



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

**Gainazaleko teknika elektrikoen
erabilera tektonika aktiboaren
ikerketan: tomografia elektrikoa
(ERT) eta polarizazio induzitua (IP)**

*Asier Madarieta-Txurruka,
Victor Tendero-Salmerón,
Jesús Galindo-Zaldívar
eta Lourdes González-Castillo*

213-220 or.
<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.iv.05.28>



Gainazaleko teknika elektrikoen erabilera tektonika aktiboaren ikerketan: tomografia elektrikoa (ERT) eta polarizazio indusitua (IP)

Madarieta-Txurruka, A.¹, Tintero-Salmerón, V.¹, Galindo-Zaldívar, J.^{1,2},
González-Castillo, L.¹

¹*Departamento de Geodinámica, Universidad de Granada, 18071 Granada, Espainia,*

²*Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, CSIC-Universidad de Granada, 18071 Granada, Espainia.*

amadatxu@ugr.es

Laburpena

Gainazaleko teknika elektrikoak (Erresistibitate elektrikoko tomografia "ERT" edo tomografia elektrikoa eta polarizazio indusitua "IP") tresna oso erabilgarriak dira lur zientzien arloan, ikerketa testuinguru desberdinetan. Horien artean, tektonika aktiboaren azterketa aurkitzen da, ezinbestekoa arrisku sismikoak behar-bezala ikertzeko. Mendikate Betikoetan tektonikoki aktiboak diren bi lurraldeetan lortutako tomografia elektrikoko profilak aztertzen dira, tektonika aktiboaren ikerketan teknika geofisiko horiek izan dezaketen garrantzia eta erabilgarritasuna erakusteko. ERT eta IP datuak failen egitura zehazteko eta beraien jardura analizatzeko erabilgarriak direla ondorioztatzen da.

Hitz gakoak: Tomografia elektrikoa, Polarizazio indusitua, Tektonika aktiboa, Arrisku geologikoa

Abstract

Electrical surface techniques (Electrical-resistivity tomography "ERT" and induced polarisation, "IP") are useful tools in the field of earth sciences, in different research contexts. These include the study of active tectonics, which is essential for the appropriate investigation of seismic risks. By analysing the electrical tomography profiles installed in two tectonically active areas of the Betic Cordillera, their importance and usefulness in the knowledge of active tectonics is discussed. ERT and IP data are useful to define the structure of faults and analyse their activity and can be used as a complement in active tectonics.

Keywords: Electrical-resistivity tomography, Induced polarisation, Active tectonics, Geological risk

1. Sarrera eta motibazioa

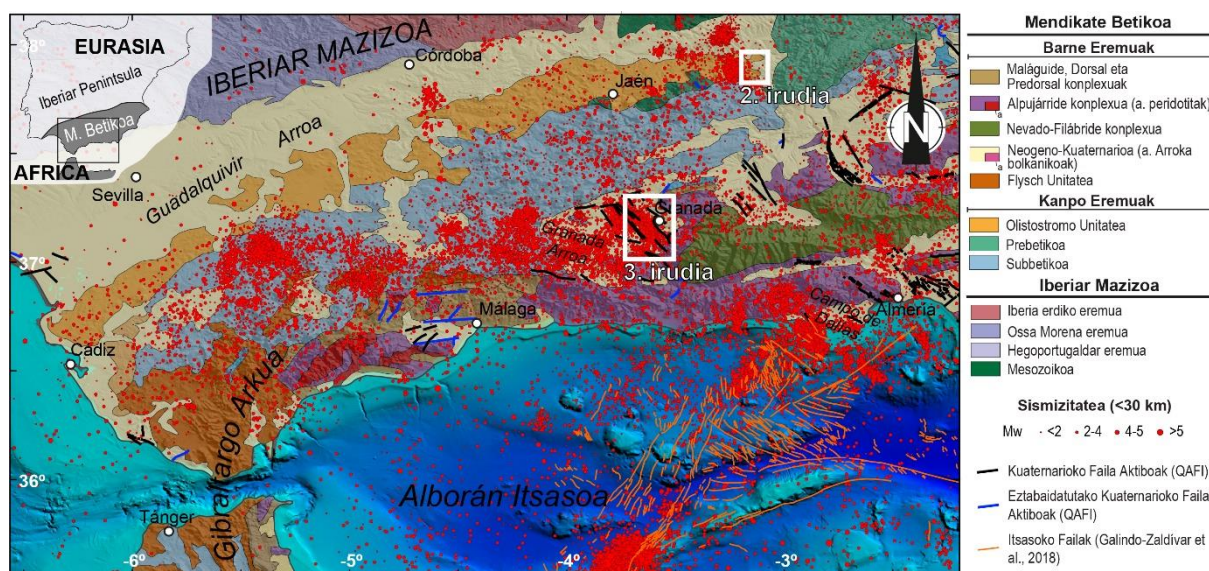
Lurrazala ikertzeko hainbat modu eta metodologia daude baina teknika geofisikoak ezin bestekoak dira gainazalaren azpitik dauden egitura, arroka eta ezaugarri geologikoak ezagutzeko. Lurraren ezaugarri fisikoak aztertzen dituzten teknikak landa-geologia, geoteknia eta geomorfologiaren osagarri dira besteak beste (Telford et al., 1990). Teknika elektrikoek konkretuki hainbat aplikazio dituzte eta horien artean hurrengoak nabarmendu daitezke: akuiferoen eta lur-azpiko uren azterketa (Guirado et al., 2017; Martínez-Moreno et al., 2018), lurjauzien ikerketa (Perrone et al., 2014), kobazuloen detekzioa (Martínez-Moreno et al., 2021), bolkanologia (Di Giuseppe eta Troiano, 2019), lurzoru mota ezberdinen azterketa (Sudha et al., 2009) edo aztarna arkeologikoen detekzioa (Papadopoulos et al., 2010). Aipatutako lan-arloez aparte, artikuluan tektonika aktiboaren ikerketan ere oso erabilgarria dela erakutsiko da.

Tektonikak Lurreko lurrazalaren deformazioarekin erlazionatutako prozesu, egitura eta egituren geometriei erreferentzia egiten die. Esanahi zabalago batez, egitura, prozesu eta geometria horien denboran zeharreko eboluzioa aztertzen duen arloa izango litzateke (Keller eta Pinter, 1996). Tektonika aktiboz ari garenean, aldiz, gizartearen denbora-eskalaren ikuspegitik esanguratsuak diren prozesu tektonikoetaz ari gara (National Research Council eta Geophysics Study Committee, 1986), beraz, gure bizimoduan garrantzia eta eragina duten zenbait prozesu tektoniko ikertzen dituen jakintzagaia izango litzateke. Lurrean, plaka-tektonikaren eraginaren ondorioz (Le Pichon et al., 2013), hainbat eremu tektoniko aktibo bereizten dira. Eremu tektoniko aktiboetan gertatzen diren prozesuak gizartearengan eragina dute eta arriskutsuak izan daitezke. Horren ondorioz, prozesu tektoniko aktiboen ikerketa ezin bestekoa da. Keller eta Pinterrek

(1996) hainbat teknika nabarmentzen dituzte tektonika aktiboa beharbezala aztertzeko: sismologia eta paleosismologia, geodesia, geomorfologia edo erreken azterketa. Teknika horiek ezinbestekoak dira azterketa sakon bat egiteko, hala ere, badira beste zenbait teknika, geofisikoak adibidez, azken urteotan erabilgarritasun handia lortu dutenak. Horien artean, gainazaleko teknika elektrikoak; erresistibitate elektriko tomografia edo tomografia elektrikoa (ERT) eta polarizazio indusitua (IP) nabarmenduko dira lan honetan.

Gaur eguneko eremu tektoniko aktiboen artean dugu Mendikate Betikoa, Iberiar Penintsularen hego-ekialdean kokatua, Rif Mendikatearekin batera Gibraltargo Arkua osatzen duena. Arku tektoniko horretan sismizitatea nabarmena da eta hainbat kokalekutan lurrikarak ohikoak dira (1. irudia). Horren adibide dira 2021ko urtarrilla-otsaileko Granadako lurrikarak edo 2019an, abuztua eta abendua bitartean, Moron de la Fronteran (Cádiz) gertatutakoak. Gainera, lurralde horiek geologikoki eta esfortzu tektonikoei erreparaturik ez dut zerikusirik, arkuaren eta Mendikate Betikoaren konplexutasunaren adierazgarri. Horren ondorioz, Mendikate Betikoa, tektonika aktiboaren azterketarako leku ezin hobea da: batetik, tektonikoki eta sismikoki aktiboa delako, eta bestetik, konplexutasuna dela eta egoera desberdinak aztertu daitezkeelako. Ondoren, Mendikate Betikoan aurrera eraman diren teknika elektrikoaren zenbait kanpainen emaitzak analizatuko dira, tomografia elektrikoaren eta polarizazio indusituaren ekarpenak azpimarratzeko.

1. irudia. Mendikate Betikoko mapa geologikoa. Bertan 2000. urtetik izandako sismizitatea eta faila aktiboak adierazten dira.



2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

2.1. Tektonika aktiboa

Tektonika aktiboaren ikerketak Mendikate Betikoetan ez du garrantziarik hartzen 90. hamarkadara arte (Galindo-Zaldívar et al., 1999; Morales et al., 1999). Orduan, batez ere, azterketa sismikoan eta egituren azterketan oinarritzen ziren, mendikatean ematen diren esfortzu aktiboak zehazteko. Harrez geroztik, tektonika aktiboa nabarmen hedatu da eta, batez ere, azken hamarkadan lan ugari eta hainbat arlotakoak burutu dira (adibide bezala: Martínez-Martínez et al., 2006; Pedrera et al., 2009; Ruiz-Constán et al., 2009). Modu berean, beste teknika batzuen erabilera hedatu da tektonika aktiboaren ikerketan: geomorfologia (Pérez-Peña et al., 2010), prospekzio geofisikoa (González-Castillo et al., 2014) edo geodesia (Galindo-Zaldívar et al., 2015). Nabarmentzekoa da ere, azken urteetan hainbat teknika batera analizatu eta ikertzeko saiakera eta helburua (Ruiz-Constán et al., 2012; Tendero-Salmerón et al., 2020).

2.2. Tomografia elektrikoa

Tomografia elektriko deritzon teknikak lurrazaleko arroka, sedimentu eta lurzoruen bi parametro kalkulatu ditzake. Batetik, erresistibitate elektrikoa eta, bestetik, polarizazio indusitua. Lehenengoak korrante elektrikoak gorputz jakin batetik igarotzeko duen gaitasuna adierazten du eta ondorioz, material bakoitzak duen ezaugarri propioa da litologiarekin erlazionatuta dagoena. Bigarrena, polarizazio indusitua, material bati korrante elektriko indusituz gero, honen eragina korrantearen amaitzen denetik material horrek hasierako egoerara itzuli arte behar duen denbora izango litzateke. Beraz, gainazaleko teknika elektriko hauek, teknika geofisiko aktibotzat hartzen dira tomografo elektriko baten bitartez sortutako korrante elektriko lurrazaletik pasarazi behar delako.

Mundu mailan, XX. mendearen bukaeran hasten dira teknika hauek erabiltzen tektonika aktibo, faila aktibo eta arrisku tektonikoen azterketarako. Mendikate Betikoan konkretuki, ez da teknika zehatz hau erabiliko orain dela gutxira arte (Pedrera et al., 2012). Geroztik, bai mundu mailan zein azterketa eremuan, teknika hauek oso erabiliak izan dira (Caputo et al., 2003; Kürçer et al., 2008; Martinez-Martos et al., 2017; Štěpančíková et al., 2011; Tendero-Salmerón et al., 2020; Weissl et al., 2017; besteak beste).

2.3. Helburuak

Lanaren helburu nagusia gainazaleko teknika elektrikoaren erabilerak tektonika aktiboaren azterketan eskaini dezakeena aztertu nahi da. Horretarako:

- 1) Mendikate Betikoan garatu diren bi kanpainia eta 4 profil aurkeztu eta aztertuko dira.
- 2) Tektonika aktiboaren ezagutza sakontzeko teknika elektrikoak eskaintzen duten baliabideetatik hausnartuko da.

3. Ikerketaren muina

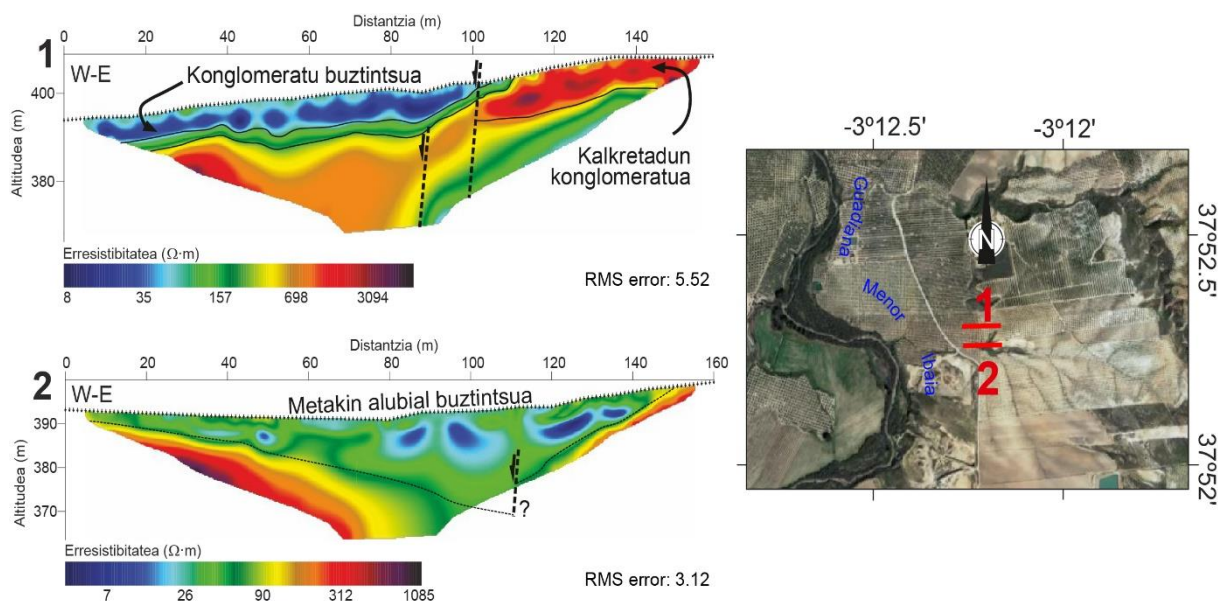
Lan honetan lau ERT profil jaso dira Mendikate Betikoetako bi eremu tektoniko aktibotan. Batetik, Guadalquivir arroaren ekialdean, Guadiana Menor ibaiaren alboan, 2017 eta 2018ko lurrikarak aztertzeko (Tendero-Salmerón et al., 2020; 2. irudia) eta bestetik Granada arroan, aurtengo urtarrean eta otsailen Granadan eman ziren sismoen kokalekutik gertu eta faila sistema berean (Sanz de Galdeano et al., 2003; 3. irudia).

Datuak ABEM Terrameter SAS 4000 tomografoaren bitartez lortu dira, GRAD4LX8 eta GRAD4S8 protokoloak erabiliz. Profilak 160m (Guadalquivir arroa) eta 80m-koak (Granada arroa) dira, erabilitako 80 elektrodoen artean 2m eta 1m utziz hurrenez hurren. Datu elektrikoaren inbertsioa Res2Dinv programaren bitartez burutu da.

3.1. Emaitzak

Guadiana Menor ibaiaren inguruan egin diren E-W norabideko bi ERT profilek (2. irudia), sakonera txikiko faila gazte batek sortua izan daitekeen N-S orientazioko malda aldaketa zuzen bat zeharkatzen dute. 1 profilean okerdura handiko muga bat ikus daiteke, ekialderantz amaitzen den erresistibitate baxuko gorputz batek eta azpiko erresistibitate altuko gorputzaren desplazamenduak markatua. Muga hori, profilen kokalekutik gertu dauden harrobietan ikus daitezkeen failekiko paraleloa da, eta mendebaldeko blokearen hondoratzea adierazten du. 2 profilak haran txiki baten amaieran kokatutako gorputz sedimentario bat mozten du. Bertan, erresistibitate baxuko eta forma trianguluarreko metakinen gorputz bat bereiz daiteke, asimetrikoa dena eta malda aldaketarekin erlazionatua dagoena. Failaren mugimenduak hondoratutako mendebaldeko blokearen gainean garatutako espazioan eroaleak diren buztinak metatu dira.

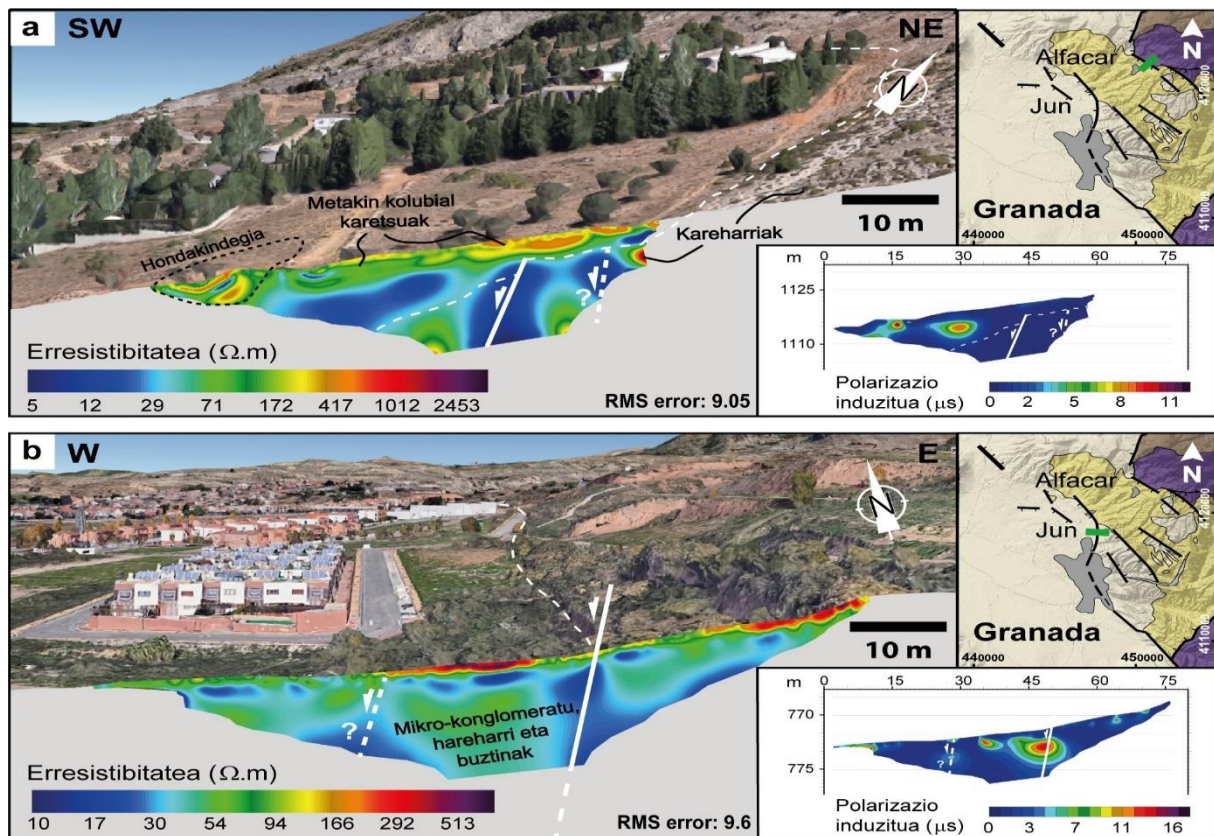
2. irudia. Guadiana Menor ibairekiko paralelo dagoen malda-aldaketa bortitza zeharkatzen duten ERT profilak (Tendero-Salmerón et al., 2020).



Granada arroko profilek, ezagunak diren bi faila gurutzatzen dituzte (3. irudia). a profilak Alfacar faila zeharkatzen du. Azalean oso ondo ikusten den faila-planoan burdina mineralizazioak ugari dira. Profilean materialen arteko erresistibitate-aldaketa nabarmena da. Ipar-ekialdean ikus daitezkeen kareharriek erresistibitate altuko balioak ematen dituzte (Ikus a profileko erresistibitate altuko puntu gorria). Tamalez, erresistibitate altuko puntu gehiago ezin izan dira lortu kareharrien gogortasuna eta abuztuan lurak duen idortasunaren ondorioz. Bi eremu desberdindu dira, erresistibitate-anomalien geometriari erreparatuz. Batetik, ipar-ekialdean eta sakonera handiagoan kokatutako okerdura handiko anomaliak. Bestetik, profilaren hego-mendebaldean hego-mendebalderantz oso gutxi okertutako anomaliak. Okerdura handiko anomaliak aipatutako kareharrietan kokatutako faila baten ondorio direla interpretatu da, Alfacar faila nagusiarekin harremana duena. Okerdura gutxiko anomaliak aldiz, faila estaltzen duten metakin kolubial gazte gisa interpretatu dira. Horrela, hego-mendebaldeko blokea da failak hondoratzen duena. Bloke hori zein faila altxatutako bloketik higitutako erresistibitate altuko kareharritzko metakinez estalita daude. b profila, Granada failaren gainean kokatuta dago eta erresistibitate desberdintasun txikiagoa du. Erresistibitate handieneko materialak azalean aurkitzen dira eta sakonean bi eremu sasi-bertikal eroaleago bereizten dira. Profilaren erdian kokatutako anomalia azalean oso nabarmena den malda aldaketa bortitzarekin bat dator. Hemen, altxatutako eta hondoratutako blokeetako azaleko materialak berdinak dira. Ondorioz faila ez dago bi blokeren arteko erresistibitate aldaketa baten bitartez adierazita, baizik eta, faila planoan egon daitezkeen jariakinek eragindako eremu eroaleago baten bitartez markatuta.

Granada arroan, ERT datuez gain polarizazio indusitu (IP) datuak ere lortu dira. Esan bezala, material bati korrante elektrikoa indusitzean, horren eragina amaitzen denetik material horrek hasierako egoerara itzuli arte behar duen denboraz ari gara. Normalean, polarizazio indusitua altua da faila-planoan mineralizazioak edo birrindutako buztinak daudenean. b profilean IP altuko eremua guztiz bat dator eremu eroalearekin, beraz, failaren interpretazioa indartzen du. a profilean IP datu altuak sakonera txikian kokatuta daude. Garrantzitsuena, profilaren erdialdean kokatutakoa, eremu eroale batekin bat dator. Alfacar failan ohikoak diren burdin mineralizazioen ondorio izan litzateke. Hala ere, anomalia eroalearen okerdura txikia ez dator Alfacar failaren okerdurarekin bat. Hego-mendebaldean kokatutako IP anomalia, aldiz, gizakiak eraldatutako materialetan kokatuta dago.

3. irudia. Granada arroko ipar-ekialdeko Granada (b) eta Alfacar failak (a) gurutzatzen dituzten ERT eta IP profilak. Mapen kokapena: UTM, 30N zona.



3.2. Eztabaida

Tektonikoki aktiboak diren eremuetan, failen eraginaren ondorioz, sedimentuen metaketa ematen da. Aktibitatea garrantzitsua den kasuetan arroen garapena eman daiteke. Horren ondorioz, litologikoki eta ezaugarri fisikoei erreparatuz ezberdinak diren materialak bereiz daitezke: arroetako sedimentuak, batetik, eta basamentuko arroka-ama, bestetik. Materialen arteko erresistibitate aldaketak dira ezaugarri fisiko horien eredu eta litologiarekin erlazio handia dute. ERT datuek sedimentuen eta arroka-amaren sakonera txikiko egituraren berri ematen dute eta ondorioz, hauen arteko erlazioa aztertu daiteke. Gainera, IP datuek failen berri eman ahal dute.

Bai Granadako (2. irudia) zein Guadiana Menorreko (3. irudia) ERT profilek, IP datuen laguntzaz, failen eta sedimentuen egituraren berri ematen digute. Horrela, failen sakonera gutxiko ezaugarria eta sedimentu gazteenekin duten erlazioa ezagutu daitezke, aktibitatearen berri emateko. Sakoneko datuak bat datoz failek eragindako aldaketa geomorfologikoekin (malda aldaketa bortitz eta zuzenak) zein datu geologikoekin (profilen kokalekutik gertu dauden eta orientazio antzekoa duten faila-planoak). Horrela, landan ikusitako failen sakonera txikiko jarraipena interpreta daiteke:

1) Erresistibitate balioen aldaketa bortitzak failak eragindako aldaketa litologikoekin lotu daitezke (2. irudia, 1 profila; 3. irudia, a profila).

2) Erresistibitate bereko gorputzen desplazamendua somatuz gero failak eragindakoa dela interpreta daiteke. Horrela, faila-mota eta ondorioz inguruko esfortzu nagusien izaera ondorioztatu daiteke (2. irudia, 1 Profila faila normala).

3) Metakinen morfologiari erreparatuz, failekin erlazionatutako moldatze-espazioak interpreta daitezke (2. irudia, 2 profila).

4) Eroaletasun anomaliak ere failekin lotu daitezke, jariatzen eroaleen agerpenarekin dute harremana (3. irudia, b profila)

5) IP balio altuak mineralizazioen eta buztin birrinduen seinale dira eta failen mugimenduetarekin eta jariakinen agerpenarekin dute harremana (3. irudia, b profila).

Granada failari erreparatu, 2. irudiko b profilean ikus daiteke failarekin erlazionatuta dagoen malda antropikoki eraldatua dagoela, etxebizitzak eta errepidea egiteko. ERT eta IP datuek, egiaztatu dute, malda aldaketa bortitz hori, sakonean dagoen anomalia bertikalarekin bat datorrela, hau da, faila baten ondorioz sortutakoa dela.

Profilek irudikatzen dituzten faila-metakin erlazioen azterketak egitura tektoniko hauek duten jardueraren berri ematen du. Adibidez, 3. irudiko a profilak argi erakusten du faila sedimentu gazteenek ezarrita dagoela eta, beraz, azken urteetan jarduerarik ez duela izan. Aldiz, 3. irudiko b profilean failak azaleko sedimentu berri erresistiboak ere zeharkatzen dituela ikusten da. Horrela, Granada arroko profiletatik interpreta daiteke Granada faila (3b. irudia) aktiboa dela gaur egun eta Alfacar faila aldiz, jada ez dela aktibo edo jarduera gutxiko etapa batean dagoela.

4. Ondorioak

Tomografia elektrikoa failak identifikatzeko erabil daiteke. Horrela, azalean ikusi eta interpreta daitezkeen egitura tektoniken sakonera txikiko jarraipena aztertu daiteke. Horretarako hainbat aukera daude: litologiaren interpretazioa, blokeen desplazamendua, metakinen morfologia eta IP datu altuen kokapena besteak beste.

Faila eta metakin gazteenen arteko erlazioak aztertuz egitura tektoniko aktiboak diren edo ez eztabaidatu daiteke. Horrela, jardura sismikoa duten lurraldeen bilakaera aztertzeke tresna garrantzitsua da.

Erliebea antropikoki eraldatutako guneetan oso tresna baliagarria da, landa datuek eta datu geomorfologikoek failaren aktibitatearen berri ez dutelako ematen.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Etorkizunerako hiru erronka nagusi jorratu daitezke tomografia elektrikoaren erabilerarekin, tektonika aktiboko lurraldeetan arrisku geologikoak aztertzerako orduan.

- 1) Lehenengo erronka 3D azterketak burutu ahal izatea izango litzateke. Badira lan batzuk non zenbait profil lerrotuen bitartez, 3D-ko irudiak osatu diren. Profil bat osatzeko behar den denbora kontutan hartuz, bereizmen handiko profil-sarea osatzea oso lan astuna da eta denbora larregi eskatzen du oraingoz.
- 2) Teknika elektrikoaren bitartez denborarekiko materialen propietate-aldaketak monitorizatzea. Horren adibide da Di Giuseppe eta Troiano (2019)-k Pisciarelli fumarolazelaian egindako lana. Hala ere, tektonika aktiboan ez dago lan esanguratsurik denbora kontuan hartzen duenik, eta failetan ematen diren jariakinen mugimenduak aztertzeke teknika erabilgarria izan liteke.
- 3) Tomografia elektrikoa beste zenbait teknika geofisikoekin batera analizatzea tektonika aktiboaren arloan. Tomografia elektrikoa konkretuki, erresistibitatea lantzen duten beste teknika elektriko (Berezko Potentziala, SP) zein elektro-magnetikoekin (Magnetotelurika, MT eta Audiomagnetotelurika, AMT) batera landu daiteke (Martínez-Martos et al., 2017). Horrela, aztertutako egitura tektoniko aktiboa hainbat eskalatan aztertu ahal izango litzateke, teknika bakoitzaren bereizmen-maila desberdina delako.

6. Erreferentziak

Caputo, R., Piscitelli, S., Oliveto, A., Rizzo, E. eta Lapenna, V. (2003). The use of electrical resistivity tomographies in active tectonics: examples from the Tyrnavos Basin, Greece. *Journal of Geodynamics*, 36(1-2), 19-35.

- Di Giuseppe, M. G. eta Troiano, A. (2019). Monitoring active fumaroles through time-lapse electrical resistivity tomograms: an application to the Pisciarelli fumarolic field (Campi Flegrei, Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 375, 32-42.
- Galindo-Zaldívar, J., Ercilla, G., Estrada, F., Catalán, M., d'Acremont, E., Azzouz, O., eta Gil, A. J. (2018). Imaging the growth of recent faults: The case of 2016–2017 seismic sequence sea bottom deformation in the Alboran Sea (Western Mediterranean). *Tectonics*, 37(8), 2513-2530.
- Galindo-Zaldívar, J., Gil, A. J., de Galdeano, C. S., Lacy, M. C., García-Armenteros, J. A., Ruano, P., ... eta Alfaro, P. (2015). Active shallow extension in central and eastern Betic Cordillera from CGPS data. *Tectonophysics*, 663, 290-301.
- Galindo-Zaldívar, J., Jabaloy, A., Serrano, I., Morales, J., González-Lodeiro, F. eta Torcal, F. (1999). Recent and present-day stresses in the Granada Basin (Betic Cordilleras): Example of a late Miocene-present-day extensional basin in a convergent plate boundary. *Tectonics*, 18(4), 686-702.
- Guirado, E., Alcaraz-Segura, D., Rigol-Sánchez, J. P., Gisbert, J., Martínez-Moreno, F. J., Galindo-Zaldívar, J., González-Castillo, L. eta Cabello, J. (2018). Remote-sensing-derived fractures and shrub patterns to identify groundwater dependence. *Ecohydrology*, 11(6), e1933.
- Keller, E. A. eta Pinter, N. (1996). *Active tectonics*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Kürçer, A., Chatzipetros, A., Tutkun, S. Z., Pavlides, S., Ateş, Ö. eta Valkaniotis, S. (2008). The Yenice–Gönen active fault (NW Turkey): Active tectonics and palaeoseismology. *Tectonophysics*, 453(1-4), 263-275.
- Le Pichon, X., Francheteau, J. eta Bonnin, J. (2013). *Plate tectonics*. Elsevier.
- Martínez-Martínez, J. M., Booth-Rea, G., Azañón, J. M. eta Torcal, F. (2006). Active transfer fault zone linking a segmented extensional system (Betics, southern Spain): Insight into heterogeneous extension driven by edge delamination. *Tectonophysics*, 422(1-4), 159-173.
- Martínez-Martos, M., Galindo-Zaldívar, J., de Galdeano, C. S., García-Tortosa, F. J., Martínez-Moreno, F. J., Ruano, P., González-Castillo, L. eta Azañón, J. M. (2017). Latest extension of the Laujar fault in a convergence setting (Sierra Nevada, Betic Cordillera). *Journal of Geodynamics*, 104, 15-26.
- Martínez-Moreno, F. J., Delgado-Ramos, F., Galindo-Zaldívar, J., Martín-Rosales, W., López-Chicano, M. eta González-Castillo, L. (2018). Identification of leakage and potential areas for internal erosion combining ERT and IP techniques at the Negratín Dam left abutment (Granada, southern Spain). *Engineering Geology*, 240, 74-80.
- Martínez-Moreno, F. J., Galindo-Zaldívar, J., Baena, C. L., González-Castillo, L., Herrera, J. B., Martínez-Martos, M., Del Rosal Padial, Y., Fernández Rodríguez, L. E., Tenders-Salmerón, V. eta Madarieta-Txurruka, A. (2021). Development and collapse of karstic cavities in folded marbles: Geomorphological and geophysical evidences in Nerja Cave (southern Spain). *Journal of Applied Geophysics*, 104287.
- Morales, J., Serrano, I., Jabaloy, A., Galindo-Zaldívar, J., Zhao, D., Torcal, F. eta Lodeiro, F. G. (1999). Active continental subduction beneath the Betic Cordillera and the Alboran Sea. *Geology*, 27(8), 735-738.
- National Research Council eta Geophysics Study Committee. (1986). *Active Tectonics: Impact on Society*. National Academies Press.
- Papadopoulos, N. G., Yi, M. J., Kim, J. H., Tsourlos, P. eta Tsokas, G. N. (2010). Geophysical investigation of tumuli by means of surface 3D electrical resistivity tomography. *Journal of Applied Geophysics*, 70(3), 192-205.

- Pedrerá, A., Marín-Lechado, C., Stich, D., Ruiz-Constán, A., Galindo-Zaldívar, J., Rey-Moral, C. eta Mancilla, F. (2012). Nucleation, linkage and active propagation of a segmented Quaternary normal-dextral fault: the Loma del Viento fault (Campo de Dalías, Eastern Betic Cordillera, SE Spain). *Tectonophysics*, 522, 208-217.
- Pedrerá, A., Pérez-Peña, J. V., Galindo-Zaldívar, J., Azañón, J. M. eta Azor, A. (2009). Testing the sensitivity of geomorphic indices in areas of low-rate active folding (eastern Betic Cordillera, Spain). *Geomorphology*, 105(3-4), 218-231.
- Pérez-Peña, J. V., Azor, A., Azañón, J. M. eta Keller, E. A. (2010). Active tectonics in the Sierra Nevada (Betic Cordillera, SE Spain): Insights from geomorphic indexes and drainage pattern analysis. *Geomorphology*, 119(1-2), 74-87.
- Perrone, A., Lapenna, V. eta Piscitelli, S. (2014). Electrical resistivity tomography technique for landslide investigation: a review. *Earth-Science Reviews*, 135, 65-82.
- Ruiz-Constán, A., Stich, D., Galindo-Zaldívar, J. eta Morales, J. (2009). Is the northwestern Betic Cordillera mountain front active in the context of the convergent Eurasia–Africa plate boundary?. *Terra Nova*, 21(5), 352-359.
- Ruiz-Constán, A., Pedrerá, A., Galindo-Zaldívar, J., Pous, J., Arzate, J., Roldán-García, F. J., ... eta Anahnah, F. (2012). Constraints on the frontal crustal structure of a continental collision from an integrated geophysical research: The central-western Betic Cordillera (SW Spain). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 13(8).
- Sanz de Galdeano, C., Pelaez, M. J. eta Lopez, C. C. (2003). Seismic potential of the main active faults in the Granada Basin (southern Spain). *Pure and Applied Geophysics*, 160(8), 1537-1556.
- Štěpančíková, P., Dohnal, J., Pánek, T., Lój, M., Smolková, V. eta Šilhán, K. (2011). The application of electrical resistivity tomography and gravimetric survey as useful tools in an active tectonics study of the Sudetic Marginal Fault (Bohemian Massif, central Europe). *Journal of Applied Geophysics*, 74(1), 69-80.
- Sudha, K., Israil, M., Mittal, S. eta Rai, J. (2009). Soil characterization using electrical resistivity tomography and geotechnical investigations. *Journal of Applied Geophysics*, 67(1), 74-79.
- Telford, W. M., Geldart, L. P. eta Sheriff, R. E. (1990). *Applied geophysics*. Cambridge university press.
- Tendero-Salmerón, V., Galindo-Zaldívar, J., Peláez, J. A., Martínez-Martos, M., Henares, J., Marín-Lechado, C., Gil, A. J., eta López-Garrido, Á. C. (2020). Seismicity in Strike-Slip Foreland Faults (Central Betic Cordillera Front): Evidence of Indentation Tectonics. *Tectonics*, 39(7), e2020TC006143.
- Weissl, M., Hintersberger, E., Lomax, J., Lüthgens, C. eta Decker, K. (2017). Active tectonics and geomorphology of the Gaenserndorf Terrace in the Central Vienna Basin (Austria). *Quaternary International*, 451, 209-222.

7. Eskerrak eta oharrak

Lan hau aurrera eramateko ezin-bestekoa izan da Elisa Segura Alonso eta Manuel Martinez Martosen laguntza landa lanetan. Gainera, lan hau Espainiako DAMAGE proiektuaren (CGL2016-80687-R AEI/FEDER) zein Andaluziako RNM-148 ikerketa taldearen diru-laguntzen ondorioz burutu izan ahal da. Lan honetan aztertu diren datuak Victor Tendero-Salmerón-en eta Asier Madarieta-Txurruka-ren doktoretza tesiaren parte dira. Lehenengoa, FPU deituriko Espainiako hezkuntza ministerioko diru laguntzari ezker ari da burutzen tesia eta bigarrena PTA laguntzaren (PTA2019-017685-I) bidez teknikari bezala ari da Granadako Unibertsitateko Geodinamika Sailean. Emaiza batzuk (2. irudia) aurretik publikatuak izan dira *Tectonics* aldizkarian (Tendero-Salmerón et al., 2020), “Seismicity in Strike-Slip Foreland Faults (Central Betic Cordillera Front): Evidence of Indentation Tectonics” izenarekin.