



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

IV. IKERGAZTE NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2021eko ekainaren 9, 10 eta 11a
Gasteiz, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)

ZIENTZIAK ETA NATURA ZIENTZIAK

**Sentinel-2 irudiekin erretako
eremuak detektatzeko algoritmoa
eta produktua Saharaz hegoaldeko
Afrikan**

Ekhi Roteta eta Aitor Bastarrika

137-144 or.
<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.iv.05.18>

ANTOLATZAILEA:



LAGUNTZAILEAK:



UPV

EHU

upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa



Universidad
de Navarra

Deusto
Universidad de Deusto
Deustuko Unibertsitatea



Mondragon
Unibertsitatea



Ayuntamiento
de Vitoria-Gasteiz
Vitoria-Gasteizko
Udala

araba álava
foru aldundia diputación foral



EUSKO JAURLARITZA
GOBIERNO VASCO

HEZKUNTZA SAILA
DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN



UDALBILTZA

Sentinel-2 irudiekin erretako eremuak detektatzeko algoritmoa eta produktua Saharaz hegoaldeko Afrikan

Roteta, E., Bastarrika, A.

*Meatzte eta Metalurgia Ingeniaritza eta Materialen Zientzia, Vitoria-Gasteizko Ingeniaritza Eskola, Euskal Herriko Unibertsitatea (EHU), Nieves Cano 12, 01006 Gasteiz
ekhi.roteta@ehu.eus*

Laburpena

Sentinel-2 datuetan eta MODIS sute aktiboetan oinarritutako algoritmo automatiko bat garatu da, erretako eremuak detektatzeko, Saharaz hegoaldeko Afrika osoa 2016ko urtarril eta abenduaren artean 20m-ko bereizmen espazialarekin prozesatzeko erabili zena. Landsat irudietatik eratorritako erreferentzia-datuekin konparatuz baliozkotu zen erretako eremuen produktu hau, antzeko komisioak lortuz baina aurrez bereizmen baxuko produktu globalekin baino omisio gutxiagorekin. Gure produktuak 4,9 M km²-ko azalera errea detektatu zuen guztira, inguru eta periodo berean produktu globalek detektatu zuten azalerarekiko %50 baino gehiagoko igoerarekin.

Hitz gakoak: suteak, erretako eremuak, Sentinel-2, Afrika

Abstract

An automatic algorithm for burned area detection based on Sentinel-2 data and MODIS active fires was developed, which was used to process the whole sub-Saharan Africa at 20 m of spatial resolution, from January to December 2016. The validation of the burned area product was carried out by comparing it with reference data generated from Landsat imagery, with similar commissions but much less omissions than those found for global products at low resolution. Our product detected a total BA of 4.9 M km², which means an increase of more than 50% from the surface detected by global products in the same area and period.

Keywords: fires, burned area, Sentinel-2, Africa

1. Sarrera, motibazioa eta momentuko egoera

Suteak landaretza erre, lurzorua higatu, hainbat gas eta aerosol atmosferara igorri, eta gizakien bizimoduari eragiten die, bizitzak arriskuan jartzeaz gain. Historikoki, suteak naturaren klima-ozzilazioekin erlazionatuta zeuden, tenperatura-igoerekin gertatzen baitziren latitude ertain eta altuetan, eta prezipitazio-aldaketekin ekuatore inguruan (Daniau et al., 2013; Marlon et al., 2013). Azken mendeetan, ordea, gizakion jarduerak eragin zuzena izan dute suteengan, eta hauen erregimenak eta patroiak aldatzen ari dira (Gilroy et al., 2014). Urtetik urtera azalera handiagoa erretzen da munduan klima-aldaketaren eraginez, eta biomasa gehiago erretzeak atmosferara berotegi-efektuko gas gehiago isuri eta klima-aldaketa areagotzen laguntzen du, aldi berean (Knorr et al., 2016).

Suteen eragin hauek guztiak direla eta, garrantzi handia eman zaio erretako eremuak (BA, ingelesezko *burned areatik*) zehaztasunez detektatzeari; hau teledetekzio bidez egin izan da gehienbat, hau da, sateliteetako irudiak aztertuz (Chuvieco et al., 2019). Lurraren behaketarako erabiltzen diren sateliteak hainbat banda izaten dituzte, espektro elektromagnetikoan zehar banatuta eta uhin-luzeraren arabera bereizirik. Banda horietako bakoitzak lurrazalak dagokion uhin-luzerako argiari edo energia elektromagnetikoari nola erantzuten dion adierazten du; beste modu batera esanda, eguzkitik jasotako energiaren zein portzentaje islatzen duen, erreflektibitatea deitua, erakusten du. Erreflektibitateen banda hauek 0.4 – 2.5 µm arteko uhin-luzeren eremuan kokatzen dira normalean; banda termikoek, aldiz, 10 – 13 µm artean kokaturik, lurrazalaren tenperatura erakusten dute, gorputz orok energia jakin bat irradiatzen baitu duen tenperaturaren arabera. Lurrazaleko objektuek uhin-luzeraren arabera islatzen edota irradiatzen duten energia hau aztertuz hainbat gertakari natural detektatzean datza teledetekzioa.

Erretako eremuen (BA) hainbat produktu global (mundu mailakoak) garatu dituzte azken 20 urteetan, hau da, sateliteetako irudietan oinarrituz modu automatikoa detektatutako suteak identifikatzen dituzten mapak, non eta noiz erre diren adieraziz. Lehenak bereizmen espazial baxukoak ziren ($1 \times 1 \text{ km}^2$ -ko pixelak) eta hainbat errore zituzten, baina produktuak hobetuz joan dira sateliteetako sentsoreak eta algoritmoak hobetu ahala. Gaur egun bi BA produktu global nagusi daude, biak NASAren Aqua eta Terra sateliteetako MODIS sentsorearen eguneroko irudietan oinarrituta eta 2001etik aurrera prozesatuak: MCD64A1c6 500 m-ko bereizmen espazialarekin (Giglio et al., 2009) eta FireCCI51 250 m-koarekin (Lizundia-Loiola et al., 2020). Biek ala biek errelektibitate-bandetan oinarrituta egoteaz gain sute aktiboen datuak erabiltzen dituzte, hau da, banda termikoetan normala baino tenperatura altuagoa erakusteagatik detektatutako suak, sentsoreak irudia hartu zuen momentuan erretzen ari zirenak. Bereizmen espazial ertaineko ($< 100 \text{ m}$) produktu global bakarra dago oraingoz, GABAM, orain dela gutxi argitaratua (Long et al., 2018); Landsat irudietatik eratorrita dago, 30 m-ko pixelarekiko irudi bat izanik 16 egunean behin, baina ez du sutearen datari buruzko informaziorik eskaintzen.

2. Ikerketaren helburuak

Aurreko atalean aipatu bezala, bereizmen espazial ertaineko BA produktuak oso urriak dira eta, beraz, algoritmo automatiko berri bat sortu genuen ikerketa honetan, Sentinel-2 (S2) satelitearen MSI sentsorearen datuetan oinarrituz. Satelite hau 2015ean jarri zuen abian Europako Espazio Agentziak (ESA, ingelesezko *European Space Agency*-tik), eta doako satelite-irudien artean orain arteko bereizmen espazial hoberena du: 10 edo 20 m, banda espektralaren arabera, 10 egunean behin irudi bat lortuz. Saharaz hegoaldeko Afrikan (SHA) aplikatu genuen algoritmoa, bertan baitago munduan erretako azalera osoaren % 70 inguru (Randerson et al., 2012), 2016 urtean erretako azalera guztiak detektatuz 20 m-ko zehaztasunarekin. Sortutako BA produktua FireCCISFD11 izenpean eman zen argitara (Roteta et al., 2019).

3. Ikerketaren muina

3.1. Algoritmoa eta BA produktua

Erretako eremuak detektatzeko algoritmoa Afrikako ezaugarri espektraletara moldatuta dago eta zeharo automatikoa da. Bi datu-iturri erabiltzen ditu: batetik Sentinel-2 satelitearen errelektibitate-irudiak, eta bestetik MODIS irudietatik eratorritako sute aktiboen MCD14ML produktua. Bi datutako irudi banaren artean aplikatzen da algoritmoa, bien arteko aldaketak aztertuz; bi irudi hauetan lehenari *pre* deituko zaio hemendik aurrera, eta bigarrenari *post*, detektatu beharreko suteen aurreko eta ondorengo egoerak erakusten baitituzte. S2 irudiak MGRS sare erregularren arabera zatituta daude, $110 \times 110 \text{ km}^2$ inguruko gelaxketan, eta gelaxka hauetako bat prozesatzen du algoritmoak aldiko.

Algoritmoa bera exekutatu aurretik irudiak prestatu egin behar dira, biei maskara bana aplikatuz lainoak, lainoen itzalak eta ur-masak analititz kanpo gera daitezen. Gainera, bi indize espektral kalkulatzeko dira irudi bakoitzean, banden arteko eragiketa bidez: MIRBI (Trigg and Flasse, 2001) eta NBR2 (García and Caselles, 1991). Gertuko infragorriko (NIR) errelektibitateak eta bi indize hauek bakarrik erabiliko ditu ondoren algoritmoak. Hiru banda hauek erretako eremuak detektatzeko gaitasun handiena erakutsi zutelako aukeratu ziren, Afrikan zehar banatutako 52 ikerketa-eremutan egindako analisi espektral batean; banda bakoitzarentzat atalase finko bana ere neurtu zen analisi honetan, erretako eta erre gabeko eremuak bereizteko.

Lehenik erretako eremu batzuk identifikatzen ditu, baldintza batzuk definituz: bi irudien artean NIR, MIRBI eta NBR2 balioek atalase finko batek baino aldaketa handiagoa izan behar dute (aurreko analisi espektralean lortutako atalaseak), eta aldi berean identifikatutako eremuek MCD14ML produktuko sute aktibo baten inguruan egon behar dute. Baldintza hauek betetzen ez dituzten pixelak erre gabekotzat hartzen dira. Behin erretako eta erre gabeko pixelen bilduma

bana izanik, hauek MIRBI eta NBR2 indize espektraletan dituzten balioak aztertu, eta balio hauetan oinarrituz irudiak sailkatzen ditu algoritmoak. Honela, probabilitate-irudi bat lortzen da, % 0 (erre gabe) eta % 100 (erreta) arteko balioekin.

Azkenik, bi faseko estrategia bat aplikatzen zaio probabilitateen irudi honi. Estrategia honek lehenik erretako seinale espektral oso sendoa duten pixel batzuk identifikatzen ditu, haziak deiturikoak, eta ondoren hazi hauen inguruan eremua zabalduz joaten da probabilitateen irudian atalase batetara iritsi arte; honela, erre izanaren probabilitate altua izan baina barnean hazi hauetako bakar bat bera ere ez duten eremuak erroretzat hartu eta baztertu egiten dira (Bastarrika et al., 2011). Kasu honetan, erretako pixelen bildumako seinale espektral errenea dutenak aukeratzen dira hazi bezala; honek benetan erre ez ziren azalera asko baztertu zituen, nekazaritza-soroak batez ere, uzta jaso osteko seinale espektrala erretakoaren oso antzekoa baitute.

Algoritmo hau BA produktu bat sortzeko erabili zen, FireCCISFD11 deiturikoa, ESaren Fire_cci proiektuaren barnean. Saharaz hegoaldeko Afrikan (SHA) 2016ko irudi guztiak prozesatu ziren, urte horretan erretako eremu guztiak detektatuz 20 m-ko bereizmen espazialarekin (S2 irudien bereizmena); ez zegoen orain arte hain eremu zabala estaltzen zuen bereizmen honetako produkturik, GABAMek, produktu globala izan arren, 30m-ko bereizmena baitu.

3.2. Baliozkotzea

SHako BA produktua baliozkotu ahal izateko hainbat erreferentzia-datu sortu ziren 45 gune ezberdinetan, bi datatako Landsat irudien artean erretako eremuak detektatzeko software baten bidez (Bastarrika et al., 2014). Erreferentzia datu hauek periodo jakin batean erretako eremuak erakusten dituzte zehaztasun handiarekin, eta BA produktua hauekin konparatu zen zein errore zituen ikusteko. Bi errore nagusi neurtzen dira kasu hauetan: komisioak, produktuak erretakotzat detektatu dituen pixelekiko berez erreta ez dauden portzentajea; eta omisioak, guztira benetan erre direnekiko produktuak detektatu ez dituen portzentajea. Hauxe gain, Dice koefiziente edo DC ere neurtu zen, honakoa adierazten duelarik: produktuak edo erreferentzia-datuak, bietakoren batek, pixel bat erretakotzat hartzen badu, besteak ere erreta detektatzeko dagoen probabilitatea. Gure produktuaz gain (FireCCISFD11) bereizmen baxuko bi produktu erabilienak ere, MCD64A1 eta FireCCI51, baliozkotu egin ditugu erreferentzia-datu berberekin. GABAM produktua, orain arteko bereizmen ertaineko produktu global bakarra, ez dute prozesatu oraindik 2016rako zoritxarrez eta ezin izan dugu baliozkotu.

Baliozkotze honen emaitzak 1. taulan ikus daitezke, eta gure produktuaren emaitzak nabarmen hobeak dira. Komisioak ez dira produktu globalenak baino askoz hobeak, baina omisioak asko jaitsi dira, lehengo % 50-60 arteko balioen erdiraino; DC indizea ere % 55 ingurutik % 77raino igo da. Emaitza hobe hauek bereizmen espazialari esker hobetu dira dudarik gabe, MCD64A1 eta FireCCI51 produktuek 500 eta 250 m-ko bereizmena baitute, oso baxuak gure FireCCISFD11en 20 metroen aldean.

1. taula. BA produktuen baliozkotzearen emaitzak, gure produktua eta bere emaitzak letra lodiz adierazita daudelarik; unitate guztiak ehunekotan daude.

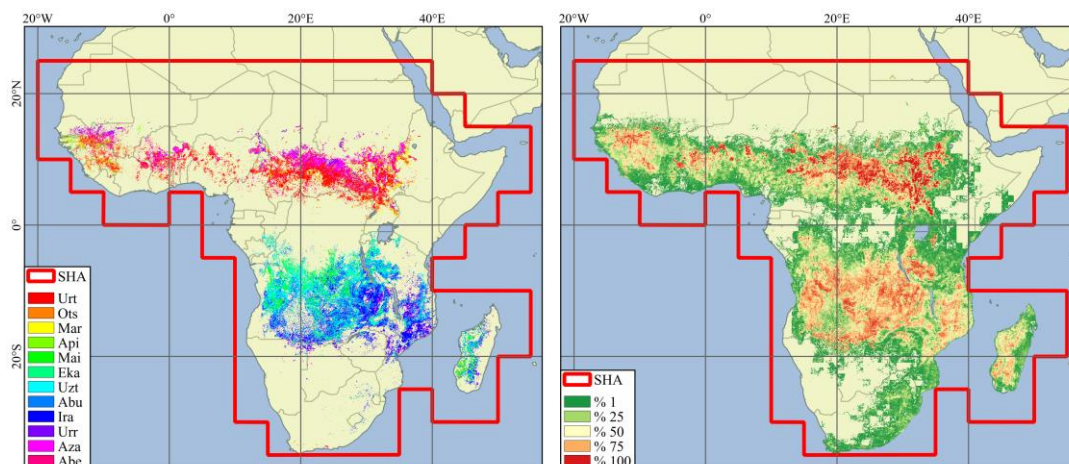
Produktua	Komisioak	Omisioak	DC
FireCCISFD11	19,3	26,5	77,0
MCD64A1	20,4	59,6	53,6
FireCCI51	25,7	54,5	56,4

3.3. Produktuaren emaitzak

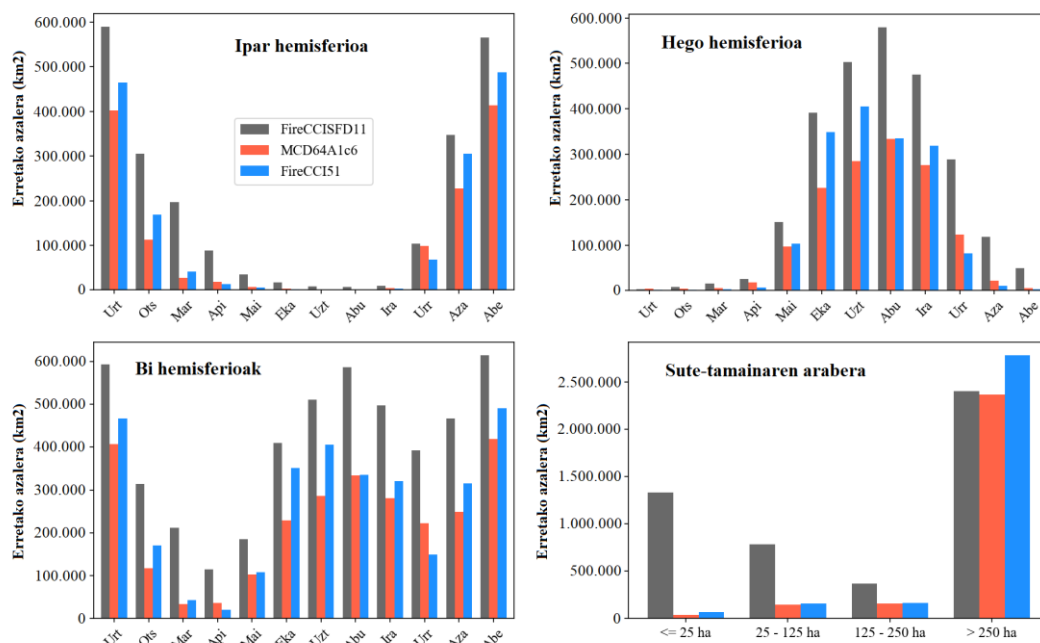
FireCCISFD11 produktuaren emaitza orokorrak 1. irudian ikus daitezke. Ekuatoreaz iparraldera lehenik urtariletik martxora erre zen azalera handiena, eta ondoren urrian hasi eta

abendura arte; hego hemisferioan, aldiz, maiatza eta urria artean erre zen gehien. Leku batzuetan lurrazalaren ia % 100 erre zen 2016an, eta ipar hemisferioko gune batzuetan gehiago ere bai; azken hauetan eremu batzuk bi aldiz erre ziren, lehenik urtarrilean edo otsailean eta gero azaro-abenduan, elkarren artean ia urtebeteko aldearekin.

1. irudia. Gure BA produktuaren emaitzak SHAn; ezkerrean urteko zein garaitan erre den, eta eskuinean lurrazalaren erretako portzentajea.



2. irudia. Hainbat BA produktuk detektatutako azalera totalak, hemisferio bakoitzean hilabeteka, eta sute-tamainaren arabera. Unitateak kilometro karratuak (km²) dira.



Guztira 4,9 milioi km² izan zen gure produktuak detektatutako azalera erre; honek % 80 edo % 54 inguruko igoera esan nahi du MCD64A1 eta FireCCI51 produktu globalek eremu eta denbora-tarte berean detektatu zutenarekiko (2,7 eta 3,2 milioi km², hurrenez hurren). Azalera hauek hilabeteka zatituta ikus daitezke 2. irudian, non urte osoan zehar antzeko banaketa izan baitute hiru produktuek, betiere FireCCISFD11ek azalera gehien detektatuz, eta MCD64A1ek gutxien. Aurrez 1. irudian ikusi bezala, ipar hemisferioan urtearen hasieran eta amaieran gertatzen dira sute guztiak, eta hego hemisferioan, aldiz, erdialdean. Gure produktuaren eta produktu globalen arteko aldea suteen tamainaren arabeko konparaketan ikusten da ondo: sute

handienentzat (> 250 ha) antzeko azalera detektatu dute hirurek, 2,4-2,8 milioi km² artean, baina sute txikiagoak ez dituzte ia detektatu ere egin produktu globalek, 25 ha baino txikiagoak batez ere. Kontuan izan behar da produktu hauek bereizmen baxuak dituztela, 500 eta 250 m-koak hurrenez hurren, eta beraz 25 ha pixel bakar baten azalera dela MCD64A1en kasuan, eta 4 pixelena FireCCI51entzat.

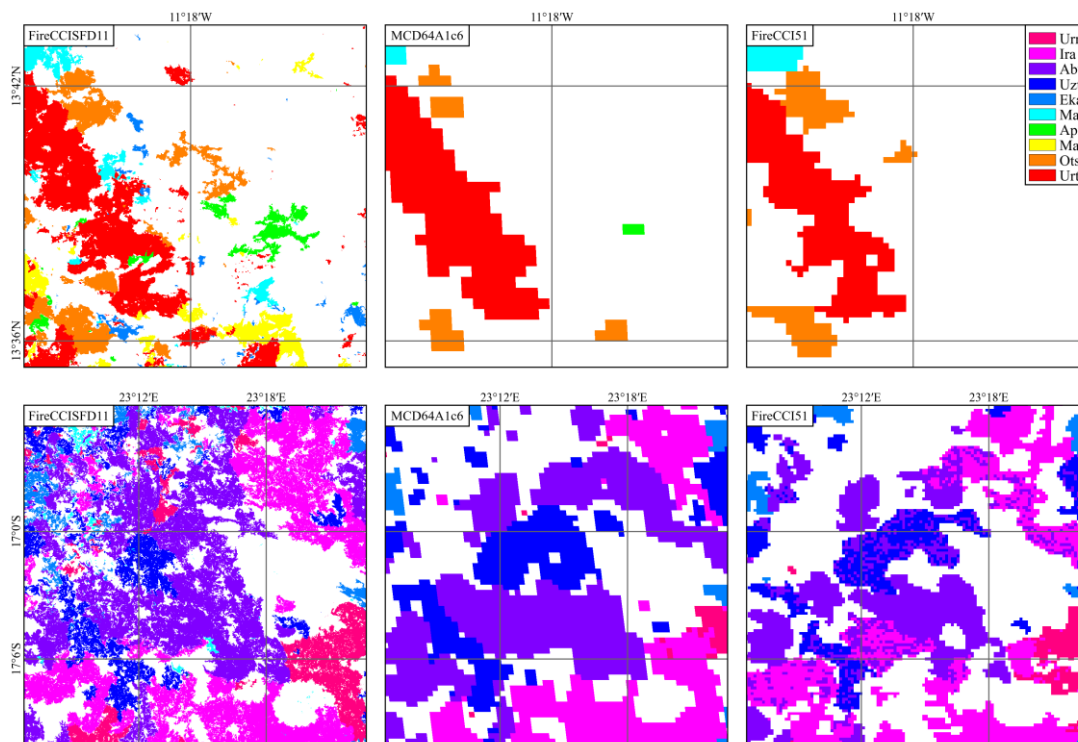
4. Ondorioak

Sentinel-2 irudietan eta MODIS sute aktiboetan oinarritutako algoritmo automatiko bat sortu dugu, Saharaz hegoaldeko Afrikan erretako eremuak detektatzeko, 20 m-ko bereizmen espazialeko produktu bat sortuz. Maila honetako lehen produktua izan da komunitate zientifikoa, aurrez zegoen produktu bakarrak (GABAM), globala izan arren, bereizmen baxuagoa baitzuen (30 m) eta ez zuen pixel bakoitza urteko zein garaitan erre zen erakusten, zientzialarientzat nahiko garrantzitsua den informazioa.

FireCCISFD11 produktuaren zehaztasuna baliozkotzearen emaitzek erakusten dute, produktu globalek baino askoz errore baxuagoekin. Gainera, baliteke erroreak berez hemen kalkulaturakoak baino baxuagoak izatea. Izan ere, erreferentzia-datuak baliozkotu beharreko produktua baino bereizmen altuagokoak izan behar lirateke, baina Sentinel-2 irudien 20 metroak baino pixel txikiagoko beste irudirik ez dago oraingoz, eta ondorioz bereizmen baxuagoko Landsat irudiak erabili ziren honetarako, 30 m-rekin. Halere, produktu globalekin konparatuz gero, omisioak erdiraino jaitsi dira.

Gure produktu honek komisioak ere izan ditu ordea, hau da, berez erre ez diren baina gure produktuan erreta azaltzen diren guneak. Bi jatorri nagusi dituzte. Batetik, algoritmoaren hasieran aplikatutako maskarak ez ditu laino eta lainoen itzal guztiak kendu, eta hauetako asko erreta baleude bezala detektatu ditu gero algoritmoak, berez erreta ez bazeuden ere. Bestetik, nekazaritza-soroetan uzta jaso berritan lurrazalak erretako eremuen oso antzeko seinale espektrala izaten du, eta hauek ere komisio bezala azaltzen dira gure produktuan; arazo hau ez da berria, beste BA algoritmo askok ere bai baitute.

3. irudia. FireCCISFD11, MCD64A1 eta FireCCI51 BA produktuen arteko konparaketa, bi eremutan. Lehen ilara Senegalen dago kokatuta, eta bigarrena Zambian.



Produktu globalekin konparatuta, FireCCISFD11ek benetan zehaztasun handiz detektatzen ditu suteak, 3. irudian ondo ikus daitekeen bezala. Hau bereizmen espazial altuak (20 m) ahalbidetzen du, 500 eta 250 m-ko produktuei (MCD64A1 eta FireCCI51) gehiago kostatzen baitzaie sute handien mugak ongi zehaztea, eta txikienak detektatu ere ez dituzte egiten; frogatuta geratu da beraz bereizmen espazialaren garrantzia. Badirudi bereizmen tenporal baxuagoa izatea ere konpondu egin duela pixelaren tamainak, Sentinel-2 sateliteak 10 egunean behin bakarrik lortzen baitu leku bereko irudi bat, MODISek irudi bat egunero eskaintzen duen bitartean. 4,9 milioi km² detektatuz, % 54 edo % 80ko igoera aurkitu da, konparatutako produktu globalaren arabera, Afrikan sute txikiekin % 32 inguru bakarrik igotzea espero bazen ere (Randerson et al., 2012). FireCCISFD11 produktu hau oso garrantzitsua izango da beraz igortzen diren berotegi-efektuko gasak hobeto estimatzeko, orain arte produktu globalak suteak nabarmen gutxien ari baitziren.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Ikerketa honetan SHAn urte bakarra (2016) prozesatu da oraingoz. Produktu globalekiko alde nabarmenak azaldu badira ere, berez urte gehiago prozesatu beharko lirateke erretako eremuak hainbeste gutxien ote diren egiaztatzeko, hemen ikusi bezala. Hain zuzen ere, ESAren Fire_cci proiektua, FireCCISFD11 produktua sortu zuen berbera, bigarren urte bat prozesatzen ari da orain, algoritmo honexekin; 2019 urtea hain zuzen ere. Bigarren bertsio hau zehatzagoa izatea espero da, bi arrazoi nagusirengatik. Batetik, 2016an satelite bakar baten irudiak erabili ziren, Sentinel-2A-renak, eta hau 10 egunean behin pasatzen da lurreko eremu berberaren gainetik. 2017an, ordea, bigarren satelite bat jarri zuen ESAk orbitan, Sentinel-2B, ezaugarri berberekin, eta biak txandakatuz 5 egunean behin lor daiteke irudi bat. Maiztasuna areagotuta, erretako eremuak sarriago behatu eta hobeto detektatzea espero dugu. Eta bestetik, sute aktiboen produktu berri bat argitaratu dute ikerketa hau burutu ondoren, VIIRS sentsorearen datuetatik eratorria (Schroeder et al., 2014), espazialki MCD14ML produktua baino zehatzagoa dena (375 m-ko bereizmena du 500 m-ren ordez), eta honek ere erretako eremuak hobeto identifikatzen laguntzea espero dugu.

Hemen deskribatutako algoritmoa Afrikako ezaugarri espektraletarako egokituta diseinatu zen, baina baliteke hain ongi ez funtzionatzea munduko beste kontinente eta ekosistemetan. Erabilitako atalaseek balio finkoak dituzte, eta gainera banda edo indize espektral jakin batzuetan oinarrituta dago, baina MIRBI indizeak, adibidez, ez ditu hain ondo bereizten erretako eremuak beste lurralde batzuetan. Horrexegatik, ikerketa honen hurrengo pausua mundu osorako algoritmo global bat sortzea litzateke, eta honetan lanean ari gara jada. Landsat nahiz Sentinel-2 sateliteen irudietan oinarrituta, eta berriz ere MODIS sentsoretik eratorritako sute aktiboak erabiliz, algoritmo global bat sortu dugu, munduko hainbat eremu eta ekosistematan probatu eta emaitza txukunak eman dituen. Halere, algoritmoa fintzen ari gara oraindik, nekazaritza-eremuetan komisio handiak egiten baititu. Gainera, algoritmo hau hasieratik Google Earth Engine plataforman garatu dugu. Honako hau Googlek garatutako plataforma bat da, satelite garrantzitsuenen irudiak hodeian kargatuta dituen, erabiltzaileak edozein eragiketa egin dezan; prozesamendu guztia hodeian bertan egiten da, eta azken emaitza bakarrik deskargatzen da (Gorelick et al., 2017). Honek algoritmoa aplikatu eta irudiak prozesatzea ikaragarri erraztuko digu, baita algoritmoa komunitate zientifikoari eskuragarri jartzea ere, edonork nahi duen herrialdeko suteak monitorizatu ahal izateko.

6. Erreferentziak

Bastarrika, A., Chuvieco, E. eta Martín, M.P. (2011): Mapping burned areas from Landsat TM/ETM+ data with a two-phase algorithm: Balancing omission and commission errors. *Remote Sensing of Environment*, 115, 1003-1012.

- Bastarrika, A., Alvarado, M., Artano, K., Martínez, M., Mesanza, A., Torre, L., Ramo, R. eta Chuvieco, E. (2014): BAMS: a tool for supervised burned area mapping using Landsat data. *Remote Sensing*, 6, 12360-12380.
- Chuvieco, E., Mouillot, F., van der Werf, G.R., San Miguel, J., Tanase, M., Koutsias, N., García, M., Yebra, M., Padilla, M., Gitas, I., Heil, A., Hawbaker, T.J. eta Giglio, L. (2019): Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. *Remote Sensing of Environment*, 225, 45-64.
- Daniau, A.L., Goñi, M.F.S., Martínez, P., Urrego, D.H., Bout-Roumazeilles, V., Desprat, S. eta Marlon, J.R. (2013): Orbital-scale climate forcing of grassland burning in southern Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110, 5069-5073.
- García, M.J.L. eta Caselles, V. (1991): Mapping burns and natural reforestation using thematic Mapper data. *Geocarto International*, 6, 31-37.
- Giglio, L., Loboda, T., Roy, D.P., Quayle, B. eta Justice, C.O. (2009): An active-fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor. *Remote Sensing of Environment*, 113, 408-420.
- Gilroy, J.J., Woodcock, P., Edwards, F.A., Wheeler, C., Baptiste, B.L.G., Medina Uribe, C.A., Haugaasen, T. eta Edwards, D.P. (2014): Cheap carbon and biodiversity co-benefits from forest regeneration in a hotspot of endemism. *Natural Climate Change*, 4, 503-507.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. eta Moore, R. (2017): Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27.
- Knorr, W., Jiang, L. eta Arneth, A. (2016): Climate, CO₂ and human population impacts on global wildfire emissions. *Biogeosciences*, 13, 267-282.
- Lizundia-Loiola, J., Otón, G., Ramo, R. eta Chuvieco, E. (2020): A spatio-temporal active-fire clustering approach for global burned area mapping at 250 m from MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 236.
- Long, T., Zhang, Z., He, G., Jiao, W., Tang, C., Wu, B., Zhang, X., Wang, G. eta Yin, R. (2018): 30m resolution Global Annual Burned Area Mapping based on Landsat images and Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 11, 489.
- Marlon, J.R., Bartlein, P.J., Daniau, A.L., Harrison, S.P., Maezumi, S.Y., Power, M.J., Tinner, W. eta Vanniére, B. (2013): Global biomass burning: A synthesis and review of Holocene paleofire records and their controls. *Quaternary Science Reviews*, 65, 5-25.
- Randerson, J.T., Chen, Y., van der Werf, G.R., Rogers, B.M. eta Morton, D.C. (2012): Global burned area and biomass burning emissions from small fires. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 117.
- Roteta, E., Bastarrika, A., Padilla, M., Storm, T. eta Chuvieco, E. (2019): Development of a Sentinel-2 burned area algorithm: Generation of a small fire database for sub-Saharan Africa. *Remote Sensing of Environment*, 222, 1-17.
- Schroeder, W., Oliva, P., Giglio, L. eta Csiszar, I.A. (2014): The New VIIRS 375m active fire detection data product: Algorithm description and initial assessment. *Remote Sensing of Environment*, 143, 85-96.
- Trigg, S. eta Flasse, S. (2001): An evaluation of different bi-spectral spaces for discriminating burned shrub-savannah. *International Journal of Remote Sensing*, 22, 2641-2647.

7. Eskerrak eta oharrak

Ikerketa hau ESaren Fire_cci proiektuaren barnean burutu zen gehienbat, 4000115006/15/I-NB kontratupean. Proiektu honen helburua suteek ingurumenean duten eragina aztertzea da, klima-aldaketa hobeto ulertzeko. Aldi berean, ikerketaren amaiera aldera, EHUK ere diruz lagundu zuen doktoretza-beka baten bidez (PIF17/96 kontratu-zenbakia).

Ikerketa honen egile nagusiak Ekhi Roteta eta Aitor Bastarrika bagara ere, Euskal Herriko Unibertsitatekoak, beste hainbatek ere hartu zuten parte: Thomas Stormek Sentinel -2 irudi guztiak deskargatu eta prozesatu zituen, azken produktua lortzeko; Marc Padillak erreferentzia - datuak sortu zituen 45 baliozkotze-eremutan, gero FireCCISFD11 produktua baliozkotuz; eta Emilio Chuvieco prozesu guztia gainbegiratu eta gidatu zuen. Ikerketa osoa artikuluko zientifikoko batean argitaratu zen (Roteta et al., 2019).