



IKER  
GAZTE  
NAZIOARTEKO  
IKERKETA EUSKARAZ

# I. IKERGAZTE

NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2015eko maiatzaren 13, 14 eta 15  
Durango, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:  
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)

## ZIENTZIA ZEHAZTAK ETA NATUR ZIENTZIAK

**Mendi hegaletako  
ezegonkortasunak aztertze  
metodologiak, Gipuzkoarako  
aukerak**

*Txomin Bornaetxea Estela*

304-310 or.  
<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.i.41>

ANTOLATZAILEA:



BABESLEAK:



LAGUNTZAILEAK:



## **Mendi hegaletako ezegonkortasunak aztertzeke metodologiak.**

### **Gipuzkoarako aukerak.**

Txomin Bornaetxea Estela

*Euskal Herriko Unibertsitatea. Zientzia eta Teknologia Fakultatea. Landare Biologia eta Ekologia Saila.*

*txomin.bornaetxea@ehu.eus*

### **Laburpena**

Mendi hegaletako ezegonkortasun prozesuak ez dira lurraldean zehar zoriz banatzen, lurraldearen nahiz ingurunearen ezaugarri zehatz batzuei lotuta daude. Gainera, prozesu hauen gertaerak Gipuzkoan hainbat kalte gauzatzen du urtero, azpiegitura publiko zein pribatuetan galera ekonomikoak sortuz.

Artikulu honetan mendi hegaletako ezegonkortasunak izaten laguntzen duten ezaugarri hauek identifikatzeko, eta haien gain oinarritutako kartografia fidagarri bat eraikitzeke metodologia desberdinen azterketa sakona egingo da. Metodo guzti horien artean, eskualdeko eskala batean Gipuzkoako kasu konkreturako egokiena izan daitekeena ondorioztatuz.

Hitz gakoak: Mendi hegaletako ezegonkortasuna, metodo kualitatiboa, metodo kuantitatiboa, metodo deterministikoa, eskualdeko kartografia, Gipuzkoa.

### **Abstract**

*The slope instability processes are not distributed at random around the space, they are related to some territorial and environmental characteristics or attributes. The occurrence of these kind of processes in Gipuzkoa causes many damages every year, resulting in economic losses for public and private infrastructures.*

*This paper aims to revise the different methodologies in order to identify slope instability causing attributes and to construct a cartographic model based on these attributes. And based on this information, the most suitable method for the case of Gipuzkoa will be concluded.*

*Keywords: Slope instability, qualitative method, quantitative method, deterministic method, regional cartography, Gipuzkoa.*

## **1. Sarrera**

Mendi hegaletako ezegonkortasuna fenomeno ohikoenetako bat izaten da mehatxu naturalen artean. Urtero galera ekonomiko handiak eta hainbat hildako gauzatzen dira mundu osoan zehar horrelako prozesuen ondorioz (Petley, 2012). Horretaz gain, mendi hegaletako ezegonkortasun kartografiak munduko hegaleen %1 bakarrik hartzen dutela kontutan uste da, eta, halaber, ezegonkortasun hauen mota, kopurua eta banaketa espazialaren informazio sistematikoa oso eskasa da (Guzzetti et al, 2012).

Maldan behera arroka edo lur masa bat mobilizatzen denean grabitatearen indarraren ondorioz, mendi hegaleko ezegonkortasuna edo masa mugimendua esaten zaio. Prozesu hauek lur irristatzeak, lur-jausiak, fluxuak, arroka erorketak edo guzti hauen arteko konbinaketa bat bezala kontsideratu daitezke mobilizatua den material motaren eta mugimenduaren abiadura edo ibilbidearen arabera (Cruden eta Varnes, 1996; Hungr, 2014). Dinamika hauek eragiten dituzten faktore nagusien artean, euriteak, lurrikarak, sumendien eztandak edo elur mantuaren urtzeak daude (Guzzetti, 2002).

Gipuzkoako Lurralde Historikoan, bere ezaugarri klimatiko (1.400 mm/urte-tik gorako prezipitazioa) eta morfologikoengatik (22°-ko bataz besteko malda), mota honetako prozesuak emateko joera handia dago (Aizpiri et al, 2015), eta horretaz gain, dentsitate demografiko altuaren ondorioz (368,2 biz/km<sup>2</sup> EUSTAT, 2012), ahultasuna areagotu egiten da. Horren adibide dira 2013 urteko lehen hiruhilekoan gertatutako ezegonkortasunak. Ezbehar hauen ondorioz hainbat auzo eta herri kaltetuak suertatu ziren, izan ere, hilabete hauetan zehar

emandako prezipitazioek (745,9 mm. Igeldoko behatokian) 75 premiazko lan burutzea beharrezkoa egin zuten. Gipuzkoako Foru Aldundiaren arabera kalte hauei aurre egiteko 7,9 milioi euro behar izan ziren (Erredakzioa, D.V. 2013).

Masa mugimenduen ezbeharrak gutxitzeko ezinbestekoa da fenomeno hauen maiztasuna, izaera eta magnitudeak zehazki ezagutzea eta ulertzea (Van Westen, 1993). Ezegonkortasunerako joera dagoen lurraldearen zonazioa, mehatxu hauek gutxitzeko proiektu ororen oinarria behar du izan, plangintza eta kudeaketarako informazio egoki eta ulergarria eskainiz. Zonazio hori egiteko ordea, metodologia desberdin ugari daitezke.

Artikulu honen helburua gai hau lantzeko literatura zientifikoan aurki daitezken aukeren berrikuspen bibliografiko bat egitea da. Informazio hori oinarritzat harturik Gipuzkoan mendi hegaletako ezegonkortasuna ikertzeko aukera metodologiko desberdinak baloratuko dira, eta, horren arabera, etorkizunerako lan ildoen proposamen bat egingo da.

Azken 50 urtetan zehar nabarmen ugaitu dira gai honi buruzko lanak. Eta ikerketa hauek gauzatzeko metodologia guztien artean desberdintasun handiak egon arren, denak oinarri kontzeptual berberaren arabera garatu dira. Lehen pausoa ezegonkortasunen inbentario izango da, modu desberdinetan lortu daitekeena (Crozier, M.J. 2005; Jaiswal eta van Westen, 2009), bigarrena ezegonkortasunekin zuzenean, edo zeharka, erlazionatuta dauden faktore geologiko-geomorfologikoak identifikatzea, eta hirugarrenik faktore bakoitzaren ezegonkortasunerako ekarpen erlatiboa ezartzea (Suzen, 2003). Horrela, faktore horien presentzia edo absentiaren arabera lurraldea hegaletako ezegonkortasunerako joera maila desberdinetan klasifikatu daiteke.

Faktore eragile horiek zeintzuk diren, eta beraien eragina zenbatekoa den zehazteko moduan datza metodoen arteko desberdintasuna. Hala eta guztiz ere metodologia mota guztietan ondorengo bi baldintza hauek onartutzat ematen dira (Fell et al, 2008):

- Iragana, orainaren eta etorkizunaren gakoa da. Beraz iraganean ezegonkortasunak jasan dituen mendi hegala, gaur egun edo etorkizunean ezegonkortasunak jasateko joera izango du.
- Gaur egungo eta etorkizuneko ezegonkortasunak, iraganean zeuden ingurugiro baldintza berdinen menpe gertatuko dira.

Behin bi kontzeptu hauek bere gain hartuta, metodologiak hiru talde desberdinetan banatu daitezke: metodo kualitatiboak, kuantitatiboak eta deterministikoak.

## 2. Metodo Kualitatiboak

Metodologia hauetan adituaren ezaguera eta esperientzia erabiltzen da lurraldearen ezegonkortasunerako joera maila ebaluatzeko. Eskualdeko ikerketetan eta denbora gutxian gauzatzeko metodori sinpleenak dira. 1970 eta 1980 hamarkadetan erabili ziren gehien bat (Aleotti eta Chowdury, 1999), nahiz eta gaur egun ere askotan erabili. Metodo hauek oso subjektiboak izaten dira, eta emaitzaren kalitatea adituaren ezagutza mailagatik erabat baldintzatua geratzen da.

### 2.1 Metodo Geomorfologikoa

Metodo geomorfologikoan ezegonkortasun joera maila aldeztu aurretik emandako ezegonkortasunen inbentarioan eta puntu bakoitzeko ingurumen ezaugarrietan oinarrituta dago. Kasu honetan emaitzaren fidagarritasuna, egilearen ezagutza mailarengandik guztiz baldintzatuta geratzen da. Izan ere, ingurumena eta ezegonkortasun prozesuaren arteko erlazioa subjektiboki eta zuzenean kontsideratzen da, eta ezegonkortasun joera maila determinatzerako orduan hartutako erabakiak ezin dira ez egiaztatu, ezta erreproduzitu ere (Van Westen, 1993; Cardinali et al, 2002).

Mota honetako ikerketak Gipuzkoan aplikatuak izan ziren 1980. hamarkadan zehar (Ortega, 1980; CGS, 1985), eta garai hartarako emaitza egokiak eskaini bazituzten ere, zehaztasun faltagatik, gaur egunerako erabilgarritasuna galdu dute.

## 2.2 Indize eta Parametroetan Oinarritutako Metodoa

Kasu honetan adituaren esperientzia eta ezagueran oinarriturik, ezegonkortasuna emateko baldintza faktore bakoitzari pisu erlatibo bat ezartzen zaio. Beraz, faktore guztiak, edo haien arteko batzuk, konbinaturik lurraldearen ezegonkortasunerako joera maila ordinalki sailkatu daiteke. Horregatik metodo hau erdi-kuantitatibo bezala ere ezaguna da.

Teknika honen baitan badira hainbat metodo desberdin faktore bakoitzaren edo hauen klase desberdinei baloreak ezartzeko (Van Westen et al, 2000; Chung eta Fabbri, 2001 ; Malet et al, 2009).

Metodologia hau Oiartzun ibaiaren arroan garatu zen (Etxeberria et al, 2005). Emaitza egokiak ondorioztatzen dira bertatik, baina mota honetako metodologia jarraitzen den ikerketa guztietan bezala, ikerlariak azterketa eremuaren ezaguera oso sakona izan behar du ezegonkortasun mapa errealtatera ondo egokitzeke.

## 3. Metodo Kuantitatiboak

Ebaluaketa metodo hauek aurretik ikusitako metodoetan aurki daitezkeen subjektibitate maila ahalik eta gehien murrizteko sortu dira. Horretarako iraganeko ezegonkortasunak gertatzera eraman dituzten faktoreak matematikoki aztertuak dira lurraldearen unitate erregular bakoitzerako. Datu horietan oinarriturik oraindik ezegonkortasunik egon ez den eremuetarako aurreikuspenak egin daitezke antzeko ezaugarriak mantentzen badira.

Geografiako Informazio Sistemak (GIS) eta estatistikako software-ek azken urteotan jasan duten garapenari esker, datuen tratamendua izugarri erraztu da eta mendi hegaletako ezegonkortasunerako joera matematikoki baloratzea ahalbidetu du. Baina faktore bakoitzaren pisua ezartzeko metodo matematiko bat baino gehiago aurkitzen dira. Hiru talde nagusitan sailkatu daitezke: analisi bibariantek, multibariantek, eta neurona sareak.

### 3.1 Analisi bibariantek

Analisi bibariantean gertakari bat baldintza zehatz batean gertatzearen eta baldintza horren lurraldean zeharreko presentziaren arteko erlazioak ezartzen dira. Horrela, faktore bakoitzaren mapa (malda, litologia, lur erabilpena...) ezegonkortasunen inbentario maparekin erlazionatu egiten da, eta ezegonkortasun dentsitatean oinarritutako pisu baloreak ezartzen dira faktore bakoitzeko klase desberdinetarako (malda klaseak, litologi klaseak, lur erabilpen klaseak...). Pisu horiek kalkulatzeko metodo estatistiko desberdinak erabili badaitezke ere (Chung eta Fabbri, 1993; Van Westen, 1993; Sharma, 2013), Gipuzkoako kasuan *Likelihood Ratio* teknika erabili da (Bonachea, 2006) (1. formulak).

$$LR_i = \frac{L_i}{N_i} \quad (1)a$$

$$L_i = \frac{l_i \times 100}{N} \quad (1)b$$

$$N_i = \frac{M_i \times 100}{NP} \quad (1)c$$

Espresio honetan  $l_i$  ezegonkortasun pixel kopurua da  $i$  faktore klasearen barnean, eta  $N$  ezegonkortasun pixel kopuru totala ikerketa eremu osoan. Bestalde,  $M_i$  faktore klasearen barnean dagoen ezegonkortasunik gabeko pixel kopurua da, eta  $NP$  ezegonkortasunik gabeko pixel kopurua ikerketa eremu osoan.

Kasu honetan analisirako erabiltzen den faktore bakoitza banaka erlazionatzen da ezegonkortasunen inbentarioko informazioarekin eta, ondorioz, faktoreak erabat independenteak direla kontsideratzen da, nahiz eta ia kasu gehienetan faktoreak erlazionaturik egon. Gainera, jarraiak diren faktoreak (malda, altuera, etab.) diskretizatuak izan behar dira, eta horretarako ikerlariak erabaki subjektibo bat hartu beharra dauka.

Deba Beheko eskualderako, azaleko irristatzeen arrisku mapa bat argitaratuta dago metodo hau jarraituz (Bonachea, 2006). Aldez aurretik azaleko irristatzeak emateko joera eredu bat egina izan zen eskualde berdinerako (Remondo, 2001).

### 3.2 Analisi multibarianteak

Eredu multibarianteek menpeko aldagai baten (ezegonkortasun presentzia edo absentzia) eta aldagai independente (ezegonkortasunak kontrolatzen dituzten faktoreak) sorta baten arteko erlazio konbinaketa ebaluatzen dute. Analisi mota hauetan ezinbestekoa da faktore guztiak unitate erregular batean bananduak egotea espazioan (pixelak) eta horrela, unitate bakoitzerako ezegonkortasuna eman den ala ez islatuko da. Informazio matrize horren emaitza teknika estatistiko desberdinen bitartez aztertu daiteke (erregresio lineala, erregresio logistikoa, analisi diskriminantea, gehienezko entropia, sailkatze zuhaitza, etab.). Analisi estatistiko hauek faktore bakoitzak ezegonkortasunerako eragina daukan edo ez ondorioztatzen dute, eta eragin hori zenbatekoa den kuantifikatzen dute. Ezegonkortasunaren gaia lantzeko aipatutako teknika estatistiko asko esperimentalki bakarrik erabili direnez, jarraian literaturan erabilienak eta garatuen dauden bi teknika multibariante aurkezten dira.

- Analisi Diskriminatzailea: Aldagaien arteko erlazioetatik ateratako funtzio lineal bati esker populazioko indibiduo bakoitza (pixel bakoitza) talde baten (egonkorra) edo besteren (ezegonkorra) parte den kalkulatu daiteke, lortzen den  $D$  balorearen arabera. Balore hori, hain zuzen,  $i$  aldagai bakoitzarentzat  $d$  diskriminazio koefiziente eta  $V$  balorearen araberrako izango da, ondorengo espresioa jarraituz (2. formula)(Amorim, 2012).

$$D = d_i V_i + \dots + d_p V_p \quad (2)$$

Baina horretarako aldagaiak eraldatuak izan behar dira jarraiak izan daitezen eta banaketa normal bat izan dezaten (Carrara, 1983; Gorsevski et al., 2000). Metodo hau erabiliz Gipuzkoa osorako ezegonkortasun joera eredu bat egina dago (CGS, 2007).

- Erregresio Logistikoa: Kasu honetan, aldagai batzuen baloreen arabera, fenomeno baten presentzia (1 balorea) edo absentzia (0 balorea) kalkulatzeko da funtzio linealari transformazio logaritmikoa aplikatuz.  $Z$  funtzio linealarentzat  $\beta$  koefizienteak ezartzen dira  $n$  aldagai bakoitzaren  $X$  balorearekin biderkatuz, eta  $\beta_0$  balore konstantea izanik (3. formula). Ondoren  $Z$  funtzioari eraldaketa logaritmikoa aplikatzen zaio  $Z=1$  izateko probabilitatea lortu ahal izateko (4. formula).

$$Z = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n \quad (3)$$

$$P_i = \frac{1}{1 + e^{-Z}} \quad (4)$$

Metodo honetan aldagaiak ez dira zertan jarraiak izan behar eta ez dute banaketa normala izan beharrik (Ohlmacher eta Davis, 2003). Gipuzkoa osorako ez da erabilia izan metodologia hau, baina Deba Beheko eskualdean Remondo-ren (2001) datuak erabiliz, Felicísimo-k (2013) hainbat metodo multibariante berritzailerekin froga egin du, eta ikerketa honen ondorio nagusia erregesio logistikoa aukerarik egokiena dela izan da.

### 3.3 Neurona sareen analisiak

Neurona sareen analisiak giza garunaren funtzionamenduan oinarritutako adimen artifizialeko teknikak dira, metodoa ikaskuntzan eta ondorengo prozesamenduan datza. Helburua, prozesuaren datuen sorkuntza eredu bat sortzea da, eta modu horretan ereduak irteerak aurreikusi ditzake sarrerako informaziorik ez dituen datuentzako (Lee et al, 2007).

Ezegonkortasun prozesuen aurreikuspen ereduak egiteko erabiltzen den algoritmoa errorearen atzeranzko propagazioarena (backpropagation) izaten da (Demuth et al, 2006).

Kataluniako Pirineoetan metodo hau jarraituz, analisi diskriminante eta erregresio logistikoaren emaitzen konparaketa bat egin da (Amorim, 2012). Bertan neurona sareak sortzeko prozesuaren zailtasunak emaitzen hobekuntza esanguratsurik eskaintzen ez duela ondorioztatzen da.

## 4. Metodo Deterministikoak

Aurretik ikusitako metodo guztien artean, batek ere ez du maldaren egonkortasunari buruzko informaziorik ematen segurtasun faktorearen terminoetan. Halako informazioa ondorioztatzeko maldaren egonkortasun modelo fisikoak, edo modelo deterministikoak, beharrezkoak dira.

Metodo fisikoek malda batean aurkitzen diren, eta neurtu daitezkeen ezaugarri batzuetan oinarriturik (malda, lurzorua sakonera, lur azpiko uren sakonera ...) maldaren oreka muga kalkulatu da, non muga horretatik haratago malda mugitzen hasiko den. Informazio horri esker, eta kalkulurako erabilitako faktore bakoitza mugako baloreetara iristeko itzulera denborak jakinda, mendi hegale baten ezegonkortasunerako joera zehaztu daiteke.

Hala ere mota honetako ikerketak denbora asko hartzen dute, eta emaitza egokiak lortzeko beharrezkoak diren datu kopuruak eta hauen fidagarritasunak mugatu egiten du teknika honen erabilera. Eskala oso handian eta eremu txikietan aplikatzeko modukoak dira, eskualdeko ikerketetarako ia ezinezkoa bihurtuz. Gainera azaleko luizietarako egokitutako modeloak bakarrik aurkitzen dira erabilgarri gaur egun (Günther, 2003; Simoni et al, 2008).

## 5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Modelo bat eraikitzeke metodologia egokienak ahalik eta objektiboena izan behar du, etorkizunean konprobatu ahal izango diren pauso argiak jarraitu behar ditu eta eskuragarri dauden baliabideak kontutan hartuta, ahalik eta emaitza zehatzena adierazi behar du.

Beraz, Gipuzkoako mendi hegaletako ezegonkortasun modelo eraikitzeke metodologia egokiena Erregresio Logistikoa dela ondorioztatu da jarraian zerrendatzen diren arrazoiengatik:

- Gipuzkoako eremu osoan aplikatzeko gaitasuna eskaintzen du.
- Metodo estatistiko bat jarraitzen duenez, erabakiak objektiboki justifikatuak izan daitezke, eta beraz etorkizunean erreproduzitzeko, edo zuzentzeko gaitasuna ematen du.
- Erregresio logistikoa gauzatzerako orduan, oinarritzko datuek eraldaketa minimoak jasaten dituzte metodo bibarianteekin, edo analisi diskriminantearekin konparatuta, eta horrek objektibotasuna eta sendotasuna ematen dio prozedurari.

Hala eta guztiz ere, oso kontutan hartzekoa da, modeloaren kalitatea ez dela erabilitako metodologiaren araberakoa bakarrik izango. Maila handiago batean, ikerketaren fidagarritasuna

eta zehaztasuna, modeloa eraikitzeke datuen zehaztasunagatik eta eskalagatik baldintzatua egongo da.

Ondorioz, Erregresio Logistikoa erabiliz Gipuzkoarako mendi hegaletako ezegonkortasunen joera islatzen duen modelo eguneratu bat eraikitzea interesgarria kontsideratu da, azken urteetan Gipuzkoan ematen ari diren mendi hegaletako ezegonkortasunek sortzen dituzten ezbeharrak ikusita, eta eskualdean aurki daitezkeen aurrekariak oinarritzat hartuta. Dokumentu hau, halaber, plangintza eta kudeaketarako oinarritzko baliabide batean bihurtzea litzateke azken helburua.

## 6. Erreferentziak

- Aizpiri, F.J. Guerrero, D. eta Ormaetxea, V. (2015): Lur irristatzeak gertatzeko arriskua. zuk jakin beharrekoa. Euskadiko Geologoen Elkargo Ofiziala. Bilbo.
- Aleotti, P. eta Chowdury, R. (1999): Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bull. Eng. Geol. Env*, 21 – 44.
- Amorim, S.F. (2012): Estudio comparativo de métodos para la evaluación de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales: aplicación al Pirineo oriental. Doktoretza tesia. Universidad Politecnica de Catalunya. Barcelona.
- Bonachea, J. (2006): Desarrollo, aplicación y validación de procedimientos y modelos para la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo debidos a procesos geomorfológicos. Doktoretza tesia. Facultad de Ciencias. Universidad de Santander. Santander.
- Cardinali, M. Reichenbach, P. Guzzetti, F. Ardizzone, F. Antonini, G. Galli, M. Cacciano, M. Castellani, M. eta Salvati, P. (2002): A geomorphological approach to the estimation of landslide hazards and risks in Umbria, central Italy. *Nat Hazards Earth Syst Sci*, 2, 57 – 72.
- Carrara, A. (1983): Multivariate models for landslide hazard evaluation. *Mathematical geology*, vol. 15, 3.
- CGS. (1985): Mapa geomorfológico de Gipuzkoa [mapa]. 1:25000. *Estudio Geomorfológico de Gipuzkoa*.
- CGS. (2007): Mapa de riesgo por deslizamiento en el Territorio Historico de Gipuzkoa [mapa raster]. 1:25.000. *Elaboración de 3 modelos de predicción de riesgos naturales de incendios, deslizamientos e inundaciones en el Territorio Historico de Gipuzkoa*.
- Chung, C.F. eta Fabbri, A.G. (1993): Representation of geoscience data for information integration. *J non-renewable resour*, 2, 122 – 139.
- Chung, C.F. eta Fabbri, A.G. (2001): Prediction models for landslide hazard using fuzzy set approach. in Marchetti, M. eta Rivas, V. (arg.), *Geomorphology and environmental impact assessment*. Balkema, Rotterdam, 31 – 47.
- Crozier, M.J. (2005): Multiple occurrence regional landslide events in new zealand. *Hazard management issues. Landslides*, 2, 247 – 256.
- Cruden, D.M. eta Varnes, D.J. (1996): Landslide types and processes, in Turner, A.K. Schuster, R.L. (arg.), *Landslides, investigation and mitigation*, special report 247, Transportation research board, Washington D.C., 36 – 75.
- Demuth, H. Beale, M. eta Hagan, M. (2006): Neural network toolbox. For use with matlab. User's guide version 5. The math works inc.
- Etxeberria, P. Edeso, J.M. eta Brazaola, A. (2005): Evaluación espacial de los peligros naturales en el valle de Oiartzun (Gipuzkoa). *Munibe*, 56, 5 – 20.
- Erredakzioa, D.V. (2013, martxoak 18): Las lluvias provocan daños de casi 8 millones en la red viaria de Gipuzkoa. *Diario Vasco*.
- Felicesimo, A. Cuartero, A. Remondo, J. eta Quirós, E. (2013): Mapping landslide susceptibility with logistic regression, multiple adaptive regression splines, classification and regression trees, and maximum entropy methods: a comparative study. *Landslides*, 10, 175 – 189.
- Fell, R. Corominas, J. Bonnard, C. Cascini, L. Leroi, E. eta Savage, W.Z. (2008): Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering geology* 102, 85 – 98.

- Gorsevski, P.V. Gessler, P. eta Foltz, R.B. (2000): Spatial prediction of landslide hazard using discriminant analysis and GIS. in The Rockies 2000 conference and workshop applications for the 21st century. Denver, Colorado.
- Günther, A. (2003): Slope map: programs for automated mapping of geometrical and kinematical properties of hard rock hill slopes. Computers and geoscience, 865 – 875.
- Guzzetti, F. (2002): Landslide hazard assessment and risk evaluation: limits and perspectives, in Universitat de les Illes Balears. Proceedings of the 4th egs plinius conference held, Mallorca, Espainia.
- Guzzetti, F. Mondini, A.C. Cardinali, M. Fiorucci, F. Santangelo, M. eta Chang, K.T. (2012): Landslide inventory maps: new tools for an old problem. Earth-Science Reviews, 112, 42 – 66.
- Hungr, O. Leroueil, S. eta Picarelli, L. (2014): The Varnes classification of landslide types, an update. Landslides nº 11. 167 – 194.
- Jaiswal, P. Van Westen C.J. (2009): Estimating temporal probability for landslide initiation along transportation routes based on rainfall thresholds. Geomorphology, 112, 96 – 105.
- Lee, S. Ryu, J.H. eta Kim, I.S. (2007): Landslide susceptibility analysis and its verification using likelihood ratio, logistic regression, and artificial neural network models: case study of Youngin, Korea. Landslides, 4, 327 – 338.
- Malet, J.P. Thiery, Y. Hervás, J. Günther, A. Puissant, A. eta Grandjean, G. (2009): Landslide susceptibility mapping at 1:1m scale over France: exploratory results with a heuristic model. in Conference on landslide processes, From geomorphologic mapping to dynamic modelling. a tribute to prof. dr. Theo van Asch, Strasbourg, France.
- Ohlmacher, G.C. eta Davis, J.C. (2003): Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA. Engineering geology, 69, 331 – 343.
- Ortega, J.F. (1980): Plano general de Riesgos de Donostia [mapa]. 1:5.000. *Estudio de Riesgos de Donostia*.
- Petley, D. (2012): Global patterns of loss of life from landslides. Geology, 40, 927 – 930.
- Remondo, J. (2001): Elaboración y validación de mapas de susceptibilidad de deslizamientos mediante técnicas de análisis espacial. Doktoretza tesia. Univeridad de Oviedo. Oviedo.
- Sharma, L.P. Nilanchal Patel. Ghose, M.K. & Debnath, P. (2014): Application of frequency ratio and likelihood ratio model for geo-spatial modelling of landslide hazard vulnerability assessment and zonation: a case study from the Sikkim Himalayas in India. Geocarto International. 29:2, 128 – 146.
- Simoni, S. Zanotti, F. Bertoldi, G. eta Rigon, R. (2008): Modelling the probability of occurrence of shallow landslides and channelized debris flows using geotop-fs. Hydrological processes. 22, 532 – 545.
- Suzen, M.L. eta Doyuran, V. (2003): Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey. *Engineering Geology* 7, 303 – 321.
- Van Westen, C.J. Soeters, R. eta Sijmons, K. (2000): Digital geomorphological landslide hazard mapping of the Alpago area, Italy. International journal of applied earth observation and geoinformation . 2, 51 – 60.
- Van Westen, C. J. (1993): Application of geographic information systems to landslide hazard zonation. International institute of aerospace survey and earth sciences (itc), 15.

## 7. Eskerrak eta oharrak

Ikerketa hau Eusko Jaurlaritzak finantziazitako Euskal Herriko Unibertsitateko Lurralde Paisaia eta Ondarea Katedraren kontratu predoktoral baten esparruan gauzatu da.