

Apirilaren 15az geroztik Lurraren inguruan 705 km-ko altueran jira-biraka dabil Landsat-7 satelitea, Landsat programaren azken emaitza. Beste urrats bat Lurra behatzeko sateliteen eta teledetekzioaren historia ez luze baina bai mamitsuan.



Landsat-7

Lurraren zaindari begizorrota

Tomasa Susaeta*

1 972a baino lehen satelite-behaketak meteorologian erabiltzen ziren, arrakastaz erabili ere, baina Lurraren azaleko fenomeno eta ezaugarrien azterketa satelite bidezkoa landu gabeko eremua zen. NASAK eman zuen lehen urratsa Landsat programa abiarazi zuenean. Programaren arrakasta erabatekoa izan zen: gure planetari begiratzeko manera guztiz aldatu zuen eta, berarekin batera, zientzi ikerketa eta aplikazio praktikoetarako arlo berri bat plazaratu zen: teledetekzioa.

Landsat familia

1972an aineratu zen Landsat-1 satelitea Kaliforniatik. 75 m-ko bereizmena zuen eskaner mul-

tiespektrala zuen (Multi-Spectral Scanner, MSS) eta 1978ko urtariraren 2a arte lan egin zuen. Landsat-1ek bidalitako irudiek argi eta garbi frogatu zuten teledetekzioa oso tresna egokia zela geologian, lurralde-antolamenduan, ur-baliabideen plangintzan, itsasoetako izotzen mugimenduan edo kartografian. Bost urte eta erdiko bizitzan 300.000 argazkitik gora bidali zituen. Lehen Landsat satelitearen arrakasta programa garatzeko eta hobetzeko pizgarri gertatu zen.

Haren ondotik Landsat-2 etorri zen. 1975ean espazioratu zuten eta 1982ko otsaila arte argazkiak egin eta egin jardun zuen. Hurrengoak, Landsat-3k, 1978ko martxoaren 31tik 1983ko mar-



Landsat-7 satelitea eraikitze-faseetako batean.

txoaren 31 arte lan egin zuen. Bere aurreko Landsat-1 eta Landsat-2 bezalakoa zen; 920 km-ko altuerako orbitan pausarazi zuten eta 75 m-ko bereizmeneko eskannerraz hornituta zegoen. Landsat-4 1982ko uztailaren 22an espazioratu zuten; bere

aurreko kideak baino orbita baxuagoan ezarri zuten eta aurreko hiruretan erabilitako MSS eskanerraz gainera, mapa tematikoak egiteko tresna bat (Thematic Mapper, TM) ere eraman zuten. TM delakoa eskaner multiespektral hobetua baino ez da, bereizmen handiagoa, bereizketa espektral finagoa eta fideltasun geometriko handiagoa duena. MSSak 4 espekto-bandatan lan egiten duen bitartean, TMak 7 espekto-bandatan lan egiten du; horietako batek erradiazio infragorria —beroa— detektatzen du eta, beraz, gauzez ere argazkiak egin ditzake. TMari esker, Landsat-4k aurrekoek baino datu xeheagoak eta argiagoak bidali zituen. 1987ko uztaila arte lan egin zuten.

Landsat-5 1984an espazioratu eta Landsat-4 baino orbita baxuagoan ezarri zuten. Tresneria aldetik, bere aurrekoa bezalakoa zen.

Hurrengo, Landsat-6, programari jarraipena emateko diseinatu, aurrekoak baino tresna ahaltsuagoez hornitu zuten. 1993ko urriaren 5ean aireratu zen, baina akats bat izan zen jaurtiketan eta

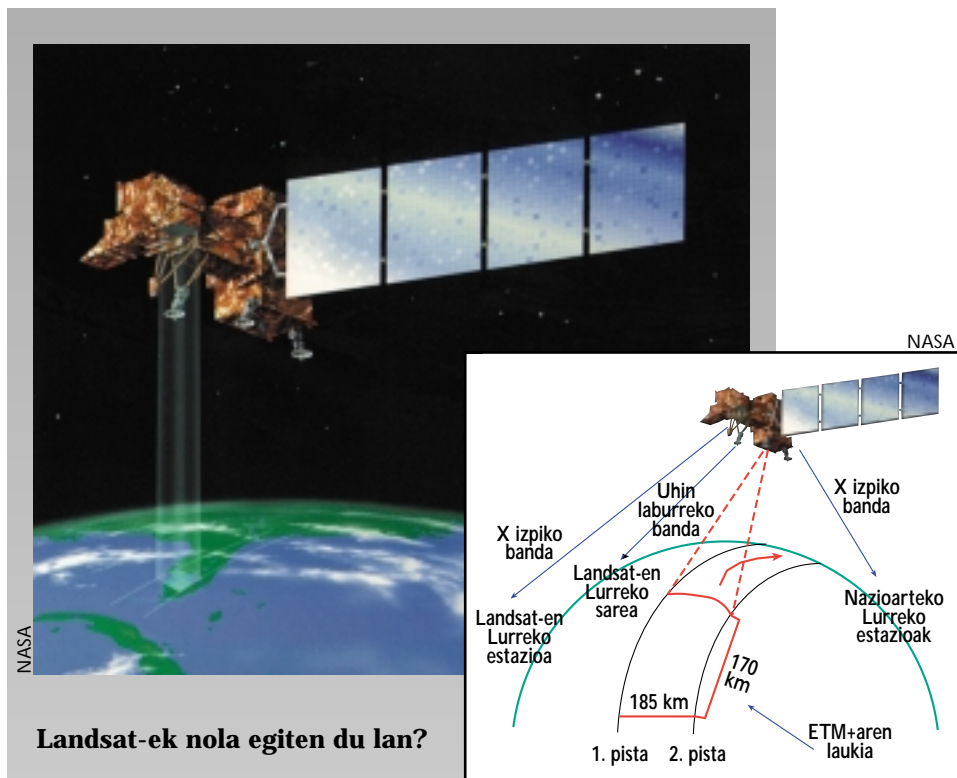
ETM+ eskanerraren ezaugarriak

Banda	Mikrometroak	Bereizmena
1	0,45-0,52	30 m
2	0,52-0,60	30 m
3	0,63-0,69	30 m
4	0,76-0,90	30 m
5	1,55-1,75	30 m
6	10,4-12,5	60 m
7	2,08-2,35	30 m
Pankromatikoa	0,52-0,90	15 m

1., 2., 3. eta 4. bandak eta banda pankromatikoa argi ikuskorraren eta infragorriaren ondoko uhinei dagozkie.

5. eta 7. bandak uhin infragorriari dagozkie.

6. banda uhin luzekoa da.



Landsat-ek nola egiten du lan?

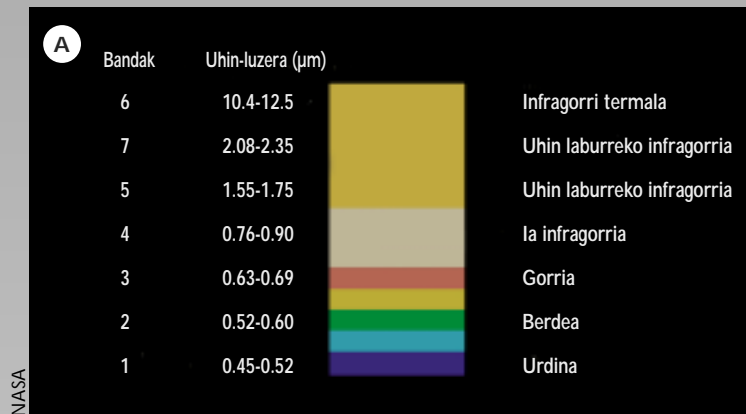
Landsat sateliteak Munduko Erreferentzia Sistemaren (Worldwide Reference System, WRS) laukietan banatzen ditu datuak. Erreferentzia-sistema horretan Lurraren azal osoa laukitan banatuta dago, hau da, orbita-ibilbidetan -pistatan- eta lerrotan. Ipar-hego norabideko pistak 001etik 233ra zenbakituta daude ekialdetik mendebaldera, 001 pistak ekuatorea 64,60 graduko mendebaldeko longituduean zeharkatzen duela.

Ekialde-mendebalde norabidean dauden 248 lerroen arteko tartea ere uniformeak dira: eguneko aldean 60. lerroak eta gauetako aldean 184. lerroak bat egiten dute ekuatorearekin. Beraz, WRS sistemak 57.784 laukitan banatzen du Lurraren azala. Lauki bakoitza 183 km zabal eta 170 km luze da. WRS sisteman oinarrituta, sateliteak 16 eguneko zikloa du, hau da, 16 egunez behin Lurraren azal osoa harrapatzen du edo, bestela esan, satelitea 16 egunez behin iragaiten da edozein tokiren gainetik.

ETM+ eskanerrak 3,8 gigabiteko informazioa lortzen du lauki bakoitzeko. Datu horiek 150 megabit segundoko abiadura duen X izpiko banda (X banda) baten bidez denbora errealean bidal daitezke Landsat-en Lurreko estazio nagusira (Sioux Falls-en dago, Hego Dakotan, Estatu Batuetan) edo Lurrean Landsat satelitearen jarraipena egiten duten nazioarteko estazioetako batera. Edo, bestela, 380 gigabiteko informazioa (100 laukiko informazioa) metatzeko ahalmena duen egoera solidoko erregistragailu punta-puntako batean gorde daitezke geroago Lurrera bidaltzeko.

Gainera, sateliteak Lurrarekin komunikatzeko bigarren bidea ere badu, uhin laburreko banda (S banda), sateliteak gobernatzeko aginduak jasotzeko eta telemetriako datuak bidaltzeko erabiltzen dena.

ASTRONAUTIKA



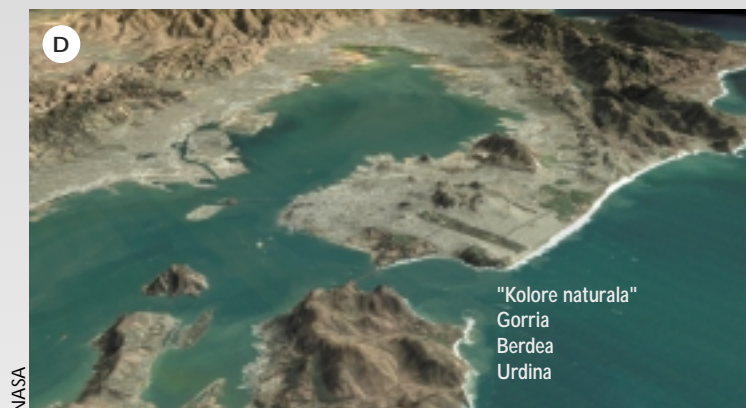
Landsat-en eskannerrak "ikusten" duen espektroaren tartea.



San Frantziskoko badiaren irudiak eskannerraren 7 bandetan.



5., 4. eta 2. banden konbinazioa.



3., 2. eta 1. banden konbinazioa "kolore naturala" lortzeko.

Landsat-en datuetatik irudiak sortzen

Landsat-en eskanner mapagileak Lurrak islatzen duen Eguzkiaren argia hautematen du gure begiak ikusten duen espektro elektromagnetikoaren tarte osoan, hau da, urdinetik gorriera, eta, gainera, gure begiak ezin ikus dezakeen baina Lurrak islatzen duen erradiazio infragorria ere hautematen du (A). Landsat-en eskannerrak bidaltzen dituen datuetatik irudiak sortzeko biderik arruntena banda bat kolore primario gisa erabiltzea da, gero beste bandekin konbinatuz kolorezko irudia lortzeko (B). C irudian 5., 4. eta 2. banda elkartuta lortzen den irudia ageri da eta D irudian argi ikuskorreko hiru bandak (3.a, 2.a eta 1.a) elkartuz lortzen den "kolore naturaleko" irudia ikus daiteke.

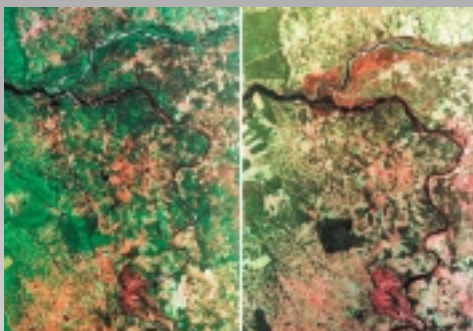
ez zuen orbitara iristea lortu. Alferrik galdu zen. Dena den, behaketak ez ziren eten, Landsat-5ek lanean jarraitu baitzuen.

Landsat-7 familiako azken umeak, aurtengo apirilaz geroztik lanean ari denak, mapagile tematiko hobetua du (Enhanced Thematic Mapper+, ETM+), 8 espektro-bandatan lan egiten duena, eta aurrekoek baino bereizmen handiagoa du.

Landsat-en irudiak zertarako?

1972tik, eta etenik gabe, Landsat programak datu eta irudi-mordoa jarri du ikerlarien esku. Datu horiek altxor paregabea dira. Gaur egun, planeta-mailako edozein aldaketa aztertzeko, Landsat-en datuak ezinbestekoak dira kalitate zein kuantitateagatik. Lurraren azala prozesu biofisiko eta kulturalen adierazpena da eta, beraz, Lurraren azalari buruzko datuek prozesu horien hedadura neurtzeko balio dute.

Landsat-en datu historikoek prozesu baten hedaduraren aldaketari buruzko eta prozesu horren aldaketaren abiadurari buruzko informazioa ematen dute. Hori dela eta, Landsat-en datuak ezin garrantzitsuagoak dira eskualde-mailako prozesuen ikerketetan



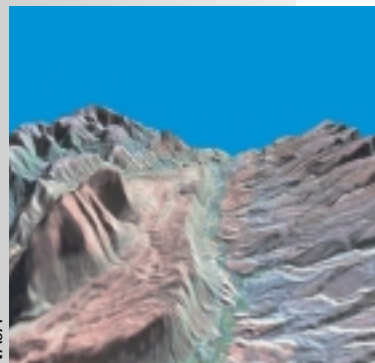
NASA

Deforestazioaren monitorizazioa

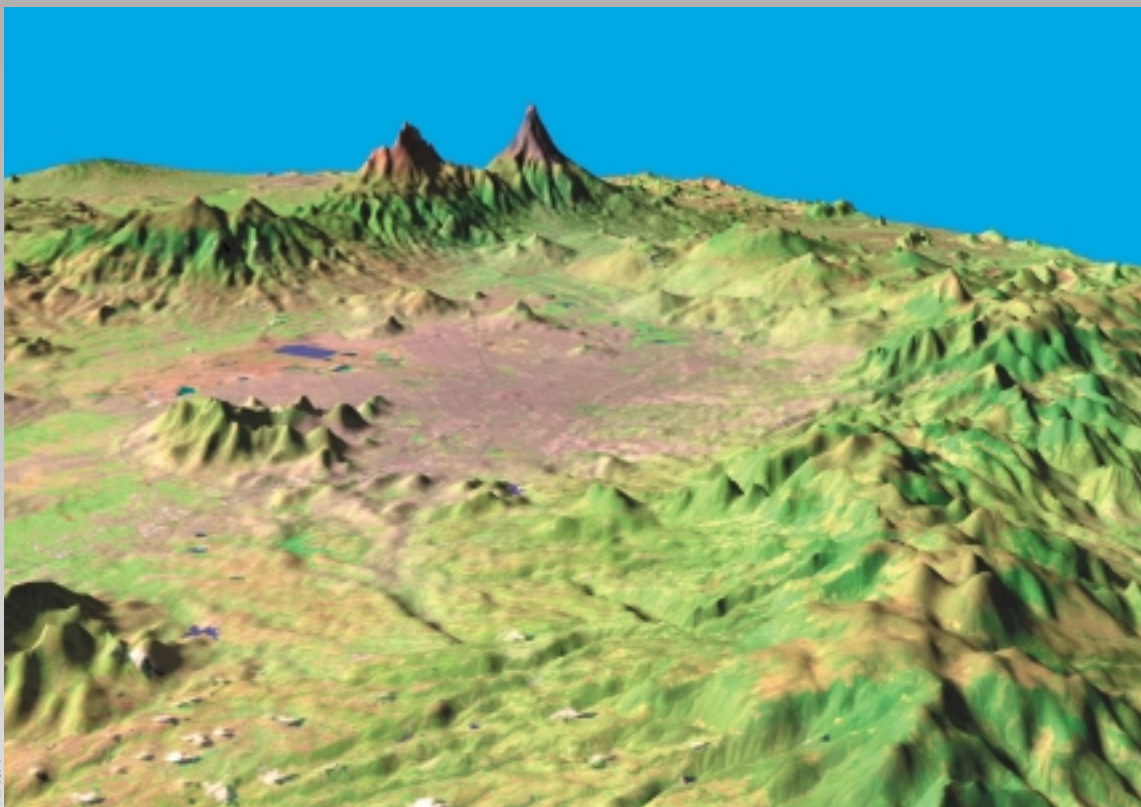
Irudi hauetan Amazoniako oihanaren zati bat ikus daiteke, Brasilgo Tocantins, Mahanhao eta Para estatuen artean. Ezkerreko argazkia 1995eko abuztuan egin zen eta eskuinekoa 1997ko maiatzean. 2 urteko epean oihan-zati handi bat zeharo soildu zuten.

Hiru dimentsioko irudiak lortzeko proiektio estereoak

Irudi hau Boliviako erdialdean dagoen Camargo sinklinalaren perspektiba da. Irudia sortzeko oinarria Landsat-5 satelitearen benetako bi irudi izan ziren, bata 1985eko ekainaren 6an eta bestea 1986ko ekainaren 16an egina. Landsat-ek angelu pixka bat desberdinetatik hartu zituen. Satelitearen bi kokapen desberdinek gure bi begiek bezala jokatzan dute, gure begiak bata bestetik distantzia txikira baitaude. Bi irudiak lurraldeko eredu batekin konbinatuz irudi estereoak lor daitezke.



NASA



NASA

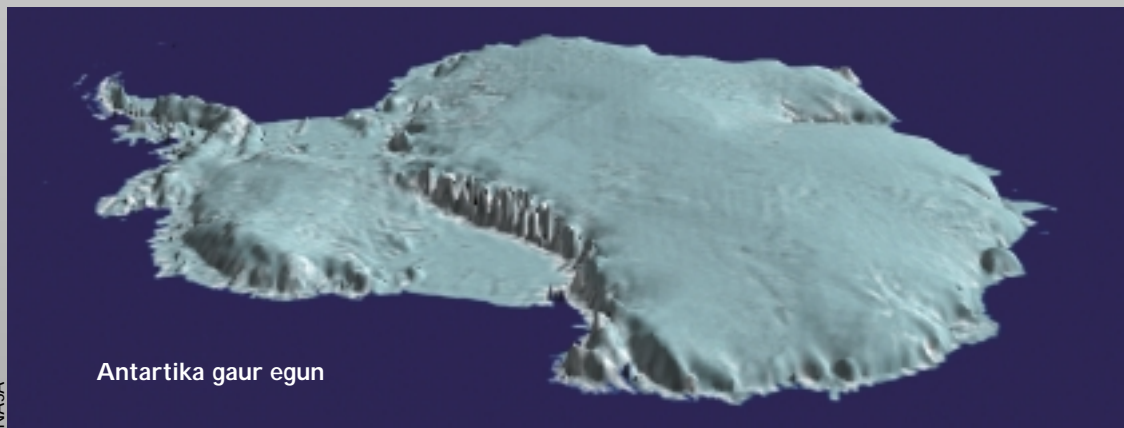
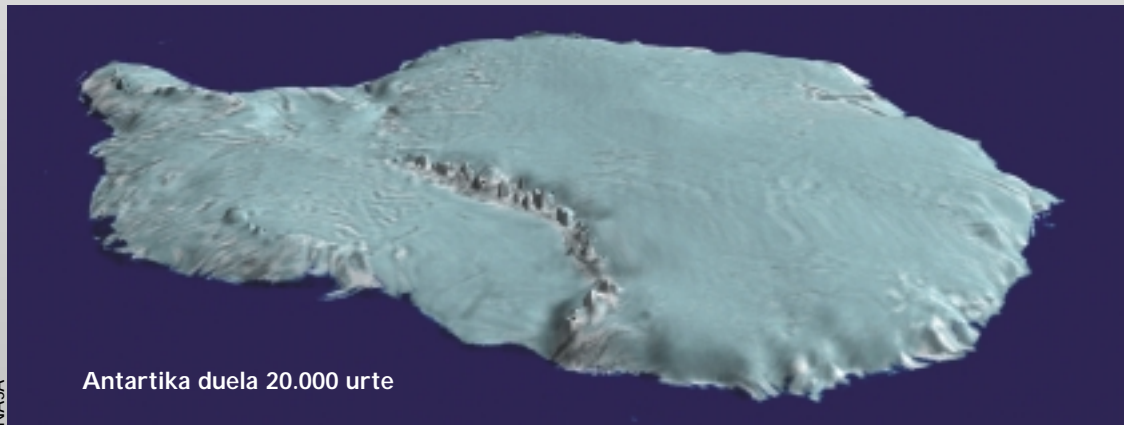
Lurraren erliebea zehatz-mehatz

Landsat-ek bidalitako datuetatik lortutako Mexiko Hiriaren inguruko eskualdearen irudia (hiru bandaren konbinazioa da: uhin laburreko infragorria, infragorria eta argi berdea). Oso ondo ikusten da hiriaren inguruko lurralde menditsu eta malkartsua. Kokapen horren ondorioz, hiriko airea irten ezinik, harrapaturik, gelditu eta smog-a sortzen da. Mendiak higatzean sortutako lurraren gainean eraiki da hiria, hau da, hiriko eraikinak eta egiturak arroka sedimentarioen gainean daude. Ondorioz, eraikinek ez dute oinarri sendorik eta lurrikarek hondamendi larriak eragin ditzakete hirian.

Glaziarren hedadura eta aldaketa neurtzen

Ikerlariak Antartikako izotzaren higidura eta jokaera aztertzen ari dira. Izotzaren higidura eragiten duten indarrak aldatzen badira, izotza azkarrago irrista liteke kontinentetik kanpora eta itsasora erori, itsasoaren maila igoaraziz. Higidura Lurretik aztertzea ez da erraza, Antartikako klimak behar adina behaketa eta neurketa egiteko aukera ematen ez duelako.

Geologo eta hidrologoak Landsat-en irudiak erabiltzen ari dira higidura neurtzeko, eta erreferentzia-puntutzat crevasseak erabiltzen dituzte. Datu horiek eta beste erreferentzia eta datu batzuk erabiliz, Antartikak duela 20.000 urte (azken izotzaroan) zuen itxura eta gaur egun duena ikus daiteke irudietan.



eta maila globalean fenomenoek duten eragina eta banaketa ulertu ahal izateko. Datu horiek arlo asko aztertzeko erabili dira eta erabiliko dira. Adibidez, urbanizazioak nekazaritza-eremuetan duen eragina aztertzeko edo ingurugiro globalean eragiten duten fenomenoaren ereduak egiteko (hala nola elurraren eta izotzaren banaketa, klima-aldaketan eragiten baitu) eta fenomeno atmosferikoak aztertzeko ere oso bali-

garriak dira fenomeno horietan Lurraren azaleko prozesuek eragiten dutenean.

Zenbanahi adibide

Erabileraren nahi beste adibide daude. Adibidez, Landsat-en irudietan oinarrituta lortu den faila eta haustura-zonei buruzko informazioa zentral nuklearren kokapena hautatzeko eta gasbide eta oliobideen ibilbiderik egokienak aukeratzeko erabili da. Eta sate-

lite-irudiak erabili dira Alaskan nabigazioari laguntzeko edo Japonian Osakako badiako poluzioa monitorizatzeko.

Geografoek ere baliatzen dituzte Landsat-en irudiak. Antartikan Landsat-en irudiek ordura arte ezezagunak ziren mendi-taldeak aurkitu zituzten Victoria Lurraldeko hegoaldean eta Lambert glaziarrean.

Eta satellite-irudiak erabil daitezke ur-baliabideak identifikatu eta



Eskanerraren bandak konbinatuz, hainbat ezaugarri nabarmenarazi egin daitezke

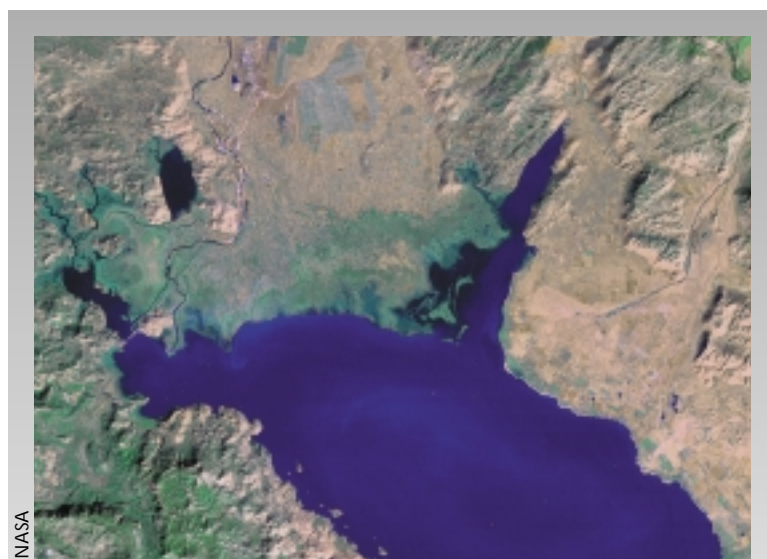
Irudiotan Kaliforniako hegoaldeko eskualde bat ageri da, Long Beach-etik San Diego-ra bitartekoa. Eskualdearen ipar-ekialdean golf-zelai mordoa dago. Ezkerrean eta eskuinean irudi bera ageri da; ezkerrekoa 3. (gorria), 2. (berdea) eta 1. (gorria) banden konbinazioa da, hau da, kolore naturalaren oso antzekoa. Baina golf-zelaiak askoz nabarmenago ageri dira 4. banda erabiliz gero (infragorriaren ondoko banda), banda hori baita klorofila hobekien islatzen duena. Zelaietako belar berdea gorri distiratsuko kolorez jantzita ageri da 4-3-2 banden konbinazioa erabiltzen duen eskuineko irudian.

neurtzeko ere. Adibidez, mendietan neguan metatu den elur-kantitatea neurtzeko erabil daitezke eta, horien bidez, udaberriaren elurra urtzean ibaien emaria zenbat aldatuko den iragar daiteke.

Beste arlo batean Landsat-en irudiek oso argi erakusten dute ozeanoetako izotz-motak eta banaketa, bai eta itsasoko izotza nola hazi den, nola higitu den eta nondik puskatu den ere. Horri esker

izotzik gabe dauden portuak edo itsasoa izotzuta dagoen eremuetan izotzik gabeko bideak erakusten ditu. Landsat satelitea nabigaziorako erabilgarria dela argi eta garbi frogatu zen 1975ean: Estatu Batuetako *Burton Island* ontzi izotz-hauslea Antartikan zebilen espedizio zientifiko batean. Hala ere, batean izotz artean harrapatu-rik gelditu zen eta Landsat-en irudietan baino ezin ikus zitezkeen ur-kanal estuetan barrena gidatua izan zen izotz-gunetik irten zen arte.

Airearen poluzioak eguraldiari nola eragiten dion erakusteko, basoetako suteak kontrolatzeko planak diseinatzeko, sute-mapak egiteko, uholdeen hedadura ikusteko... makina bat dira gaur egun teledetekzioaren aplikazioak eta Landsat programa horietarako guztietarako egokia eta erabilgarria dela frogatu da.



Landsat kartografoen lan-tresna

Landsat-en irudiak kartografian ere erabil daitezke. Irudi honetan Albania (eskuinean) eta Montenegro arteko Scutari lakua ageri da (erdialdean). Eta Podgorica hiria ere ikus daiteke irudiaren erdialdeko goialdean.

* Elhuyar