginak azaltzen ditu.

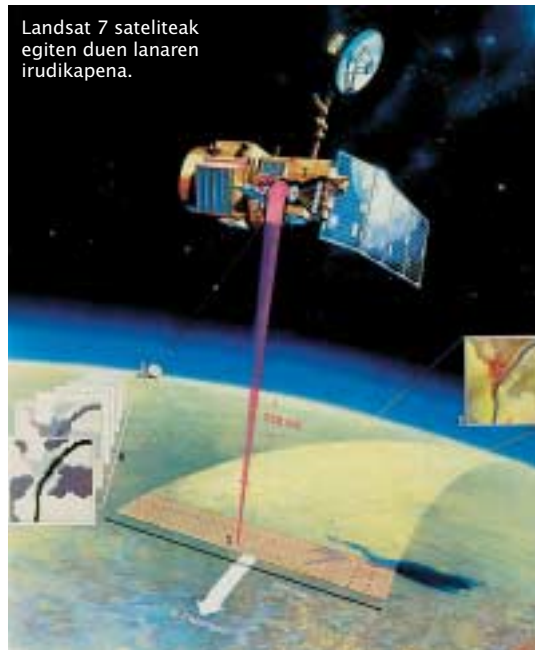
Epe laburreko aldaketa espektrala landarediaren errekuntzaren ondorio da, errautsa eta ikatza jalkitzearen ondorio, eta kolore-aldaketa handia eragiten du espektratu ikusgai (berdetik beltzera edo marroira). Nahiz eta aldaketa horrek ez duen gehiegi irauten inguru mediterraneoan, baso borealetan urteak iraun dezake. Aldaketa are handiagoa da beste espektratu batzuetan; adibidez, hurbileko infragorrian errelektibitatea nabarmen gutxitzen da, batez ere, erregai asko dagoen eremuetan, ikatz asko sortzen delako.

Uhin laburreko infragorrian, berriz, errelektibitatea handitu egin ohi da, landare ehunen ur-galerarengatik. Ikertzaile askoren iritziz, banda hori oso egokia da erretako eremuen kartografia egiteko, dispersio atmosferikoaren eragina txikiagoa delako besteetan baino. Banda termikoei

dagokienez, tenperaturaren igoera txiki bat hauteman daiteke, baina segituan desagertzen da sutea izan eta gero.

“Landsat-TM eta Landsat-ETM+ sentsoreen irudiak oso eraginkorrak dira erretako eremuen kartografia egiteko”

Epe luzerako eragina askoz ere egonkorragoa da, landarediaren egiturak jasaten duen aldaketan oinarritzen baita. Aldaketa, baina, beste faktore batzuen eragina ere izan daiteke, hala nola artzaintzarena, haizearena, estres hidrikoarena, fenologiarena edo intsektuena. Horregatik, oso zaila da epe luzerako eragina mapan jasotzea.



Landsat 7 sateliteak egiten duen lanaren irudikapena.

Kartografia sortzeko metodologiak

Satelite bidezko irudiekin erretako eremuen kartografia egiteko bi metodologia nagusi bereiz daitezke, ikuste-analisia eta analisi digitala.

Erretako eremuen datuak jasotzeko metodoak

Lau oinarritzko metodo daude erretako eremuei buruzko informazioa lortzeko.

Lehen teknika landa-lanean eta *in situ* egindako behaketetan oinarritzen da. Erretako eremuaren kartografia landan bertan egiten da. Datu estatistiko orokor batzuk bakarrik erregistratzen dira, eta, normalean, erretako eremuaren mugarenak soilik. Metodo hori aurrera eramateko denbora eta diru asko behar direnez, eremu txikietan bakarrik erabiltzen da.

Bigarren metodologiak teknika berriagoak erabiltzen ditu, GPSa kasurako. GPSarekin, suak erretako eremuen azterlan xehatua egin daiteke denbora laburrean. Zehaztasun maila erabilitako tresneriaren eta behaketa-motaren arabera da. Neurketa hori oinez, kotxez edo helikopteroz egin daiteke. Espainian, 100 hektarea baino gehiagoko suteak metodologia honekin jasotzen dira mapan, normalean helikoptero bidez, baina ez dira kontuan hartzen erretako eremuaren barnean gelditzen diren erre-

gabeko esparruak, ezta erreketak-mailari buruzko datuak ere. Abantailetakoa bat da kartografia digitala dela, eta, beraz, zuzenean lan egin daitekeela edonolako informazio-sistema digitaletan.

Hirugarren metodologia hegazkinetatik ateratako zuri-beltzeko, koloretako edo infragorriko irudien interpretazioan oinarritzen da. Eskarmentu eta jakintza handiko pertsonak behar dira, irizpide kualitatibo subjektiboetan oinarritzen baita. Azalera handiko eremu erreka mapan jasotzeko balio du, baina garestia izan daiteke.

Lauugarren metodoa satelite bidezko irudietan oinarritzen da, eta, sentsoreen espazio-bereizmenaren arabera, baliagarria da tamaina desberdinetako eremuetarako. Espazio-ontzietatik lortutako irudi digitalak interpretatuz, erretako eremuen kartografia egitea lortzen da; gainera, sentsoreek irudiak etengabe jasotzen dituztenenez (denbora-bereizmenaren arabera), era sistematiko batean egin daiteke erretako eremuen jarraipena.

Aukerak	Landa-lana	GPS bidez	Hegazkinetatik ateratako irudiak	Teledetekzioa
Eremua	Murritza	Zabalagoa	Handia	Handia nahiz txikia
Plataforma	<i>In situ</i> . oinez, kotxez	Oinez, kotxez, helikopteroz	Hegazkinez	Espazio-ontziak
Behaketa-mota	Eskuz, estatistika orokorrak	GPS bidez	Argazkiak: zuri-beltzean, koloretan eta/edo infragorritz	Sentsoreen irudiak
Datu-mota	Analogikoak	Digitalak	Digitalak	Digitalak
Desabantaila	Erretako mugaren datuak soilik. Metodologia geldoa	Erretako mugaren datuak soilik	Garestia	Irudiak lortzea garestia
Abantaila	Merkea	Nahiko merkea	Emaizta subjektiboa	Erretako mailaren informazioa. Emaizta objektiboa. Aukera gehiago.

Ikuste-analisia sutearen ondorengo irudietan edo sutearen aurretiko eta ondorengo irudi bateratuetan oinarritzen da. Komeni diren bandak erabiliz eta kolore-konposaketa egokiak eginez, nahiko argi bereiz daitezke erretako eremuak. Hala, erretako eremua mugatzen duten puntuak ordenagailupantailan adieraziz egiten da kartografia. Metodologia geldoa izan arren, oso zehatza da, koloreen pertzepzioa lantzeaz gain, eremuaren testuingurua eta egituren informazioa bateratzen dituztelako interprete adituek.



Erretako eremuetako ikatz- eta errauts-jalkinak.

ARTXIBOKOA

Analisi digitala askoz ere metodologia azkarragoa da, baina arazo gehiago eman ditzake, kasu batzuetan ikus-analisia baino zehatzagoa den arren. Metodologia digitalen abantaila handienetako bat automatizazioa da, ondo kontrolatutako algoritmoak diseinatuz gero, ordenagailuak bakarrik egin baitetzake kartografia. Tamalez, algoritmoek ez dute kasu guztietan ondo funtzionatzen, eta nolabaiteko ikustebermea behar dute.

Analisi digitalak egiteko, maiz, datu berriak sortzen dira oinarritzko datuetatik abiatuta. Horixe da, adibidez, erretako eremuen indizeen kasua. Indize horiek jatorrizko banden eragiketetan oinarritzen dira, eta erretako eremuak beste erremuetatik hobeto bereizteko balio dute.

Bi eratarata bidera daitezke analisi digitalak. Denbora-bereizmen handia duten irudiak erabiltzen dituztenak aldaketen atzematea deitzen den teknikan oinarritzen dira. Teknika horretan, pixel bakoitzaren azterketa egiten da denboran zehar, aldaketarik izan badu sutea-erregatik izan ote den ebaluatzeko.

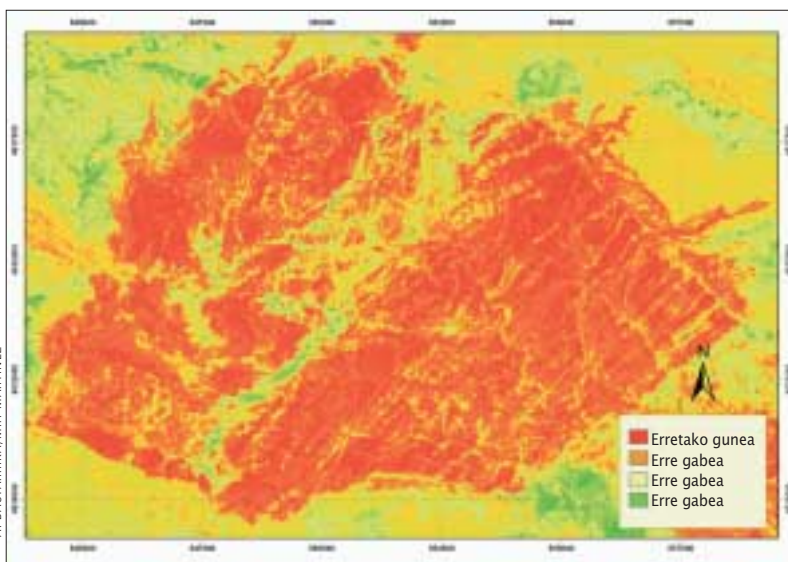
Era errazenean, sutearen hasierako eta bukaerako irudiak alderatuz egiten da azterketa. Asko aldatu diren pixelek balio handiak izaten dituzte erretako indize hauetan, eta erreta daudela jasotzen dira mapan, betiere erretako eremuen ezaugarri espektralak badituzte.

Bestela, denbora-bereizmen txikiagoa duten irudiekin lan egiten denean (eta, beraz, espazio-bereizmen handiagoa), sutea gertatu ondorengo irudiak erabiltzen dira normalean. Aurreko balioekin konparatzerik ez dagoenez, pixelen ezaugarri espektraletan bakarrik oinarritzen dira. Hainbat metodoren bidez egin daiteke, eta sinpleenetako bat esleitze-metodoa da. Kasu horretan, erretako eremuen indizeari erreparatuta, balio batetik gorako pixel guztiak erreta jasotzen dira mapan.

“metodologia automatiko edo erdiautomatikoen helburua da erretako eremuen kartografia sistematikoki lortzea”

BIBLIOGRAFIA
Roy, D.P.; Jin, Y.; Lewis, P.E.; Justice, C.O. "Prototyping a global algorithm for systematic fire-affected area mapping using MODIS time series data". Remote Sensing of Environment 97, pag 137 - 162. (2005)

SPREAD project: Literature review on methods to obtain burnt land maps. "Forest Fire Spread Prevention and Mitigation". Edited by CSIC in close cooperation with the following SPREAD partners: UAH, USAL, MAICH, IBIMET, JRC. Web Fire Mapper <http://maps.geog.umd.edu/products.asp>.



Sute baten kartografiaren adibide bat.

Ikerketa-lerroak

Azken urteetan, hiru alorretan egin dira ikerketak. Batetik, indize berrien garapenean, erretako eremuen eta antzeko emaitza espektrala duten azalaren arteko diferentzia hobetzeko. Bestetik, ikerketa ugari egiten ari dira kalte-maila ebaluatzen. Azkenik, erretako eremuaren kartografia eskualde mailan eta maila globalean nola aplikatu daitekeen ere ikertzen ari dira, azken urteetan martxan jarri diren sentsore berrietan oinarrituta. □

Eskerrak eman nahi dizkiogu Alcalako Unibertsitateko Geografia Departamentuari eta, bereziki, Emilio Chuvieco katedradunari, utzitako irudiengatik.