

Geografi Informazioko Sistemak eta natur arriskuen azterketa

*Paulo Etxeberria**
*Adolfo Brazaola***
*José Miguel Edeso****

Euskal Herriko Unibertsitatea
*Ingeniaritzaren Adierazpen Grafikoa eta Proiektuak Saila
Meatze eta Herri-lan I.T.U.E.
Beurko muinoa, z/g. 48902 BARAKALDO

**Ingeniaritzaren Adierazpen Grafikoa eta Proiektuak Saila
Ingeniarien Goi Eskola
Urkixo zumardia, z/g. 48013 BILBO

***Meatze eta Metalurgia Ingeniaritza eta Materialen Zientzia Saila
Ingeniaritzako Unibertsitate Eskola
Nieves Cano, 12. 01006 GASTEIZ

Laburpena: Geografi Informazioko Sistemak (GISak) espazio- edo geografia-informazioa modu anitzetan maneiatzen duten tresnak dira. Hau oso erabilgarria da natur arriskuen alorrean, horretan maneiatzen diren aldagaiak batez ere espazialak dira eta. Ikertze-eremu erakargarri hau ezagutarazi nahian, artikulu honetan erreminta hauen oinarri nagusiak eta arriskuen azterketaren hastapenak laburtu dira, eta alor honetan GISak aplikatzeko aukera aztertu da. Horretarako arriskuon azterketan GISak erabiltzeko hainbat modu aurkeztu dira eta adibide esanguratsu batzuk aipatu ere.

Gako-hitzak: Geografi Informazioko Sistemak, Kartografia, Espazio-azterketa, Natur arriskuak.

SARRERA

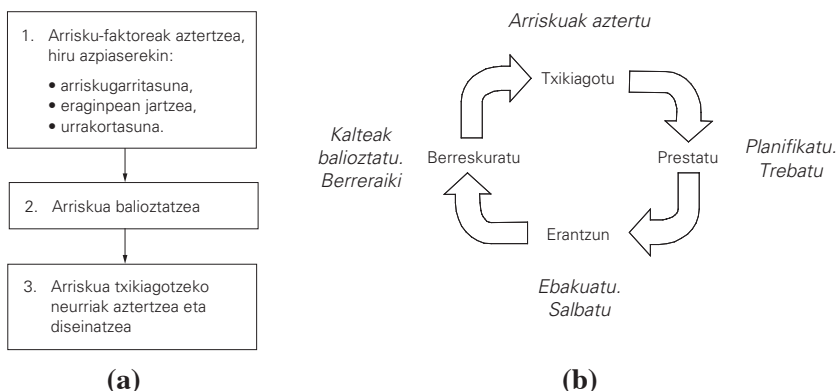
Natur arriskuek milaka hildako eta kalte ekonomiko handiak eragiten dituzte urtero; 2003 urtean, hain zuzen ere, munduan zehar 75.000 pertsona hil ziren eta kalte ekonomikoak 65.000 milioi dolarrekoak izan ziren [1].

Galera hauek, XX. mendeko azken hamarkadetan goraka joan dira, klima-aldaketak eragindako fenomeno atmosferiko gogorren (euri-jasen, lehorte aldien, eta abarren) maiztasuna eta intentsitatea igo direlako eta gizakiak arrisku handiko eremuak gero eta gehiago betetzen dituelako.

Hondamenak, aurretik jakiterik ez bada ere, kasu gehienetan aurreikus daitezke, arrisku handieneko lekuak aurretik zehatz daitezke eta. Horretarako natur fenomeno arriskutsu bat gertatzeko probabilitatea kalkulatu behar da, eta gizakien jartzea eta urrakortasuna peril horren aurrean. Arriskuaren espazio-banaketa ezagutu beharrak arrisku-mapak erabiltzea eskatzen du, larrialdiak kudeatzeko ezinbesteko erremintak.

ARRISKUEN AZTERKETA

Arriskuaren azterketa, natur, teknologi, ekologi edo gizarte-arriskuaren faktoreak (arriskugarritasuna, eraginpean jartzea eta urrakortasuna) identifikatzea eta analizatzea helburu dituen metodologia-multzoa da. Azterketak, arriskua balioztatzea eta hau txikiagotzeko neurriak definitzea ditu xede. Azterketak hiru fase ditu (1.a irudia).



1. irudia. Arrisku-azterketaren faseak (a) eta larrialdi-kudeaketarenak (b).

Arriskuaren azterketa, **larrialdi-kudeaketaren** fase bat da: arriskuaren txikiagotze-fasea (1.b irudia). Larrialdien kudeaketa, natur edo teknologi larrialdiak txikiagotzeko, prestatzeko, erantzuteko eta berreskuratzeko dauden baliabideak aztertzea, planifikatzea, erabaki-hartzea, esleitzea eta koordinatzea da.

Olcina eta Ayala-Carcedo-rentzat [2] **perila** (*hazard* ingelesez) biztanleei, ondasunei edo ingurumenari kaltetu diezazkiekeen natur edo teknologi fenomeno edo prozesua da.

Arriskua (*risk*), babestu behar den ondasunaren (gizakien bizitzaren, ondasun ekonomikoaren edo natur ingurunearen) gainean espero den kaltea da (peril batek eragindako kaltea). Arriskuan dagoen ondasunaren jatorriaren arabera, giza-, ekonomia- edo ekologia-arriskua bereiz daitezke.

Egileon iritziz, **arriskugarritasuna** (*hazard level*), peril baten probabilitateak eta intentsitateak osatzen duten multzoa da. Probabilitatea eta intentsitatea elkar lotuta daude: probabilitatea igotzen denean intentsitatea jaisten delarik. **Intentsitatea** (*severity* edo *intensity*) kalte egiteko ahalmena duten natur edo teknologi peril baten ezaugarriak dira.

Batzuetan, probabilitatearen ordez, **suszeptibilitate** hitza erabili ohi da (*susceptibility*), hots, peril baten eragina izateko eremu baten joera. Suszeptibilitatea kalkulatzeko, eremu batean lehen eragindako faktoreak aztertu behar dira. Azterketa kualitatiboa edo kuantitatiboa izan daiteke.

Eraginpean jartzea (*exposure*), peril batek kalte ditzakeen ondasunak dira. Eraginpean jartzea, gizakiarena, ekonomikoa, egiturakoa edo ekologikoa izan daiteke. **Urrakortasuna** (*vulnerability*), arriskuan jarritako ondasunaren espero daitekeen galera da. Galera, bateko hainbestetan neurtzen da, eta modu determinista edo probabilitistikoan defini daiteke (0, kalterik ez dagoenean; 1, dena galtzen denean).

Arriskua ekuazio honen bidez balioztatzen da:

$$R = \sum P_i x E x V_i \quad (1)$$

non:

R: Urteko arriskua (espero diren biktimak / urte; espero diren euroak / urte, e.a.).

P_i: Intentsitatearen probabilitate-dentsitateko funtzioaren *i* tartearen probabilitatea.

E: Eraginpean jartzea.

V_i: *i* tarteko intentsitateari dagokion urrakortasuna: gizakiena, ekonomikoa edo ekologikoa.

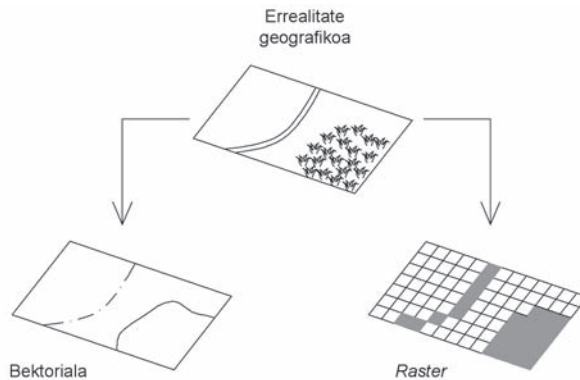
Kartografia, ezinbesteko erreminta da arriskuen azterketaren fase orotan, erabakiak hartzea (hiri-planifikazioa egiteko, txikiagotzeko neurriak ezartzeko, e.a.) lurraldearen espazio-adierazpenen bidez egiten baita, mota askotako mapak erabiliz.

GEOGRAFI INFORMAZIOKO SISTEMAK

Egun, espazio- edo geografia-informazioa maneiatu behar den lanetan Geografi Informazioko Sistemak (GISak) erabiltzea ia ezinbestekoa da.

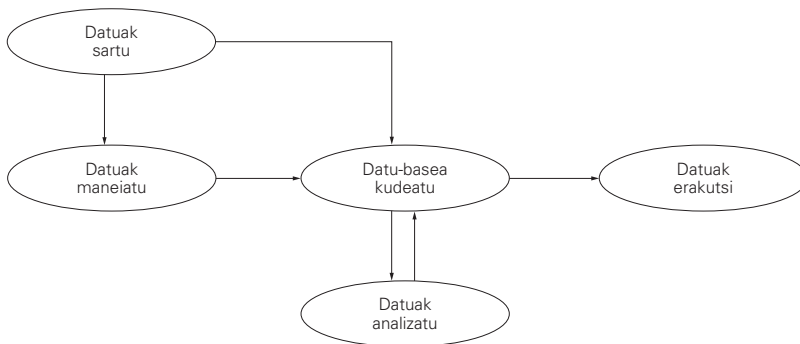
GISen definizio anitz daude; batzuek erreminta-gaitasuna nabarmentzen dute, besteek datu-base espazialen izaera, eta besteek antolakuntza arloa. Adibide gisa, tresna-ezaugarriak nabarmentzen dituen definizio hau: *Geografi Informazioko Sistema bat zenbait helburu betetzeko mundu errealeko datu espazialak biltzeko, gordetzeko, berreskuratzeko, eraldatzeko eta erakusteko erreminta-sorta da* [3].

GISen geografia-datuena egitura, bektoriala edo *raster* izan daiteke (2. irudia). Lehenengo kasuan, espazio-objektuak erreferentzia geografikodun entitateen bidez irudikatzen dira. Entitateok, puntuak, lerroak edo poligonoak izan daitezke, eta beren puntu edo erpinen koordinatuen bidez definitzen dira. *Raster* eredian, espazio-objektuak sare erregular batekin adierazten dira.



2. irudia. GIS motak

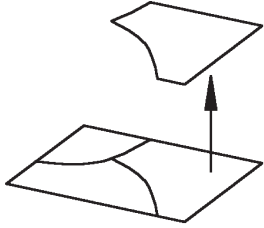
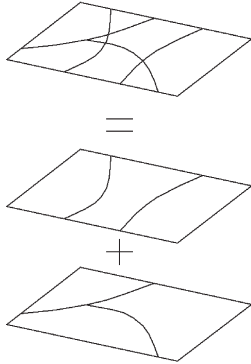
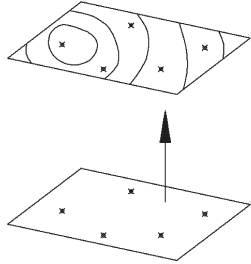
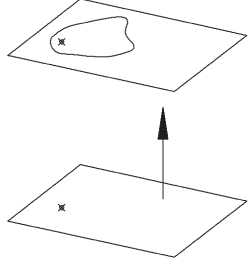
GISen funtzioak bost taldetan bil daitezke: datuak sartzeko funtzioak, informazioa maneiatzekoak, kudeatzekoak, analizatzekoak eta emaitzak aurkeztekoak (3. irudia).



3. irudia. GISen funtzioak

Analisi-funtzioak dira GISak eta beste sistema batzuk (CAD, Irudi-prozesaketa, e.a.) bereizten dituztenak. Funtzio mota honekin kartografia-datuak eta beren gai-ezaugarriak aldi berean maneiatzen dira. Lau talde nagusi bereizi ohi dira (1. taula).

1. taula. GISen analisi-funtzioak

<p>Berreskuratze-funtzioak: funtzioekin espazio-datuak eta gai-datuak konbinatzen dira, baina bakarrik gaikoak aldatzen edo sortzen dira.</p> <p>Adibidea: katastro-mapa batetik balio ekonomiko jakin bat gainditzen duten etxeak ateratzea.</p>	
<p>Gainjartze-funtzioak: informazio-geruza desberdinetan dauden entitateekin eta beren ezaugarriekin egiten diren funtzioak</p> <p>Adibidea: landaredi-mapa bat eta malda-mapa bat gainjarri, haritzak dituzten %10 baino handiagoko maldadun hegala lortzeko.</p>	
<p>Inguru-funtzioak: funtzio hauekin leku bat inguratzen duen eremuaren ezaugarriak balioztatzen dira. Leku batean fenomeno baten banaketa aztertzen duten bilatze-funtzioak dira.</p> <p>Adibidea: prezipitazio-datu puntualen interpolazioa arro batean.</p>	
<p>Lotura-funtzioak: geografia-entitateen arteko loturekin erlazionatutako eragiketak. Eragiketa hauetan, entitateak higitzen diren eremuan zehar balioak metatzen dira.</p> <p>Adibidea: baso-sute baten higadura simulatzea mendi-hegal batean.</p>	

GISAK ETA NATUR ARRISKUAK

Natur arriskuen azterketan garapen-maila ezberdinekin ari dira erabiltzen GISak. Kasurik sinpleenean, kartografia automatiko sistema soila gisa erabiltzen dira, non datuak sartzeko, kudeatzeko eta erakusteko funtzioak soilik usatzen diren. Honela ez zaio probetxurik ateratzen espazio-analisia egiteko sistema hauek duten ahalmenari. Kasu hauetan arriskuaren analisia (arriskugarritasun, eraginpean jartze, urrakortasun eta arrisku-mapak) GISetik kanpo egiten da; GIS sistema, informazioa bilatzeko funtzio batzuk dituen kartografia-bistaratzaile bat besterik ez da.

Hala ere, gaur egun, gero eta probetxu gehiago ateratzen zaizkie GISen funtzio guztiei (analisi-funtzioei, bereziki) arriskuen azterketan. Lanabes hauek arrisku-analisiaren faseren batean aplikatu daitezke edo analisiaren garapen osoan zehar. GISak modu desberdinetan erabili ohi dira, sakontze-mailaren arabera:

1. **Hondamen-gertaerak aztertze**ko GIS erabiltzea.
2. Arriskua balioztatzeko **ereduak elikatze**ko GIS erabiltzea.
3. **Arrisku-faktoreen baten** kalkulua GISan inplementatzea.
4. **Arriskua balioztatzeko prozesu osoa** GISan inplementatzea.
5. **Arriskuaren txikiagotze**-fasean GIS erabiltzea

1. Hondamen-gertaerak aztertzea

Konplexutasun-mailarik baxuenean, iraganean edo berriki izan diren fenomeno katastrofikoei buruzko datu-base bat kudeatzeko erabili daitezke GIS sistema. Datu-base hau helburu hauekin sor daitezke: 1) gertaera zehatz batek eragindako kalteak balioztatzeko, 2) arriskugarritasun-maparen moduan erabiltzeko (katastrofe bat izan den lekuan berriro gertatzeko probabilitatea kontuan hartzekoa da), 3) natur fenomeno baten probabilitatea eta intentsitatea eragiten dituzten faktoreak kuantifikatzeko, eta 4) arriskugarritasuna balioztatzen duen eredu bat frogatzeko.

Adibide pare bat aipatuko dugu. Hasteko, Benito eta beste batzuen lana [4] aipu egin dezakegu. Ikertzaile hauek, 2001.eko lehenengo hileetan El Salvadorren gertatu ziren seismoen espazio- eta denbora-banaketa aztertzeke GIS bat erabili zuten. Hainbat seismok besteen haste-mekanismo gisa jokatu zutela ondorioztatu zen azterketa horretan.

1901-2000 aldian Katalunian gertatutako ibai-uholdeak modu sistematikoa ikertzen dituen lan bat amaitu berri dute [5]. Azterketaren emaitzak GIS batean sartu ziren, gertaera hauen denbora- (urtaroko, urteko eta joera) eta geografia-banaketa analizatzeko.

2. Ereduak elikatzea

GISak, arriskuen azterketan behar den espazio-aldagaien bat soilik kalkulatzeko ere erabil daitezke. Adibidez, Ferrer eta beste batzuek [6] kurba-zenbakiaren (isurketa kalkulatzeko hidrologia-parametro baten) kalkulua automatizatzeko metodologia bat proposatu zuten, GIS *raster* bat erabiliz. Metodologia, Guadianako arro hidrografikoan aplikatu zuten.

3. Arrisku-faktoreak kalkulatzeko

Azterketaren lehen azpifasean, arriskugarritasunaren kalkuluan, bi kontzeptu bereizi genituen: probabilitatea eta intentsitatea.

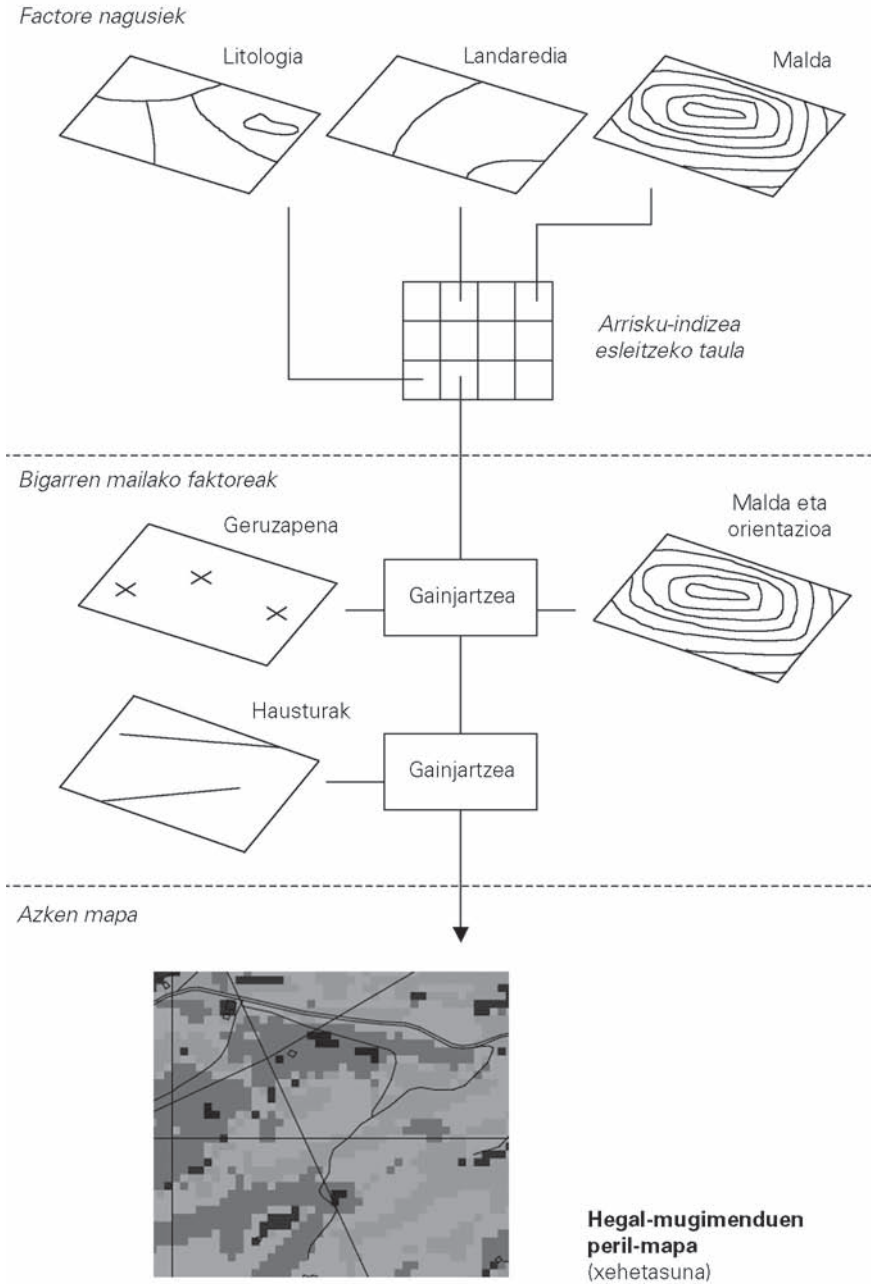
Natur fenomeno katastrofiko bat gertatzeko **probabilitatea** edo **suszeptibilitatea** zehazteko mapak, fenomeno hori baldintzatzen edo pizten duten faktoreen espazio-analisi baten bidez lor daitezke. Analisia modu kualitatibo edo kuantitatiboan gauza daiteke.

Lehenengo kasuan, aztertzen ari den eremua ezagutzen duten adituen iritzia arabera zehazten da faktore bakoitzaren garrantzia. Baso-suteak pizteko peril-mapak ekuazio subjektibo baten bidez kalkulatu ohi da, faktoreok klimatikoak, topografikoak, e.a. izanik. Aski ezaguna da (esparru honetan) Chuvieco eta Congalton-ek [7] Castelloko probintzian egin zuten lan aitzindaria. Han GIS *raster* bat erabili zen, sua pizteko perilaren mapa sortzeko. Faktore hauek kontutan hartu ziren: landaredia, malda, orientazioa, errepideen eta bideen gertutasuna, eta garaiera topografikoa. Faktoreak konbinatzeko GISen gainjartze-funtzioak erabili ziren.

Artikulu honen egileetako batek Oiartzun haraneko hegal-mugimenduen perila aztertu zuen GISen bidez, lan zabalago baten barruan [8]. Perila kalkulatzeko, Gipuzkoan gertatzen diren irristatzeak eragiten dituzten faktoreak aztertu eta modu kualitatiboan konbinatu ziren. Faktoreok (4. irudia) mapen bidez gainjarri ziren GIS barruan, *raster* moduan. Horretarako, hainbat gainjartze- (hiru sarrerako taula, adibidez) eta inguru-funtzio (espazio-interpolazioak) erabili ziren.

Analisi kuantitatiboan, teknika estatistikak erabiltzen dira faktore bakoitzaren eragina zehazteko. Beste ohiko kasu bat: hegal-mugimenduak izateko lur-eremuen suszeptibilitatea zehazteko aldagai anitzeko ereduak erabiltzea. Adibide klasikoa Carrara-k [9] Italiako Calabria eskualdean egin zuen azterketa da. Han sare *raster* bat erabili zen eskualdeko bi eremuetako irristatzeen eta zenbait geologi eta geomorfologi aldagaien arteko lotura estatistikoa kuantifikatzeko.

Probabilitatea edo suszeptibilitatea definitzeko natur fenomenoaren eredu eta simulazioak egin daitezke; geroago, fenomenoaren probabilitatea kalkulatu daiteke prozesu hauen emaitzekin.



4. irudia. Adibide bat: hegal-mugimenduen perila (modu kualitatiboan)

Laba bolkanikoen fluxuaren eragina izateko peril-mapak presta daitezke, eredu determinista edo probabilitikoen bidez. Adibidez, Lanzarote uhartean egindakoa, Monte Carlo moduko simulazioaren bitartez, probabilitatezko malda handieneko eredu batean oinarriturik [10]. Simulazio hau Eremuaren Eredu Digital baten barruan egin zen, horretarako GISen lotura-funtzioak erabilirik.

Beste kasu bat, mendi-hegalen irristatze-perila modu deterministen bidez balioztatzea litzateke. Adibidez, Terlien eta beste batzuek [11] Erdialdeko Amerikako zenbait lekutan egin zuten lana. Han, irristatze-perilaren probabilitatea zehaztu zuten, mendoitz infinituaren metodoa eta hidrologia-ereduak *raster* motako GIS batean inplementatu ondoren.

Natur arrisku baten **intentsitatea** zehazteko, gertaera katastrofikoek eragiten duten kaltea kuantifikatzen da, eta kalte-balio horiek aldagai fisiko baten graduazioaz adierazten dira grafikoki.

Intentsitatea modu kualitatibo ala kuantitatiboan gauza daiteke. Lehenengoan, Aragoiko Pirinioetan arriskugarritasun sismikoa balioztatzeke Alafont eta Ortiz-ek [12] erabili zuten MSK eskalaren intentsitate-graduazioa aipa daiteke. Lan horretan erabilera anitzeko GIS sistema bat (bektoriala eta *raster*) erabili zuten arriskugarritasuna espazioan kalkulatzeko. Horretarako, espero zezakeen intentsitate-maila zehaztu zuten, eta lurragin eragin zezakeen faktore litologiko, topografiko eta hidrologikoen arabera aplikazioa erabili zuten.

Natur fenomenoak kalte egiteko gaitasuna parametroen bidez ere neur daiteke. Adibide klasikoa uholde baten sakonera (batzuetan, uraren abiadura ere) erabiltzea da. Parametro horrekin probabilitate (edo birgertatze-aldi) jakina duen gertaera baten intentsitatea zehatz daiteke. Díez-ek [13] Avilako Alberche Garairako sortu zuen uholde-arriskuaren mapa aipa daiteke, zeinean hainbat birgertatze-aldirako sakonera bereko lerroak adierazten diren. Lan horretan GIS *raster* bat erabili zen, eredu hidraulikoa datuekin elikatzeke eta, geroago, urpean geldituko ziren lekuak (eta uraren sakonera leku horietan) grafikoki adierazteke.

Azkenik, intentsitatearen balioztatzeari dagokionez, epe luzerako arrisku bat aipa dezakegu: urteko higadura hidrikoa. Fenomeno honek eragiten duen urteko eta azalera-unitateko zoru-galera GISen bidez kalkulatu ohi da. Gertuko adibide bat aipatuko dugu: Edeso eta Marauri-k [14] Bizkaiko Okako arroan egin zuten higadura-egoeraren mapa. Hango lurraldea eremutan banatu zuten lurzoru-galerako tasaren arabera. Tasa hau kalkulatzeko, ezaguna den Lurzoru-galerako Ekuazio Unibertsala (USLE ingelesez) GIS *raster* batean inplementatu zuten.

Arrisku-azterketaren bigarren eta hirugarren azpifaseetan (**eraginpean jartzea** eta **urrakortasuna** izenekoetan), GISak ere erabiltzen dira, bi moduetan.

Modu sinpleenean, arriskuan dauden elementuak planimetriaren bidez adierazten dira; honela, elementuak banan-banan adierazten dira: eraiki-

nak poligono gisa, komunikabideak lerroen bidez, eta abar. Mapa hauetan (eskala handikoak izan ohi direnak, hots, toki- eta eskualde-eskalak) eraginpean jartzea begiekin zehazten da: arriskuan dauden elementuak eta arriskugarritasun-mapa gainezartzen dira eta, ondoren, elementuok datu-basean kontsultatzen dira. Artikulu honetan aipatu diren zenbait adibidetan erabiltzen da modu hau.

Modu zehatzago bat lurzoruaren erabilerako kartografia maneiatzean datza. Mapa-mota honetako elementu nagusiak poligonoak dira, lurzoruaren erabilera uniforme (hirikoa, basokoa, nekazaritzakoa, e.a.) adierazten dutenak. Poligono hauek datu-taula bat eduki dezakete lotuta, non eraikin-dentsitatea eta biztanleriaren dentsitatea bezalako atributuak aurki daitezken.

Bigarren modu honetan, elementuen arriskuaren eraginpean jartzea zehazteko lurzoruaren erabilerako mapak eta arriskugarritasun-mapak gainjartzen dira. Urrakortasun-mapak eratzeko lurzoruaren erabilera bakoitzari urrakortasun-gradu bat ematen zaio. Consuegra eta beste batzuek [15] uholde batek nekazaritza-aldeetan eragin ditzakeen kalteak balioztatzeo GISak erabiltzea aztertu zuten.

4. Arriskua balioztatzea

Arriskuaren balioztatzea, arriskuaren ekuazio kuantitatiboaren (1 ekuazioaren) bidez egiten da. Ekuazio hau, espazio-moduan, hiru mapa gainezarriz aplikatzen da: arriskugarritasun-mapa, eraginpean jartzekoa eta urrakortasunekoa.

Lirer eta Viteli-k [16] Italiako Vesuvioko eskualdeko arrisku bolkanikoaren arrisku-mapa egin zuten, 1:50.000 eskalan. Mapa hau, herribabesa planifikatzeko erabili zen, aipatutako natur arriskuaren atariko balioztatze gisa. Mapa hau, GIS *raster* batekin landu zuten, laba-fluxuaren probabilitate-mapa eta eraginpean jartze- eta urrakortasun-mapak gainjarri. Urrakortasun-kartografia, lurzoruaren erabilerako mapan oinarrituta sortu zuten, hiri-, landa-, nekazaritza-, baso- eta natur aldeak ezberdindurik.

Costa Ricako Turrialba hirian antzeko lan bat egin zen [17]. Kasu honetan hiru natur fenomeno hartu ziren kontutan: uholdeak, lurrikarak eta hegal-irristatzeak. Katastroaren datu-basetik abiatuta, bi kostu-mapa (urrakortasuna) eratu ziren: eraikinak egiteko kostua eta eraikinen edukia-aren kostua. Arriskugarritasun- eta urrakortasun-mapa konbinatu ziren, hirialde bakoitzean zegoen arriskua balioztatzeo. Lan honen helburua, probabilitate/kostu kurbak eraikitzea izan zen, horiekin arriskua txikiagotzeko neurriak planifikatzeko.

Arriskua balioztatzearen beste adibide bat, Thumerer eta beste batzuek [18] Ingalaterrako ekialdeko kostaldearen zati batean, eskala txikian (1.200

Km-ko kosta-ertza), egindako lana da. Ikertzaile hauek, *raster* motako GIS sistema bat erabili zuten itsasoaren igoera dela bidezko uholde-perila balioztatzeko, klima-aldaketak eragin zezakeen igoeraren bidezkoa. Uholde-probabilitateko mapa sortu zuten, itsasoaren sakonera etorkizuneko eszenatoki ezberdinetan kalkulatu ondoren. Urrakortasun-mapa zehazteko, lurzoruaren erabilera bakoitzari kalte-balio bat aplikatu zioten. Mapa horiek konbinatuz, eszenatoki ezberdinetako arrisku-mapak eratu zituzten.

Azkenik, HAZUS [19] sistema aipatu beharra dago. Sistema hau, GIS bat, Estatu Batuetako Larrialdiak Maneiatzeko Agentzia Federalak (FEMAK) prestatu zuen; harekin, lurraldeak duen arriskua (fisikoa, ekonomikoa eta soziala) baliozta daiteke, eskala ezberdinetan: lurralde-eskalatik toki-eskalaraino.

5. Arriskua txikiagotzea

Arrisku-analisiaren azken etapa honetan, txikiagotze-neurriak mapen bitartez adierazi beharra dago.

Egitura-neurriak eskala handiko mapetan irudikatu ohi dira: ibaiak dragatzea, suteak itzaltzeko sistemen instalazioa, mendi-hegalak sendotzeko sistematik, e.a. Eskala hauetan ez ohi dira GISak erabili.

Eskala txikiagoetan (xehetasun gutxiagokoetan), Portugaleko hainbat eskualdetan egindako baso-suteen aurkako neurriak aipa ditzakegu [20]. Han, suteak zelatzeko postuen ikuspenerako kartografia sortu zuten, 1:25.000 eskalan. Postuok hoberen kokatzeko GIS *raster* bat erabili zuten; kokagunerik onena hautatzeko topografia, lurzoruaren erabilera eta itzaltzeko baliabideen erabilgarritasuna aztertu zituzten.

Estrukturalak ez diren txikiagotze-neurriak, arriskuaren arabera lurzoruaren erabilera arautzen den agiritan agertzen dira, normalean arriskugarritasun-mapekin lotuta. Gure inguruan badaude hainbat arau, natur arriskugarritasunaren arabera lurzoria erabiltzeko mugatze edo gomendioak hartzen dituztenak, esate baterako Euskal Autonomi Elkarterko Lurraldea Antolatzeke Jarraibideak. Kasu hauetan, GISen espazio-analisirako funtzioak erabilia, dagoen arriskuaren eta aurreikusi den lurzoruaren erabilera-aren bat-etortzea erraz eta sakon kudea daiteke.

ONDORIOAK

GIS sistemak oso erreminta baliagarria da natur arriskuen kudeaketaren fase guztietan, bereziki, espazio izaera duten aldagaiak aztertzeko.

Erreminta informatiko hauek (eta maneiatzen dituzten espazio-konzeptuak) natur arriskuen alorrean erabiltzea gazte samarra da. Eta kontutan izanik natur fenomeno katastrofikoek gaurkotasuna, arlo honetan GISak

aplikatzea oso leku erakargarria izan daiteke ikertzeko, batez ere gai haue-
tan: geografian, geologian, ingurugiro-zientzietan, lurraldearekin lotutako
zenbait ingeniartzatan, eta abar.

BIBLIOGRAFIA

- [1] MUNICH RE 2004. *TOPICS geo-Annual Review of Natural Catastrophes 2003*. Helbide honetan: http://193.103.195.119/publications/302-03971_en.pdf
- [2] OLCINA, J. eta AYALA-CARCEDO, F.J. 2002. «Riesgos naturales. Conceptos fundamentales y clasificación». F.J. Ayala-Carcedo. eta J. Olcina (Koord.), *Riesgos naturales*, 41-73. Ariel.artzelona.
- [3] BURROUGH, P.A.. eta McDONNELL, R. 1998. *Principles of geographical information systems*. Oxford University Press. Oxford.
- [4] BENITO, B., CONTRERAS, M., BRAVO, M., BARRERO, G. eta JIMÉNEZ, E. 2002. «Aplicación de un Sistema de Información Geográfica al estudio de la distribución espacio-temporal de los sismos de 2001 en El Salvador». L. Laín (Ed.), *Los Sistemas de Información Geográfica en la gestión de los riesgos geológicos y el medio ambiente*, 21-42. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madril.
- [5] BARNOLAS, M. eta LLASAT, M.C. 2005. «Aplicación de una herramienta SIG en el estudio de las inundaciones en Catalunya, 1901-2000». *Revista del Aficionado a la Meteorología*, **28**. Helbide honetan: http://www.meteored.com/ram/numero28/SIG_inundaciones.asp
- [6] FERRER, M., RODRÍGUEZ, J. eta ESTRELA, T. 1995. «Generación automática del número de curva con sistemas de información geográfica». *Ingeniería del agua*, **2 (4)**, 43-58.
- [7] CHUVIECO, E. eta CONGALTON, R.G. 1989. «Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping». *Remote Sensing of the Environment*, **29**, 147-159.
- [8] ETXEBERRIA, P. 2004. *Metodología para la creación de cartografía de peligros naturales en Gipuzkoa. Aplicación al valle de Oiartzun*. Doktoretza-tesia. Euskal Herriko Unibertsitatea.
- [9] CARRARA, A. 1983. «Multivariate models for landslides hazard evaluation». *Mathematical geology*, **15 (3)**, 403-427.
- [10] FELPETO, A., ARANA, V., ORTIZ, R., ASTIZ, M. eta GARCIA A. 2001. «Assessment and modelling of lava flow hazard on Lanzarote (Canary Islands) ». *Natural Hazards*, **23 (2-3)**, 247-257.
- [11] TERLIEN, M.T.J., VAN WESTEN, C.J. eta VAN ASCH, T.W.J. 1995. «Deterministic modelling in GIS-based landslide hazard assessment». A. Carrara eta F. Guzzetti (Ed.), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*, 57-77. Kluwer. Dordrecht (Holanda).
- [12] ALAFONT, L.S. eta ORTIZ, J. 1999. «Análisis de la peligrosidad sísmica en el Alto Aragón utilizando un Sistema de Información geográfica». L. Laín (Ed.), *Los Sistemas de Información Geográfica en los riesgos naturales y en el medio ambiente*, 97-109. Instituto Tecnológico Geominero de España, Madril.
- [13] DÍEZ, A. 1999. «Utilización de los SIGs en el análisis del riesgo de inundación en el alto Alberche (cuenca del Tajo) ». L. Laín (Ed.), *Los Sistemas de Infor-*

- mación Geográfica en los riesgos naturales y en el medio ambiente*, 49-68. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madril.
- [14] EDESO, J.M. eta MARAURI, P. 1998. «Aplicación de los S.I.G. a los estudios de geomorfología. Determinación de la tasa de erosión hídrica en función del manejo forestal: la cuenca del río Oka (Bizkaia)». *Actas del I Congreso Nacional de Información Geográfica*. Valladolid.
- [15] CONSUEGRA, D., JOERIN, F. eta VITALINI, F. 1995. «Flood delineation and impact assessment in agricultural land using GIS technology». A. Carrara eta F. Guzzetti (Ed.), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*, 177-198. Kluwer, Dordrecht (Holanda).
- [16] LIRER, L. eta VITELLI, L. 1998. «Volcanic Risk Assessment and Mapping in the Vesuvian Area Using GIS». *Natural Hazards*, **17** (1), 1-15.
- [17] VAN WESTEN, C.J. MONTOYA, A.L., BOERBOOM, L.G.J., eta BADILLA COTO, E. 2002. «Multi-hazard risk assessment using GIS in urban areas: a case study for the city of Turrialba, Costa Rica». *Regional Workshop on Best Practices in Disaster Mitigation: Lessons Learned from the Asian Urban Disaster Mitigation Program and other initiatives*, 2002ko irailaren 24-26, Bali, Indonesia. Helbide honetan: <http://www.adpc.ait.ac.th/audmp/rllw/themes/th1-westen.pdf>
- [18] THUMERER, T., JONES, A.P. eta BROWN, D. 2000. «GIS based coastal management system for climate change associated flood risk assessment on the east coast of England». *International Journal of GIS*, 14 (3), 265-281.
- [19] FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (FEMA) 2005. *HAZUS: Natural Hazard Loss Estimation Methodology*. Helbide honetan: <http://www.fema.gov/hazus/>
- [20] ALMEIDA, R. 1998. *A localização de incêndios florestais em SIG's com fins operacionais e de planeamento florestal*. Helbide honetan: <http://scrf.igeo.pt/documentacao/utad98/utad.html>