



II. IKERGAZTE

NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

Kongresuko artikulu-bilduma

INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

2017ko maiatzaren 10, 11 eta 12
IRUÑEA, EUSKAL HERRIA





(c) 2017 Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)
Nafarroako Unibertsitateko Publikoa, Euskal Herriko Unibertsitatea
(UPV/EHU), Mondragon Unibertsitatea (MU), Deustuko Unibertsitatea (DU)
eta Nafarroako Unibertsitatea laguntzaileak izan dira edizio honetan.

(c) Egileak

Editoreak: Iñaki Alegria, Ainhoa Latatu, Miren Josu Omaetxebarria, Patxi Salaberri

Artikuluak *Creative Commons Aitortu-PartekatuBerdin 3.0* lizentziapean daude

ISBNa: 978-84-8438-627-8 Lan osorako

ISBNa: 978-84-8438-632-2 5. liburukia

DOI: <https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.2017.05>

Harremanetarako: argitalpenak@ueu.eus

UEU. Erribera 14 1 D. 48005 Bilbo. Tel.: 94 679 05 46

INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

Aurkibidea

Hitzaurrea.....	5
Batzordeak.....	7
Konpositeen laminarteko hausturaren I/II modu mistoa aztertzen., <i>Ana Boyano, Unai Fernandez-Gamiz, Igor Ansoategui eta Irantzu Uriarte</i>	10
Kurkuma deribatudun gelatinazko filmen aktibitate antioxidatzailea, <i>Alaitz Etxabide, Pedro Guerrero eta Koro de La Caba</i>	16
Web elkarrekintzan erabilitako gailuen detekzio automatikoa, <i>Iñigo Perona, Ainhoa Yera, Olatz Arbelaiz, Javier Muguerza, Juan Eduardo Pérez eta Xabier Valencia</i>	22
EIEH: Industriako interakzio digitalak diseinatzeko erraminta berria, <i>Erik Aranburu, Ganix Lasa eta Jon Kepa Gerrikagoitia</i>	30
Nekazaritza-industriatik lortutako azpiproduktuen erabilera proteinan oinarritutako filmak garatzeko, <i>Tania Garrido, Miriam Peñalba, Pedro Guerrero eta Koro de La Caba</i>	38
Gailu Elektriokoek sortutako Erradiazioaren Estimazio Determinista Metodo Hibrido berri baten bidez, <i>Peio Lopez Iturri, Erik Aguirre, Leyre Azpilicueta, Pablo Rodriguez-Ulibarri, Miguel Beruete eta Francisco Falcone</i>	42
Konputagailuen sarrera/irteeraren hezkuntza prozesurako hurbilpen berritzaile bat, <i>Eduarne Larraza Mendiluze eta Nestor Garay-Vitoria</i>	48
Azido zitrikoz eraldatutako arrain-gelatinazko filmak, <i>Jone Uranga, Itsaso Leceta, Alaitz Etxabide, Pedro Guerrero eta Koro de La Caba</i>	56
Neutroi-tekniketarako egokia den lehenengo berun-azido bateriaren diseinua eta optimizazioa, <i>Jose Miguel Campillo-Robles, Xabier Artetxe, Idoia Urrutibeaskoa, Daniel Soler, Damian Goonetilleke, Neeraj Sharma, Ulf Garbe eta Pinar Türkyilmaz</i>	61
Gailu mikro-fluidiko analitikoetarako osagaien garapen eta azterketa, <i>Jaione Etxebarria, Susana Carregal-Romero, Charles Lawrie, Fernando Benito-Lopez eta Lourdes Basabe</i>	67
Testu-loturen labirinto semantikoan barna, esanahi-bektoreak lagun! <i>Josu Goikoetxea, Iñigo Lopez-Gazpio, Eneko Agirre, Montse Maritxalar eta Aitor Soroa</i>	75
Arnasketa eta bihotz-maiztasunaren monitorizazioa burmuineko oximetria seinaleak erabiliz, <i>Iraia Isasi, Unai Irusta eta Elisabete Aramendi</i>	83
Gibeleko erradioenbolizazioa: CFD simulazioetan oinarritutako hemodinamikaren eta mikroesferen garraioaren analisia, <i>Jorge Aramburu, Raúl Antón, Alejandro Rivas, Juan Carlos Ramos, Bruno Sangro eta José Ignacio Bilbao</i>	91
Zuntz optikoan oinarritutako sentsoreen prestazioen muga-efektu berria, egituren egoera monitorizatzea helburu, <i>Haritz Iribas, Jon Mariñelarena eta Alayn Loayssa</i>	97

Gorputz-anitzeko sistemen modelizazioa operadore errekursibo eta espresioen atomizazioaren bidez, <i>Aitor Plaza, Javier Ros, Xabier Iriarte eta Jokin Aginaga</i>	103
UPV/EHUko eZerbitzu baten modelatzea ikasketa automatikoaren bidez, <i>Ainhoa Yera, Iñigo Perona,</i> <i>Olatz Arbelaitz eta Javier Muguerza</i>	111
Makina-erreminta baten elastikotasun eraginaren analisi mekatronikoa, <i>Igor Ansoategui,</i> <i>Francisco Javier Campa, Carolina López-Ugarte eta Ana Isabel Boyano</i>	119
Tresna diamantatuaren fabrikaziorako matrize metalikoen garapenean sinterizazio-atmosferaren eragina hauts metalurgiaren bidez, <i>Nerea González Polvorosa, Carmen Luno-Bilbao</i> eta <i>Iñigo Iturriza</i>	126
Sentsore Inertzialen Erabilgarritasuna Trenen Odometria Sisteman: Tekniken laburpena eta ezaugarrien proposamena, <i>Jon Otegui eta Alfonso Bahillo</i>	133
Osasun-zientzietako terminologiaren euskaratze automatikoaren ebaluazioa, osasungintzako euskal komunitatea inplikatur, <i>Olatz Perez-De-Viñaspre eta Maite Oronoz Anchordoqui</i>	141
Joan-etorriko arkitekturak. Egungo arkitekturaren joan-etorriak, <i>Arantzazu Luzarraga</i>	149
Ahots kantatuaren sintesiaren egokitzapena bertsolaritzarako, <i>Xabier Sarasola, Eva Navas eta</i> <i>Inma Hernaez</i>	157
Arrotz eta aldi berean lekukotz, <i>Imanol Esperesate</i>	165

IKERGAZTE 2017

Nazioarteko Ikerketa Euskaraz

HITZAURREA

Duela 45 urte sortu zenetik, euskal komunitate zientifiko-intelektuala trinkotzea da UEUk duen helburu garrantzitsuenetako bat. Elkarren berri izatea ezinbestekoa da ezagutzak aurrera egin dezan, are gehiago gure kasuan, euskaraz lanean dihardugun ikertzaileak hain sakabanatuta egonda. Ildo horretatik, UEUk hainbat arlotako adituak bildu izan ditu zenbait ekimenetan azken hamarkadetan: Informatikari Euskaldunen Bilkurak (10 edizio) Historialari Euskaldunen Topaketak (5 edizio), Hizkuntzalari Euskaldunen Bilkura (2 edizio), Matematikari Euskaldunen Bilkura, Osasun Zientzietako eta Natur Zientzietako ikertzaileen bilkurak (2 edizio), besteak beste, horren adibide argiak dira.

Pozik esan dezakegu ikertzaile euskaldunak inoiz baino gehiago direla, baina tamalez, haien arteko ezagutza urria da oraindik. Hutsune horretaz jabetuta 2015. urtean antolatu genuen I. Ikergazte kongresua, Durangon, arrakasta handiz. Aurten maiatzaren 10, 11 eta 12an, Iruñean, bigarren Ikergazte kongresua antolatu dugu, Nafarroako Unibertsitate Publikoarekin elkarlanean, antzeko arrakastarekin. Ohiko kongresu zientifikoen moduan antolatu da: hitzaldi orokorrak, arlokako ahozko aurkezpenak zein posterrak, tailerrak eta saio osagarriak; baina ezaugarri berezi birekin: jakintza-arlo guztiak bilduta eta euskaraz.

“IkerGazte2017: Nazioarteko Ikerketa Euskaraz” goiburu duen kongresuaren artikuluko bilduma dugu hau. Izenburu horretan Ikerketa, Euskara eta Gaztetasuna bildu nahi izan ditugu. Ikusgarri egin nahi dugu Euskal Herriko ikertzaile gazteek egiten duten nazioarte mailako ikerketa. Maiz nazioartean erakutsi eta aurkezten dira lan horiek, Euskal Herrian eta euskaraz aurkezteko aukerarik izan gabe. Kongresu honen helburua komunitate-zientifiko euskaldunaren ikertzaileak bildu eta elkarren berri izatea da, arlo guztiak jorratuz; hasi humanitateetatik eta gizarte-zientzietatik, eta zientzia zehatz, natur zientzia, ingeniari, arkitektura eta osasun-arloetako gaietara. Nazioartean ingelesez argitaratu ohi diren lanak euskaraz ere argitaratzeko eta zabaltzeko aukeraren aldeko apustua da. Bigarren edizio hau ere euskaraz egindako ikerketan mugarri izango delakoan gaude!

Honelako kongresu bat aurrera ateratzeko ezinbestekoa da bai banakoen lan eskerga, baita erakunde publiko eta pribatu ugariaren laguntza ere: UEUko lan-taldea, Nafarroako Sostengu Taldea eta UEUkideak; Batzorde Zientifikoko ikertzaileak eta Batzorde Dinamizatzaileko ikergazteak; Unibertsitate eta Ikertalde laguntzaileak; aldizkari zientifikoak eta bestelako laguntzaileak. Aurten azpimarratzekoak dira Nafarroako Unibertsitate Publikoaren aldetik eta Nafarroako Gobernutik jasotako interesa eta babesa. Bestalde, Iruñeko Udalak eta Udalbiltzak sariak babestu dituzte. Horrez gain, hainbat pertsonak eta komunikabidek erakutsitako atxikimendua ere aipatu nahi dugu. Esker mila guztiei.

Egitarau interesgarri eta erakargarria da, arlo guztietako ekarpenak biltzen dituen; 63 ahozko aurkezpenak dira eta 59 poster modukoak. Guztira 122 komunikazio.

Hasieran, 136 komunikazio jaso ziren, baina gainbegiratze-prozesua gainditu ondoren 126 komunikazio hautatu ziren aurkezteko, eta horietatik 122 daude bilduma honetan.

Jakintza-arloei dagokionez hauek dira zenbakiak:

Giza Zientziak eta Arteak	25
Gizarte-Zientziak eta Zuzenbidea	24
Zientzia Zehatzak eta Natur Zientziak	27
Ingeniaritza eta Arkitektura	23
Osasun Zientziak	23

Ikertzaileen filiazioari dagokionez, espero bezala, Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU) da maizen aipatu dena, 88 ekarpenekin. Ondoren Mondragon Unibertsitatea (8 ekarpen), Nafarroako Unibertsitate Publikoa (7 ekarpen) eta Nafarroako Unibertsitatea (7 ekarpen) aurkitzen ditugu maizen. Deustuko Unibertsitatetik aurkezpen bat dago. Paueko Unibertsitatetik ere ekarpen bat egon da eta ekarpen bana Madrileko Unibertsitate Teknikotik, Bartzelonako Jaume I Unibertsitatetik eta Radboud Unibertsitatetik.

Unibertsitatei loturiko ikerketa-zentroak eta taldeak aipatzen dira ekarpenetako askotan, beherago aipatzen diren Ikertalde laguntzaileez gain, PIE, NU-Cima, NU-Tecnun, Hegoa Institutua, DeustoTech, BioCruces Osasun Ikerketa Institutua, BCMaterials, DIPC, edo CIC-energyGUNE agertzen dira besteak beste.

Euskal Herritik kanpoko erakundeei dagokienez, hauek dira lankidetzan aipatzen diren unibertsitateak: Curtin University, University of Antwerpen, Stockholm University, Tecnológico de Monterrey, Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO), University of Birmingham.

Eta bi urtean behin errepikatzeko asmoa dugu. Beraz, adi, Ikergazte2019 etorriko da-eta!

Iñaki Alegria, Ainhoa Latatu, Miren Josu Omaetxebarria, Patxi Salaberri

BATZORDEAK

Batzorde Zientifikoa

Batzordeburua:

Miren Josu Omaetxebarria (UPV/EHU, UEU)
Patxi Salaberri (NUP)

Idazkaria:

Edurne Koch (UEU)
Ainhua Latatu (UEU)

Giza Zientziak eta Arteak

Itziar Aduriz (Bartzelonako Unibertsitatea, UEU)
Mikel Aizpuru (UPV/EHU, UEU)
Enara Artetxe (UPV/EHU, UEU)
Aritz Irurtzun (CNRS-IKER, UEU)
Paula Kasares (NUP, UEU)
Kepa Korta (UPV/EHU)
Aitzpea Leizaola (UPV/EHU, UEU)
Elizabete Manterola (UPV/EHU, UEU)
Ismael Manterola (UPV/EHU, UEU)
Blanca Urgell (UPV/EHU)

Gizarte-Zientziak eta Zuzenbidea

Luzia Alberro (Deustuko Unibertsitatea)
Josu Amezaga (UPV/EHU, UEU)
Ritxar Arlegi (NUP, UEU)
Aitor Bengoetxea (UPV/EHU, UEU)
Eneko Bidegain (MU, UEU)
K. Josu Bijuesca (Deustuko Unibertsitatea)
Lore Erriondo (UPV/EHU, UEU)
M^aLuz Esteban (UPV/EHU, UEU)
Mikel Iruskieta (UPV/EHU, UEU)
Xabier Landabidea (Deustuko Unibertsitatea, UEU)
Jean-Michel Larrasquet (ESTIA, UEU)
Nerea Mujika (Deustuko Unibertsitatea)
Iñaki Peña (Deustuko Unibertsitatea)

Zientzia Zehatzak eta Natur Zientziak

Elizabete Alberdi (UPV/EHU, UEU)
Itziar Aretxaga (INAOE)
Arturo Elosegi (UPV/EHU, UEU)
Nestor Etxebarria (UPV/EHU, UEU)
Arantza Garcia Lekue (DIPC)
Maite Insausti (UPV/EHU)
Kizkitza Insausti (NUP)
Marian Iriarte (UPV/EHU)
Natxo Irigoien (NUP)
Josu Jugo (UPV/EHU, UEU)

Ingeniaritza eta Arkitektura

Olatz Arbelaitz (UPV/EHU, UEU)
Gorka Azkune (Deustuko Unibertsitatea)
Gabriel Ibarra (UPV/EHU)
Karmele Lopez de Ipiña (UPV/EHU, UEU)
Maialen Sagarna (UPV/EHU)
Arkaitz Zubiaga (University of Warwick)

Osasun Zientziak

Rafael Aldabe (CIMA, NU)
Jose Ramon Bilbao (UPV/EHU, Gurutzetako Ospitalea)
Koldo Callado (UPV/EHU, UEU)
Izaskun Elezgarai (UPV/EHU, UEU)
Felix Elortza (Biogune, UEU)
Karlos Ibarguren Olalde (Osakidetza)
Xabier Isasi (UPV/EHU, UEU)
Nerea Osinalde (UPV/EHU)

Beste gainbegirale batzuk

Lorea Agirre (Jakín)
Iñaki Alegria (UEU)
Ander Altuna (UEU)
Unai Lopez (Deusto)
Iñigo Mendialdua (EHU)

Batzorde Dinamizatzailea

Borja Ariztimuño (UPV/EHU)
Garazi Arrula (UPV/EHU)
Haritz Iribas (NUP)
Eñaut Izagirre (UPV/EHU, UEU)
Olatz Pereda (UPV/EHU, UEU)
Olatz Perez de Viñaspre (UPV/EHU, UEU)
Libe Solagaistua (UPV/EHU, UEU)

Batzorde Teknikoa

Ane Sarasua (UEUko idazkari nagusia)
Idoia Torregarai (komunikazio-arduraduna)
Ainhoa Latatu (koordinatzailea)
Edurne Koch (koordinatzaile teknikoa)

Ikerketa-talde laguntzaileak

- ADIAN. UPV/EHUko Informatika Fakultateko Ikerketa Taldea (Aldapan, Egokituz eta DSG ikerketa-taldeak barneratzen ditu).
- AFIT. UPV/EHUko Antropologia Feminista Ikerketa Taldea.
- DEUSTU-EUSKAL GAIK. Deustuko Unibertsitateko Euskal Gaien Institutua.
- EUDIA – UPV/EHUko Euskararen barietatea aztertzeke ikerketa-taldea.
- GOGO ELEBIDUNA – Psikolinguistika Laborategia.
- HEZIKOM. Mondragon Unibertsitateko HUHEZI Fakultateko Hezkuntza eta Komunikazioaren inguruko ikerketa-taldea.
- IXA. UPV/EHUko hizkuntzaren tratamendu automatikoaren inguruko ikerketa-taldea.
- Jokabide-Ekologia eta Eboluzioa Saguzarretan Ikerketa Taldea. UPV/EHU.
- NOR. UPV/EHUko Ikus-entzunezko Komunikazio eta Publizitate Saileko Ikerketa Taldea.
- PARTE HARTUZ. UPV/EHUko Politika eta Administrazio Zientzia Saileko Ikerketa Taldea

Aldizkari zientifiko laguntzaileak

- EKAIA. Euskal Herriko Unibertsitateko zientzia- eta teknologia-aldizkaria da.
- ELHUYAR ZIENTZIA ETA TEKNOLOGIA aldizkaria.
- GOGOIA. Euskal Herriko Unibertsitateko Logika, Kognizio, Hizkuntza eta Informaziorako Institutuak (ILCLik) egindako aldizkaria da.
- JAKIN. Giza eta gizarte-zientzien alorreko kultur aldizkaria.
- SENEZ. EIZIE elkarteak kudeatzen duen itzulpengintzaren arloko aldizkaria.
- TANTAK. Euskal Herriko Unibertsitateko hezkuntzari buruzko aldizkaria da.
- UZTARO. UEUk kudeatzen duen giza eta gizarte-zientziei buruzko aldizkaria.

Hizlari gonbidatuak

- Laurence Tresse, Lyoneko Astrofisika Ikerketa Zentroko zuzendaria.
- Jose Ramon Etxebarria, UPV/EHUko irakasle eta ikertzailea, UEUkidea.
- Arkaitz Carracedo, Ikerbasqueko ikertzailea eta CIC bioGUNEen ikerketa-taldeko burua.
- Elin Haf Gruffyd Jones, Aberystwyth Unibertsitateko irakasle eta ikertzailea.

Tailerrak

- «Komunikazioa errazteko teknikak». Amagoia Lauzirika. Jendaurreko komunikazio eta haren gaitasunen garapenerako trebatzailea.
- «Informazioaren irudikapena. Nondik hasi?». Vega Asensio. Biologian doktorea eta Zientzia Bisualean eta Ilustrazio Zientifikoan aditua.
- «Euskaraz hobeto idazteko tailerra». Ander Altuna. UEUren argitalpenen hizkuntza-arduraduna.
- «Ingurune digitalaren inguruko ikerketak diziplina aniztasunaren ikuspegitik: sarea egiten». Errota digitala. Ikerketarako, dibulgaziorako eta formaziorako elkarteak #Audiences #Transmedia #MediaEcology #MinorityLanguages.
- «Bibliografiaren kudeaketa Zotero erabiliz». Juanan Pereira. UPV/EHUko irakasle eta ikertzailea.
- «Ikerketatik irakaskuntzara: gaitasun digitala giltzarri». Amaia Arroyo eta Rakel Gamito. Konpetentzia digitaletan eta on-line irakaskuntzan adituak.

Mahai-inguruak

- «Ikerketa eta politika. Politika eta ikerketa». Gidaria: Josu Amezaga. UPV/EHUko Gizarte eta Komunikazio Zientzien fakultateko irakasle eta ikertzailea. Parte-hartzaileak: Itziar Alkorta (UPV/EHU), MLuz Esteban (UPV/EHU), Inmaculada Arostegi (UPV/EHU), Emilio Majuelo (NUP).
- «Euskarazko aldizkari zientifikoen etorkizuna». Gidaria: Xabier Isasi. UPV/EHUko irakasle eta ikertzailea. Parte-hartzaileak: Belen Uranga (BAT), Asier Vallejo (EKAIA), Aitziber Agirre (ELHUYAR), Karlos del Olmo (SENEZ) eta Gidor Bilbao (UZTARO).

Konpositeen laminarteko hausturaren I/II modu mistoa aztertzen

Boyano Ana¹, Fernández-Gámiz Unai², Ansoategui Igor¹, Uriarte Irantzu¹.

¹Ingeniaritza Mekanikoa Saila

²Ingeniaritza Nuklearra eta Jariakinen Mekanika

Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)

ana.boyano@ehu.eus

Laburpena

Laminatu konpositeen I/II haustura modu mistoa aztertzeko energia askatze tasa baliokide baten hurbilketa berri bat proposatzen. Aurkeztutako hurbilketa balioztatzeko ENFR konfigurazioan norabide bakarreko laminatu konposite batean saiakuntza desberdinak burutzen dira. Pitzadura-hedapenean zehar energia askatze tasa baliokideak hartzen dituen baloreen arabera, materialaren ezaugarria kontsidera daitekeen ala ez ebaluatzen da.

Hitz gakoak: laminarteko haustura, laminatu konpositeak, I/II modu mistoa, pitzadura-hedapena.

Abstract

An equivalent energy release rate is proposed to analyze I/II mixed-mode interlaminar fracture. Different tests in ENFR configuration with unidirectional composite laminate specimens are carried out in order to validate the proposed approach. Based on the values of the equivalent energy release rate during all the crack propagation, whether this approach will be considered a material property or not will be assessed.

Keywords: interlaminar fracture, composite laminates, I/II mixed mode, crack propagation.

1. Sarrera eta motibazioa

Orokorrean, material konpositeak bi fase edo gehiagoz osatutakoak dira. Ezaugarri mekanikoak garrantzitsuak direnean, material konpositea bere ezaugarri mekaniko espezifikoak osagaiek banaka dituztenak baino hobeak izan daitezen diseinatzen da (Gibson 1994).

Egun, konpositeen erabilera ugari dago eta hazten jarraitzen du. Konpositeak, besteak beste, industri aeroespazialean, hegazkinetan, automobilgintzan, itsasuntzietan, energia arloan, azpiegiturretan, biomedikuntzan, eta kirol aplikazioetan erabiltzen dira (Anderson 2005).

Materialak alderatzen direnean, pisu unitateko ezaugarriak erabiltzen dira, espezifikoak deritzonak. Egitura konpositeen kasuan, gerta daiteke, ezaugarri mekanikoak ingeniaritzan erabili ohi diren materialen, esate baterako altzairuaren ezaugarriak baino txarragoak izatea, ezaugarri espezifikoak hobeak direlarik. Egitura konpositeak ohiko materialak baino garestiagoak direnez pisua garrantzi handia duen kasuetan erabiltzen dira.

Laminatu konpositeak beraien artean itsatsita dauden laminaz osatuta daude. Lamina bat matrize batean barneratuta dauden norabide bakarrean kokatutako zuntzez, edo ehun bat osatuz dauden zuntzez osatuta dago. Lamina norabide bakarreko zuntzez osatuta badago norabide bakarreko lamina deitzen da. Orientazio bera duten norabide bakarreko lamina batzuk geruza bat osatzen dute. Laminatu konpositea pilaketa sekuentzia bat jarraituz lotzen diren bi lamina edo gehiagoz osatuta dago. Lan honetan erabiliko den laminatuaren izendapena $[0]_{16}$ da. Norabide bakarreko 16 geruzez osatua dagoela adierazteko (Mujika 2011).

Zuntz errefortzudun konposite materialetan, zuntz errefortzuak laminatuaren planoan hobetzen ditu propietateak baina ez berarekiko elkartuta den planoan. Beraz laminartean pitzadura bat egonez gero, erraz heda daiteke matritetik edota matrize-zuntz aldeartetik. Pitzadura hauen hedapenak propietate mekanikoen galtze garrantzitsua dakar, egun zuntz errefortzudun konposite materialek egituretan erabiliak izateko duten eragozpen nagusia izanik (Anderson 2005).

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Konpositeetan, laminarteko haustura hutsegite modu ohikoenetako bat da. Deslaminazioa maiz modu mistoan ematen denez, modu nahasketa desberdinetan materialaren haustura zailtasuna ezagutzea beharrezkoa da (Kinloch et al. 1993).

Materialaren haustura-zailtasuna, energia askatze tasa kritikoaren bitartez, G_c zehaztu daiteke. Energia askatze tasa, pitzadura hazkundea gertatzeko eskuragarri den energia bezala definitzen da. Pitzadura-hedapena eman dadin, energia askatze tasak bere balio kritikoa gainditu behar du. Beraz, haustura saiakuntzen helburu nagusietako bat, askatutako energia tasa kritikoa zehaztea da (Anderson 2005).

2001ean, American Society for Testing and Materials (ASTM)-k, modu mistoko haustura zailtasuna karakterizatzeko araua argitaratu zuen. Estandarizatutako saiakuntza metodoari modu mistoko makurdura saiakuntza, (the mixed-mode bending, MMB) deritzo (ASTM 2006). Arauan proposatutako saiakuntza bankua, Crews eta Reeder-ek arestian proposatutako baten aldaketa da (Reeder and Crews 1992).

I/II modu mistoko saiakuntzak, konposite laminatueta ez ezik, egurrran (Phan, Morel, and Chaplain 2016) eta itsagarrien bidez lotutako probetetan (Chaves et al. 2014) ere erabiltzen dira.

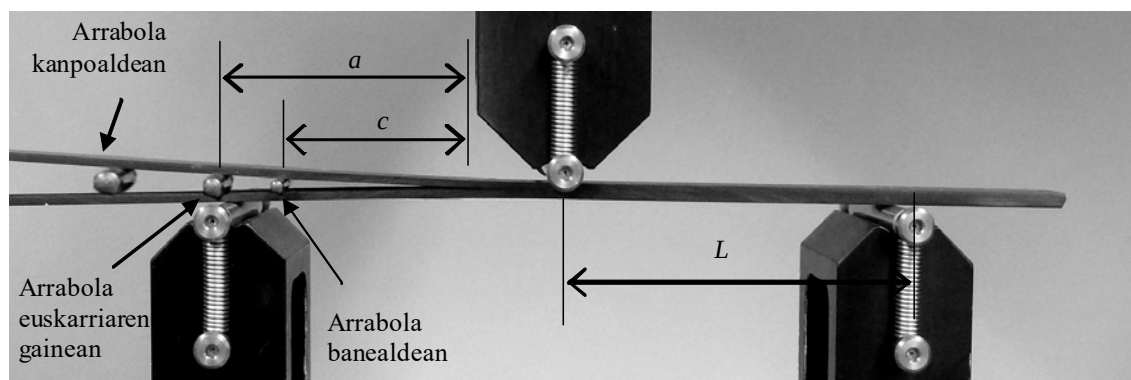
Lan honetan, laminarteko I/II modu mistoa aztertzeke energia askatze tasa baliokide baten hurbilketa aurkezten da. Lan honen helburu nagusia pitzadura hedapenean zehar datu esperimentalak aztertuz, proposatutako hurbilketa hori balioztatzea da.

3. Ikerketaren muina

3.1 ENFR saiakuntzaren deskribapena

Lan honetan erabiltzen den saiakuntza konfigurazioa hiru puntuko makurdura saiakuntzan oinarrituta dago zuntzen norabidean pitzadura duen probeta erabiliz. Saiakuntza Bukaerako pitzadura makurdura arrabolarekin deitzen da, ingelesez End Notched Flexure Test with roller, hortik bere izena: ENFR. Modu mistoa lortzearren, pitzaduraren bi besoen artean metalezko arrabola bat sartzen da. II modua kanpoko kargaren bidez lortzen da, eta I modua edo irekiera lortzeko, pitzaduraren bi besoen artean arrabola bat sartzen da. Arrabolak hiru kokapen izan ditzake: pitzaduraren kanpoaldean, pitzaduraren barnealdean eta euskarriaren gainean, 1 irudian ikus daitekeen moduan.

1. irudia. Saiakuntzaren deskribapena



Energia askatze tasa, pitzadura hazkundea gertatzeko eskuragarri den energia zehazteko, deformazio energia osagarria erabiliko da, indarrak direlako egoera aldagaiak hurrengo adierazpenaren arabera (Boyano et al. 2015):

$$G = \frac{1}{b} \left(\frac{\partial U^*}{\partial a} \right)_{F_i = \text{cte}} \quad (1)$$

Non U^* energia osagarria den. Oreak ekuazioetatik lortutako momento makurtzaileak eta indar ebakitzaileak, (1) ekuazioan ordezkaturik, energia askatze tasa hiru kokapenentzat hurrengo eraz adieraz daiteke (Boyano et al. 2015):

Arrabola kanpoaldean	$G_I = \frac{3R^2 E_f h^3}{4a^4} - \frac{3PRc_o(a^2 - c_o^2)}{4a^4 b} + \frac{3P^2 c_o^2(a^2 - c_o^2)^2}{16a^4 E_f b^2 h^3}$	$G_{II} = \frac{9P^2(a - c_o)^2}{16E_f b^2 h^3}$
Arrabola barnealdean	$G_I = \frac{3R^2 E_f h^3}{4(a - c_i)^4} + \frac{3PRc_i}{4b(a - c_i)^2} + \frac{3P^2 c_i^2}{16E_f b^2 h^3}$	$G_{II} = \frac{9P^2 a^2}{16E_f b^2 h^3}$
Arrabola euskarriaren gainean	$G_I = \frac{3R^2 E_f h^3}{4a^4}$	$G_{II} = \frac{9P^2 a^2}{16E_f b^2 h^3}$

(2)

GI haustura I moduari, irekitze moduari dagokion energia askatze tasa da, eta GII, II moduari, labainketa moduari dagokiona. Hausturaren I/II modu mistoa aztertzean bi moduen ekarpenak daudela suposatzen da, eta energia askatze tasa osoa $G = GI + GII$ da. Modu bakoitzaren ekarpena definitzeko modu-ratioa erabiltzen da, lan honetan GII/G bezala definitzen delarik. Modu-ratioa erabiltzen da saiakuntza mota definitzeko. Ekarpene analitikoa eta modu deskonposaketa Elementu Finitoen Metodoaren bidez balioztatua izan da, bi urratsen hedapen prozedura (TSEP) aplikaturik (Boyano et al. 2015).

3.2 Energia askatze tasa baliokidea G_{eq}

Pitzadura-hedapena soilik gertatzen da, eskuragarri dagoen energia, G , nahikoa bada, pitzadura hazkundera behar duen energiaren hornitzeko (Anderson 2005). Pitzadura handitzeko behar den energiari, energia askatze tasa kritikoa deritzo, G_c . Modu hutsentzat, pitzadura-hedapenaren baldintza kritikoa, hau da, hazkundera gertatuko deneko baldintza honakoa da:

$$\begin{aligned} G_I &\geq G_{Ic} \\ G_{II} &\geq G_{IIc} \end{aligned} \quad (3)$$

Hala ere, I moduak eta II moduak parte hartzen dutenean, energia askatze tasa $G = GI + GII$ da. Baina $G_c \neq GI_c + GII_c$, material bakoitzarentzat eta saiakuntza konfigurazio bakoitzarentzat, dagokion haustura irizpidea kontuan hartu behar da. Horrek suposatzen du energia askatze tasa kritikoa G_c , modu ratioarekiko menpekotasuna duela. Izan ere, modu ratio handia duen saiakuntza batean, G_c -ren balioa, GII_c balioaren antzekoa izango da, eta modu ratio txikia denean, berriz, G_c -ren balioa GI_c balioaren antzekoa izango da. Beraz, nahiz eta GI_c eta GII_c materialaren ezaugarriak izan, G_c ez da.

ENFR konfiguraziorako irizpide lineala baietsi da pitzadura-hedapena adierazteko (boyano2). Beraz, pitzadura-hedapena baldintza honako eran adieraz daiteke:

$$\frac{G_I}{G_{Ic}} + \frac{G_{II}}{G_{IIc}} \geq 1 \quad (4)$$

(4) ekuazioa, (3) ekuazioko antzeko eran adieraziz, pitzadura-hedapena baldintza orduan:

$$G_I G_{IIc} + G_{II} G_{Ic} \geq G_{Ic} G_{IIc} \quad (5)$$

(5) ekuazioko ezkerreko gaia pitzadura hazkundera gertatzeko eskuragarri dagoen energia da, eta eskuineko gaia, pitzadura-hedapena gertatzeko, energia horren balio kritikoa da. (3) ekuazioa eta (5) ekuazioak erkatuz, energia askatze tasa baliokidea G_{eq} , eta energia askatze tasa baliokide kritikoa G_{eqc} hurrengo eran defini daitezke:

$$G_{eq} = (G_I G_{IIc} + G_{II} G_{Ic})^{1/2} \quad (6)$$

$$G_{eqc} = (G_{Ic} G_{IIc})^{1/2}$$

Beraz, esan daiteke pitzadura hedatuko dela, hurrengo baldintza betetzen denean:

$$G_{eq} \geq G_{eqc} \quad (7)$$

3.3 Azterketa esperimentalak

Lan esperimentalean erabili diren probetak karbono zuntzez eta epoxi matrizez osatutako norabide bakarreko T300/F593 konpositeaz fabrikatu dira. Erabili diren probetak prepregetatik abiatu eta konpresio bidez ondutako plaketatik lortu dira, ezarritako fabrikazio-zikloari jarraituz. Pilaketa prozesuan tefloi lamina bat barneratu da, hasierako pitzadura eragiteko asmoz. Bukaerako materiala laminatu moduan erabili denean, probetak laminatuetatik moztu dira diamantuta dagoen zerra zirkular baten bidez. Ondoren zerraren markak kentzeko leungailu batean leundu dira. Saiakuntzak MTS saiakuntzako makinan burutu dira hiru puntuko makurdura tresneriarekin. Azterketa esperimentalak hasi baino lehen probeta bakoitzaren modulu elastikoak kalkulatu dira lortutako balioak honakoak izanik:

$$E_f = 107.4 (\pm 1.4) \text{ GPa}$$

$$G_{LT} = 4.3 (\pm 0.4) \text{ GPa}$$

Probeten dimentsioei dagokienean, probeten luzera 200 mm-koa da. Lodiera (2h) eta zabaleraren (b) balio nominalak, 3 mm eta 15 mm hurrenez hurren. Saiakuntza guztiak 120 mm argiarekin (2L) burutu dira. Saiakuntzak MTS saiakuntza makinan burutu dira, desplazamendu kontrolatua aplikatuz.

Pitzadura luzeraren neurketa malgutasun esperimentalaren aldakuntzan oinarritzen da. Izan ere, pitzadura haztean probetaren zurruntasuna gutxiagotzen da, eta beraz, malgutasuna aldatzen da. Prozedura horrek saiakuntzaren edozein puntutan pitzadura luzera zehaztea ahalbidetzen du, neurketa optikorik gabe (Boyano et al. 2016).

Saiakuntza hasterakoan arrabola pitzaduraren bi besoen artean kokatzen da, eta ondoren probeta bere lekuan kokatzen da. Karga aplikazioa hasten da, eta saiakuntzaren lehenengo fasean probetaren makurdura gertatzen da, baina pitzadura oraindik ez da handitu. Kargaren aplikazioa jarraitzen du eta energia askatze tasa bere balio kritikoa gainditzen duenean pitzadura handitzen hasten da.

P (karga) eta δ (desplazamendua) ezagunak diren puntuetan pitzadura luzera kalkulatu ahal izanik, puntuz-puntu, energia askatze tasak eta energia askatze tasa baliokidea ere kalkulatzeko ahalbidetzen du.

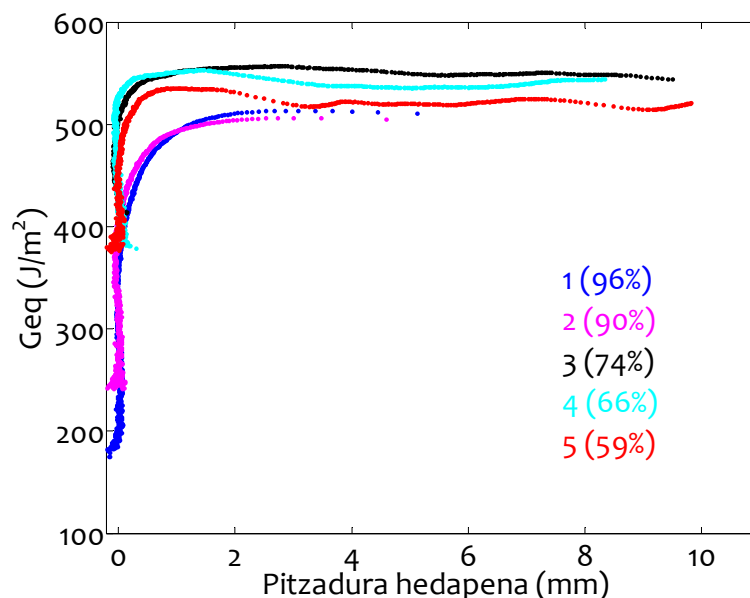
Bost modu-ratio desberdineko saiakuntzak erabili dira energia askatze tasen azterketa esperimentalak burutzeko asmoz, 1 taulan aurkezten dira. Lan honetan erabili den nomenklatura honakoa da: ai-Rj-ck. ai hasierako pitzadura luzera izanik, Rj arrabolaren erradioa, eta ck arrabolaren kokapena definitzen duen parametroaren balioa. Balioa positiboa izango da arrabola pitzaduraren barruan kokatuta dagoenean, eta negatiboa aldiz, arrabola pitzaduraren kanpoaldea dagoenean. Adibidez: a43-R0,9-c8 izanik, 43 mm-ko hasierako pitzadura luzera, R=0.9 mm-ko erradioko arrabola eta 8 mm pitzaduraren barrurantz sartuta. Argitasunagatik, grafikoetan ID zutabearen agertzen den zenbakia erabiliko da.

1. taula. Saiakuntzen baldintza esperimentalen laburpena

ID	NOMENKLATURA	HASIERAKO G_{II}/G (%)
1.	a40-R0,5-c0	96
2.	a31-R0,5-c0	90
3.	a45-R1,5-c0	74
4.	a43-R0,9-c8	66
5.	a38-R0,7-c8	59

Lan honetan proposatzen den (7) ekuazioko G_{eq} -ren balio esperimentalak azaltzen da puntu 2. Irudian.

2. irudia. Energia askatze tasa baliokidearen balio esperimentalak



Energia askatze tasa baliokidearen kurba guztiek balio konstante baterantz jotzen dute. Kurben batzueko balioak 505 eta 555 (J/m²) tartean daude hedapenean zehar. Kurben balio konstante hori, 6.1 Taulan agertzen den $G_{eqc}=550$ (J/m²) balio teorikoarekin bat dator. Energia askatze tasa baliokideari dagokionez, desbideraketa maximoa 1. eta 2. saiakuntzetan ematen da berriro ere, eta errore erlatibo maximoa %8,5 da, balio teorikoarekin alderatuz.

4. Ondorioak

Pitzadura hedapenaren azterketa esperimentalak burutzeko asmoz, ENFR konfigurazioan karbono zuntzez eta epoxi matrizez osatutako norabide bakarreko T300/F593 konpositea erabili da.

Bi moduen elkarrekintza barneratzen dituen proposatutako energia askatze tasa baliokidearen G_{Ic} balio esperimentalak pitzadura-hedapenean zehar balio konstante baterantz jotzen du, eta beraz, materialaren ezaugarria kontsidera daiteke.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Hurrengo urratsa, norabide bakarreko beste material batekin energia askatze tasa baliokidearen egokitasuna konprobatzea litzateke.

6. Erreferentziak

ASTM D6671-01. standard test method for mixed mode I-mode II interlaminar fracture toughness of unidirectional fiber-reinforced polymer matrix composites 2006.

Anderson, T. L. 2005. Fracture mechanics :Fundamentals and applications. 3rd ed.CRC Press.

Boyano, A., J. De Gracia, A. Arrese, and F. Mujika. 2016. Experimental assessment of an end notched flexure test configuration with an inserted roller for analyzing mixed-mode I/II fracture toughness. Engineering Fracture Mechanics 163 (9): 462-75.

Boyano, A., V. Mollón, J. Bonhomme, J. De Gracia, A. Arrese, and F. Mujika. 2015. Analytical and numerical approach of an end notched flexure test configuration with an inserted roller for promoting mixed mode I/II. Engineering Fracture Mechanics 143 (0) (7): 63-79.

Chaves, Filipe J. P., L. F. M. da Silva, M. F. S. F. de Moura, D. A. Dillard, and V. H. C. Esteves. 2014. Fracture mechanics tests in adhesively bonded joints: A literature review. Journal of Adhesion 90 (12): 955-92.

Gibson, Ronald F. 1994. Principles of composite material mechanics. McGraw-hill series in mechanical engineering.McGraw-Hill.

Kinloch, A. J., Y. Wang, J. G. Williams, and P. Yayla. 1993. The mixed-mode delamination of fibre composite materials. Composites Science and Technology 47 (3): 225-37,

Mujika, F. 2011. Mecánica de laminados composites. Bilbao, Spain: KOPIAK, S.A.

Phan, Ngoc Anh, Stéphane Morel, and Myriam Chaplain. 2016. Mixed-mode fracture in a quasi-brittle material: R-curve and fracture criterion – application to wood. Engineering Fracture Mechanics 156 (5): 96-113.

REEDER, JR, and JH CREWS. 1992. Redesign of the mixed-mode bending delamination test to reduce nonlinear effects. Journal of Composites Technology & Research 14 (1) (SPR): 12-9.

Kurkuma deribatudun gelatinazko filmen aktibitate antioxidatzailea

Alaitz Etxabide, Pedro Guerrero, Koro de la Caba

BIOMAT Ikerketa Taldea. Ingeniaritza Kimikoa eta Ingurumenaren Ingeniaritza Saila.
Gipuzkoako Ingeniaritza Eskola. Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea
(UPV/EHU)
alaitz.etxabide@ehu.eus

Laburpena

THC antioxidatzaile natural bat da laktosarekin saretutako gelatinazko filmak eratzeko soluzioan gehitu dena, saretze erreakzioak eta gehitutako bioaktiboak filmen antioxidatzaile ahalmenean nola eragiten duten aztertzeko. Erreakzio kimikoa ematen den heinean konposatu fenolikoak sortzen direnez, laktosarekin erreakzionatutako filmek antioxidatzaile ahalmen (% 88.5) handiagoa erakusten dute laktosa gabeko filmek baino (% 84.5). Gainera, filmen bi aldeetan ordenamendu morfologiko ezberdinak ikusi dira THCren aglomerazio eta saretze erreakzioarengatik. Ondorioz, distira eta leuntasun gutxiagoko gainazalak eratu dira.

Hitz gakoak: Gelatina, laktosa, saretze erreakzioa, THC, XPS, inhibizioa

Abstract

THC is a natural antioxidant which was incorporated into the film forming solutions of lactose crosslinked gelatin films in order to analyze the effect of the reaction and the addition of the bioactive in the antioxidant capacity of gelatin films. Since phenolic compounds are formed during chemical crosslinking of gelatin film, they showed higher antioxidant capacity (88.5 %) than films prepared without lactose (84.5 %). Furthermore, morphological changes were observed in both surfaces of gelatin films due to THC agglomeration and crosslinking, leading to less glossy and rougher surfaces.

Keywords: Gelatin, lactose, cross-linking, THC, XPS, inhibition

1. Sarrera eta motibazioa

Gelatina ugaria, erabilgarria, merkea, biobateragarria eta biodegradagarria den proteina mota bat da aplikazio ugarietan erabiltzen dena. Aurkeztutako propietate hauek oso interesgarriak dira biomedikuntza bezalako aplikazioetarako. Gelatina ordea, uretan oso erraz disolbatzen den materiala da eta ondorioz, gelatinaren urarekiko portaera higroskopikoa arazotzat hartzen da. Urarekiko erresistenteagoa den materiala polimero kateen saretze erreakzio bidez lortu daiteke. Maillard izeneko erreakzioa proteina eta azukreen nahastea berotzerakoan lortzen den erreakzio natural bat da, gelatinaren disolbagarritasuna nabarmenki txikitzeko erabili dena (Etxabide et al., 2015a). Azukrearen karbonilo taldearen eta proteinaren amino taldeen artean gertaturiko kondentsazio erreakzio honetan propietate antioxidatzaileak dituzten konposatu aromatikoak sortzen direla ikusi da (Hong et al., 2014; Karnjanapratum et al., 2016; Samira et al., 2014). Bestalde, gelatina konposatu aktiboak askatzeko garraiatzaile gisa erabili daiteke (Kowalczyk eta Biendl, 2016; Tongnuanchan et al., 2013). Gaur egun naturalak diren konposatu aktiboak erabiltzea nahiago da eta landareak medikuntzan, industria farmazeutikoan eta elikagaietan erabiltzeko antioxidatzaileak diren balio handiko konposatu fenolikoak lortzeko iturri direla ikusi da (Bandyopadhyay et al., 2012; Freile-Pelegriñ eta Robledo, 2014). Tetrahidrokurkumina (THC) kolore eta zapore gabeko konposatu aktibo bat da antioxidatzailea izateaz gain antikantzerosoa, antidiabetikoa eta anti-hanturazkoa ere dena. Beraz, laktosa bidezko saretze erreakzioa eman den gelatinazko filmetan THC konposatua gehitzeak proteina mota hau medikuntzan erabiltzeko material aproposa bilaka dezake.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburua

Ekonomia zirkularra sustatzeko asmoz, non prozesu amaierako hondakina lehengai bihurtzen den ziklo ekonomiko etengabe eta jasangarrian bueltaka jarraituz, eta beraz zero-zabor sortuz, ikerketa honek industria-hondakinetatik edota elikagaien osagaietatik eratorritako hondakinak aprobeztatzea du helburu. Izan ere, berriro ere lehengai bihurtzen diren produktuak elikadura, medikuntza eta kosmetikorako baliogarriak izan daitezke. Konposatu bakoitzaren propietateak hobetzeko, materialak elkarren artean nahasi egiten dira, hainbat sistema sortuz. Ikerketa honek, medikuntzarako gelatinazko filmak sortzea du helburu. Proteina honen urarekiko portaera ahula eta propietate antioxidatzaileak hobetzeko asmoz, saretze erreakzioa sustatuko duten laktosa erreaktiboa eta propietate

antioxidatzaileak hobetuko dituen THC konposatua gehitu dira. Beraz, saretze erreakzioak eta konposatu antioxidantzailearen gehikuntzak gelatinazko filmen gainazalean eta propietate antioxidantzaileetan duten eragina aztertu da.

3. Ikerketaren muina

3.1 Materialak eta metodoak

Materiala

Arrain gelatina izan da ikerlan honetan erabili den oinarritzko materiala. % 11,06ko hezetasuna eta % 0,15ko errautsak ditu eta Weishardt Internatioalek (Eslovakia) ekoiztutakoa da. Gehigarri moduan, glizerola eta laktosa (Panreac, Bartzelona) erabili dira, plastifikatzaile eta saretze erreaktibo gisa, hurrenez hurren, eta tetrahidrokurkumina (THC) (Sabinsa Corporation, New Jersey, USA) aldiz konposatu antioxidantzaile bezala gehitu da.

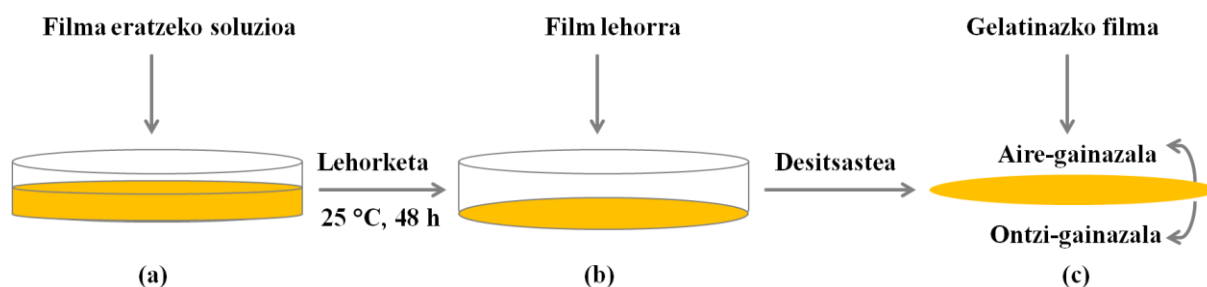
Filmen prestaketa

Gelatinan oinarrituriko filmak disoluzio metodoa erabiliz prestatu dira. Lehenengo, arrain gelatina 5 g eta % 20 laktosa (portzentajearen arabera pisua, gelatina idorrarekiko) 100 mL ur distilatuan nahastu dira eta jarraian, 80 °C-an eta 200 bira minutuko abiaduran, 30 minutuz berogailu magnetiko batean irabiatzen utzi da nahastea. Ondoren, % 10 glizerola eta % 5 THC duen nahastea gehitu da eta NaOH (1 N)-arekin pH-a 10an finkatu da. Nahastea ultrasoinu ekipoan giro tenperaturan 5 minutuz utzi da eta ondoren beste 30 minutuz 80 °C-an eta 200 bira minutuko abiaduran irabiatzen utzi da berogailu magnetikoan. Azkenik, nahastea Petri ontzietan banatu da disoluzioko ura giro tenperaturan lurruntzeko eta filmak sortzeko. Film lehorrak Petri ontzietatik desitsatsi ondoren, 105 °C-an 24 orduz bero tratamendua jaso dute gelatina eta laktosaren arteko erreakzioa sustatzeko. Ondoren, saretze erreakzioak eta THCren gehitzeak gelatinazko filmen gainazalean eta propietate antioxidantzaileetan izan duten eragina aztertu da. Filmek gainazalak X izpien espektroskopia fotoelektrikoaren (XPS), mikroskopia optikoaren (MO) eta distiraren neurketen bidez aztertu dira. Gero, filmak metanol (MeOH) soluzioan murgildu dira THCren askatzea ikusgai-ultramareko espektroskopia (UV-vis) bidez aztertzeko eta bioaktiboaren ahalmen antioxidantzailea fenolikoen guztizko edukia (TPC) eta DPPH erradikalak ezabatzeko aktibitatea neurtuz aztertzeko (Etxabide et al., 2017).

3.2 Emaitzak eta eztabaida

Disoluzio metodoaz lorturiko THC duten gelatinazko filmak (G) eta laktosadun gelatinazko filmak (GL) gainazal ezberdinak aurkezten dituzte lehortze prozesuan filmak Petri ontziaren gainazalarekin edo airearekin kontaktuan egon ostean (**1. irudia**). Horregatik, filmen gainazalen azterketa XPS, MO eta distiraren neurketa bidez egin da.

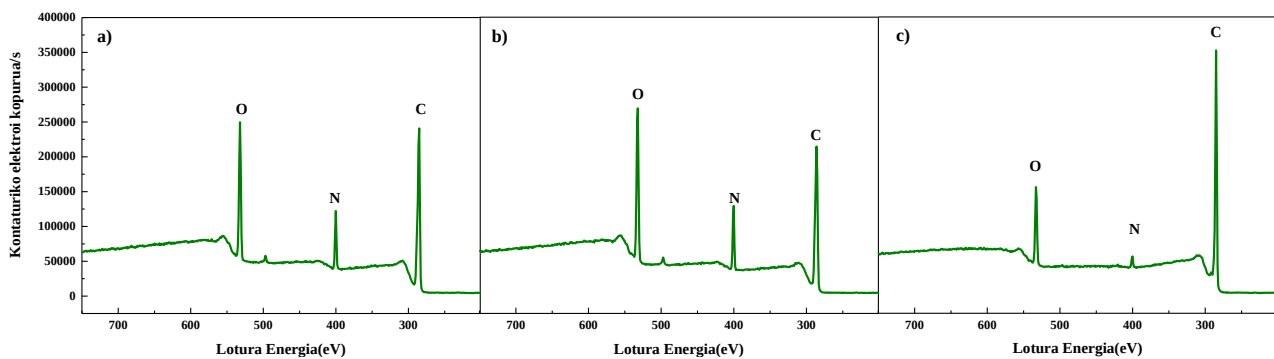
1. irudia. Gelatinazko filmak lortzeko disoluzio metodoaren eskema.



XPS bidez lorturiko emaitzak **2. irudian** aurkezten dira eta kasu guztietan 3 banda ezberdin identifikatu daitezke; C 1s (284.6 eV), N 1s (398.8 eV) eta O 1s (532.0 eV) (Deligianni et al, 2001). Laktosa gabeko filmetan saretze erreaktziorik ez dagoenez, bi gainazalen artean ez da ezberdintasunik ikusten (**2. irudia** a). Laktosadun filmetan ordea, aire-gainazalaren (**2. irudia** b) eta ontzi-gainazalaren

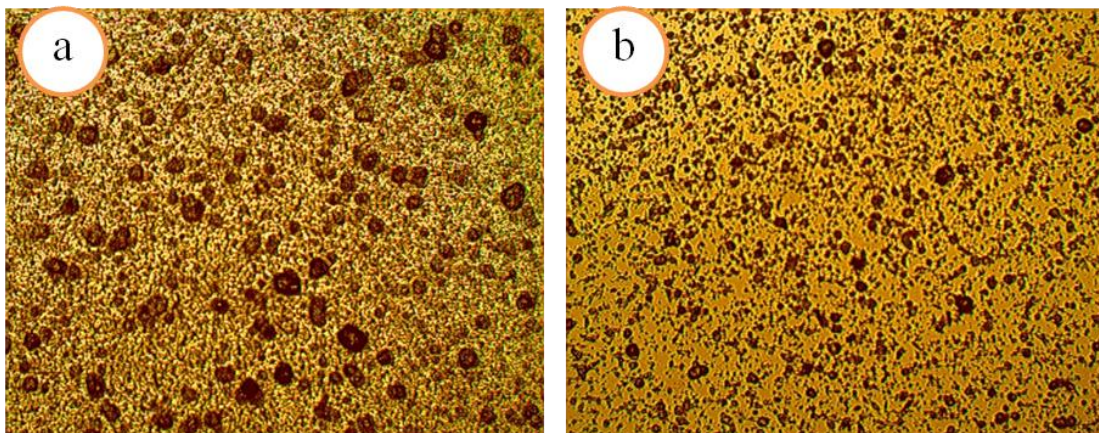
(2. irudia c) arteko ezberdintasuna nabaria da. Izan ere, N 1s banda, matrize organikoetako nitrogenoaren banda bereizgarria, ia guztiz desagertzen da laktosadun filmen ontzi-gainazalean. Bandaren desagertzea gelatinaren nitrogeno taldeen eta laktosaren karbonilo taldeen arteko saretze erreakzioarekin erlazionatu daiteke, zeinek proteinaren konformazioa aldatu dezakeen, gainazalean aldaketak emanez. Gainazalen arteko ezberdintasuna THCren disolbagarritasun baxuagatik izan daiteke. Filmaren lehortze prozesuan zehar THC aire-gainazalean pilatzen da eta honek filmen bero tratamenduan zehar ematen den gelatina eta laktosaren arteko erreakzioa oztopatzen du. Saretze erreakzioa ematen denean C 1s bandaren intentsitatearen handitzea eta O 1s bandaren intentsitatearen txikitzea gertatzen dela ikusi da (2. irudia c).

2. irudia. a) gelatinazko filmen (G) eta b) aire-gainazala eta c) ontzi-gainazala duten laktosadun gelatinazko filmen (GL) XPS espektroak.



Laktosaren gehikuntzak filmen aire-gainazalean duen eragina ikusteko MO bidez filmak aztertu dira (3. irudia). G filmetan (3. irudia a) THC aglomeratuen tamaina handiagoa dela ikusi da eta ondorioz gainazala leunagoa da (distira $35 \pm 1^\circ$). Izan ere, saretze erreakziorik ez dagoenez, gelatinaren amino talde libre gehiago daude. Talde libre hauek THCrekin hidrogeno-zubi bidezko loturak sortu ditzakete, THCren aglomerazioa eraginez. Laktosa duten filmen aire-gainazalean ordea (3. irudia b), gelatina eta laktosaren arteko saretze erreakzioarengatik THCrenkin lotura fisikoak sortzeko amino talde libre gutxiago daude. Ondorioz, tamaina txikiagoko aglomeratu gehiago sortzen dira, latzagoa den gainazala erakutsiz (distira $25 \pm 2^\circ$).

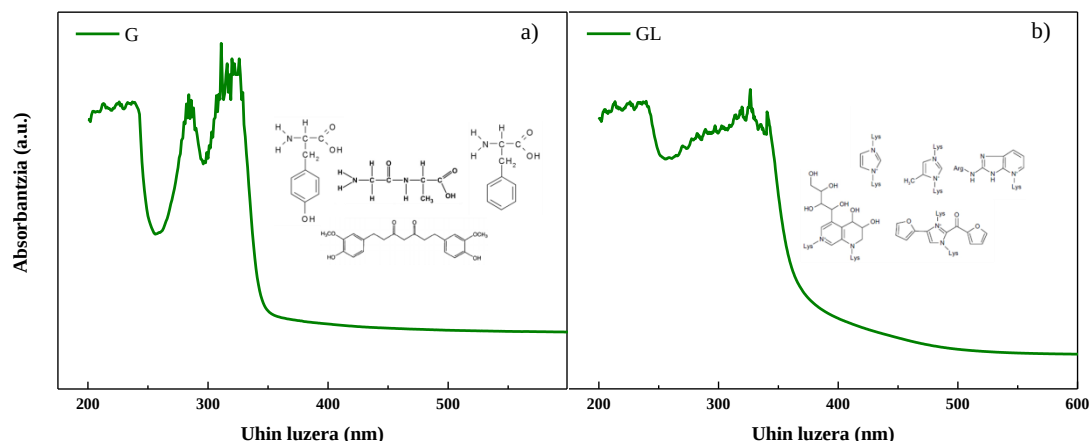
3. irudia: a) gelatinazko filmen (G) eta b) laktosadun gelatinazko filmen (GL) aire-gainazala.



Gelatina eta laktosaren arteko saretze erreakzioaren zeharkako analisia egiteko filmek argi ultramorea absorbatzeko duten gaitasuna aztertu da. 4. irudian ikusi daitekeen moduan, G filmek argi ultramorea absorbatzeko propietate oso onak aurkeztu dituzte, gelatinaren berezko lotura peptidikoengatik (200-250 nm), aminoazido aromatikoengatik, hala nola, tirosina eta fenilalanina

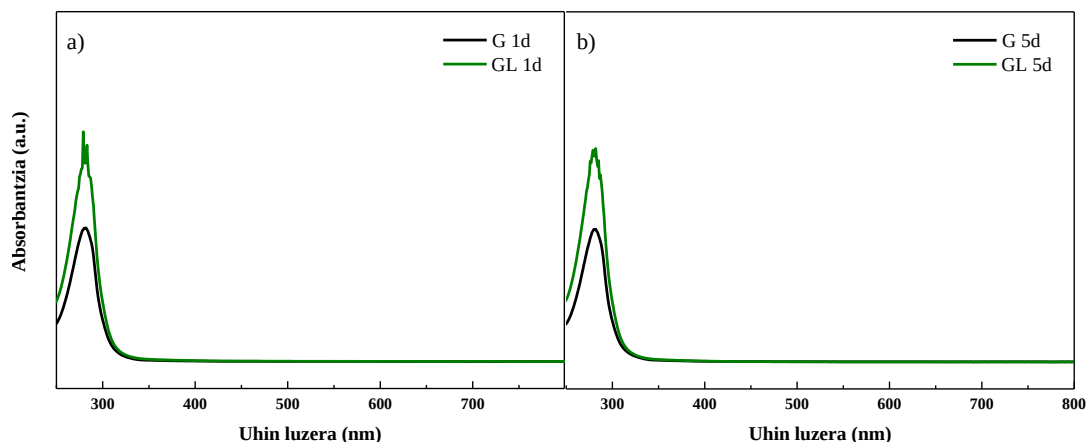
kromoforoak (250-300 nm) (Samira et al., 2014) eta gehituriko THCrengatik (280 nm) (Portes et al., 2009). Laktosa duten filmak aldiz gai dira uhin-luzera handiagoetan UV argia xurgatzeko. Izan ere, saretze erreakzioaren ondorioz aminoazido konposatu aromatikoaren kantitatea igotzen da (250-300 nm) eta egitura konjugatu berriak sortzen dira (300-420 nm).

4. irudia. UV-vis argia absorbatzeko gaitasuna a) gelatinazko filmetan (G) eta b) laktosadun gelatinazko filmetan (GL).



Saretze erreakzioan sorturiko konposatu aromatikoaren eta gehituriko THCren propietate antioxidatzaileak aztertze asmoz, G eta GL filmak bost egunez metanol (MeOH) soluzioan murgildu dira eta ondoren ingurune likido UV-vis bidez aztertu da. **5. irudian** ikusten den moduan, GL filmak murgilduta egon diren inguruneak absorbantzia balio handiagoak aurkezten ditu 280 nm-ko uhin-luzeran G filmak murgilduta egon diren ingurune likidoak baino. Absorbantziaren handitzea gelatina eta laktosaren arteko saretze erreakzioan sorturiko disolbagarriak diren konposatu fenolikoaren askapenarekin erlazionatu daiteke (Monti et al., 1999; Monti et al., 2000). Aipatzeko da, denboran zehar ez dela absorbantzia aldaketarik ikusi (**5. irudia** b), lehenengo egunean konposatuaren gehienezko askapen eman dela adieraziz.

5. irudia. Metanolaren (MeOH) UV-vis argia absorbatzeko gaitasuna gelatinazko filmak (G) eta laktosadun gelatinazko filmak (GL) a) egun batez eta b) bost egunez murgilduta egon ostean.



Aipaturiko emaitzak bat datoz filmen murgilketa ostean neurturiko masa galerekin (**1. taula**). Ikusi daitekeen moduan, GL filmek G filmek galdutako masaren bikoitza galdu dute. Ezberdintasun hau saretze erreakzioan sorturiko konposatu disolbagarriekin edota erreakzionatu ez duen laktosaren askatzearekin erlazionatu daiteke, aurreko lanean ikusi dugun bezala (Etxabide et al., 2015b).

1.taula. Gelatinazko filmen (G) eta laktosadun gelatinazko filmen (GL) masa galera, azido galikoaren baliokidea (GAE), inhibizioa (I) eta butilhidroxitoluenoaren baliokidea (BHTE).

Filma	Masa galera (%)	GAE (mg/L)	I (%)	BHTE (mg/L)
G	8,20 ± 0,01 ^a	29,7 ± 1,4 ^a	84,5 ± 1,5 ^a	198,0 ± 1,1 ^a
GL	15,14 ± 0,02 ^b	43,2 ± 2,3 ^b	88,5 ± 0,3 ^b	425,7 ± 17,1 ^b

Filmek askaturiko fenoliken guztizko edukia aztertzerakoan GL filmek G filmek baino konposatu fenoliko gehiago liberatu dituztela ikusi daiteke. Hau G eta GL filmen morfologian ikusitako ezberdintasunekin erlazionatuta egon daiteke. Esan dezakegu saretze erreakzioan zehar konposatu fenolikoak sortzeaz gain, saretzeak THC konposatuaren askatzean lagundu duela. DPPH erradikalak ezabatzeko aktibitateari dagokionez, GL filmek inhibizio (I) balio handiagoak (% 88.5) erakutsi dituzte G filmek baino (% 84.5), masa galarekin eta askaturiko konposatu fenoliken balioekin bat etorritik.

4. Ondorioak

Gelatina eta laktosaren arteko erreakzio kimikoak THC konposatua duten gelatinazko filmen egituraren eragiten du, distira gutxiagoko eta ondorioz latzagoa diren gainazalak sortuz. Soluzio metodoaz prestatutako gelatinazko materialen XPS analisiak filmen bi gainazalen artean ezberdintasunak erakusten ditu, aire-gainazalean eman den THCren aglomerazioarengatik. Gelatinazko filmen ahalmen antioxidatzaileari dagokionez, laktosadun gelatinazko filmek (GL) fenoliken guztizko edukia eta erradikalak ezabatzeko aktibitate handiagok erakusten dituzte gelatinazko filmek (G) baino. Ezberdintasun hau gelatina eta laktosaren arteko saretze erreakzioan sorturiko disolbagarriak diren konposatu aromatikoekin eta THCren askapenaren erraztearekin erlazionatu da.

5. Etorkizunerako planteatzeko den norabidea

Gelatinaren urarekiko erresistentzia eta propietate antioxidatzaileak nabarmenki hobetu ostean, filmen biobateragarritasuna eta THCren sendagai efektuak giza gorputzean zein diren aztertzea da hurrengo pausua. Horretarako, *in vitro* eta *in vivo* saiakuntzak burutu nahi dira gelatinazko film hauek ehun-ingeniartzan erabilgarriak izan daitezkeen.

6. Erreferentziak

- Bandyopadhyay, P., Ghosh, A.K., eta Ghosh, C. (2012). Recent developments on polyphenol-protein interactions: effects on tea and coffee taste, antioxidant properties and the digestive system. *Food & Function*, 3, 592-605
- Deligianni, D.D., Katsala, N., Ladas, S., Sortirpoulou, D., Amedee, J., eta Missirlis, Y.F. (2001). Effect of surface roughness of the titanium alloy Ti-6Al-4V on human bone narrow cell response and on protein adsorption. *Biomaterials*, 22, 1241-1251.
- Etxabide, A., Coma, V., Guerrero, P., Gardrat, C., eta de la Caba, K. (2017). Effect of cross-linking in surface properties and antioxidant activity of gelatin films incorporated with a curcumin derivative. *Food Hydrocolloids*, 66, 168-175.
- Etxabide, A., Uranga, J., Guerrero, P., eta de la Caba, K. (2015a). Improvement of barrier properties of fish gelatin films promoted by gelatin glycation with lactose at high temperatures. *LWT-Food Science & Technology*, 63, 315-321.
- Etxabide, A., Urdanpilleta, M., Guerrero, P., eta de la Caba, K. (2015b). Effects of cross-linking in nanostructure and physicochemical properties of fish gelatins for bio-applications. *Reactive & Functional Polymers*, 94, 55-62.
- Freile-Pelegrín, Y., eta Robledo, D. (2014): Bioactive phenolic compounds from algae, In B. Hernández-Ledesma, eta M., Herrero (arg.), *Bioactive compounds from marine foods: plant and animal sources*, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, 131-152.

- Hong, P.K., Gottardi, D., Ndagijimana, M., eta Betti, M. (2014). Glycation and transglutaminase mediated glycosylation of fish gelatin peptides with glucosamine enhance bioactivity. *Food Chemistry*, 142, 285-293.
- Karnjanapratum, S., O'Callaghan, Y.C., Benjakul, S., eta O'Brien, N.M. (2016). In vitro cellular bioactivities of Maillard reaction products from sugar-gelatin hydrolysate of unicorn leatherjacket skin system. *Functional Foods*, 23, 87-94.
- Kowalczyk, D., eta Biendl, M. (2016). Physicochemical and antioxidant properties of biopolymer/candelilla wax emulsion films containing hop extract-A comparative study. *Food Hydrocolloids*, 60, 384-392.
- Monti, S.M., Borrelli, R.C., Ritieni, A., eta Fogliano, V. (2000). A comparison of color formation and Maillard reaction products of a lactose-lysine and lactose-N(alpha)-acetyllysine model system. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 48, 1041-1046.
- Monti, S.M., Ritieni, A., Graziani, G., Randazzo, G., Mannina, L., Segre, A.L., eta Fogliano, V. (1999). LC/MS analysis and antioxidative efficiency of Maillard reaction products from a lactose-lysine model system. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 47, 1506-1513.
- Portes, E., Gardrat, C., Castellan, A., eta Coma, V. (2009). Environmentally friendly films based on chitosan and tetrahydrocurcumin derivative exhibiting antibacterial and antioxidative properties. *Carbohydrate Polymers*, 76, 578-584.
- Samira, S., Thuan-Chew Tan, T.C. eta Azhar, M.E. (2014). Effect of ribose-induced Maillard reaction on physical and mechanical properties of bovine gelatin films prepared by oven drying. *International Food Research Journal*, 21, 269-276.
- Tongnuanchan P., Benjakul, S., eta Prodpran, T. (2013). Physico-chemical properties, morphology and antioxidant activity of film from fish skin gelatin incorporated with root essential oils. *Journal of Food Engineering*, 117, 350-330.

7. Eskerrak eta oharrak

Egileek, Euskal Herriko Unibertsitateak UPV/EHU (GIU15/03 ikerketa taldea) eta Gipuzkoako Foru Aldundiak (OF215/2016 (ES)) emandako diru laguntza eskertzen dute. Alaitz Etxabidek, UPV/EHU-k ikerketarako emandako diru-laguntza (PIF13/008) eta Laboratoire de Chimie des Polymères Organiques (LCPO) ikerketa taldea eskertzen ditu.

Web elkarrekintzan erabilitako gailuen detekzio automatikoa

Iñigo Perona Balda¹, Ainhoa Yera Gil¹,

Olatz Arbelaiz Gallego¹, Javier Muguerza Rivero¹,

Juan Eduardo Pérez López² eta Xabier Valencia Parafita²

¹ Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU). Aldapa: <http://aldapa.eus/>.

² Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU). Egokituz: <http://egokituz.eus/>.

Laburpena

Gaur egun digitalki trebeak izatearen garrantziak, behar bereziak dituzten pertsonak gailu digitalak eta aplikazioak erabiltzen prestatu beharra ekarri du, eta honekin batera webgunearekin duten elkarrekintza beraien beharretara automatikoki egokitzearen beharra ere agertu da. Lan honek azken puntuak jartzen du begia, erabiltzailearen nabigazio ezaugarri garrantzitsuak identifikatzean eta konputagailuarekin elkarrekintza burutzeko erabili den gailuan. Zehazki, erabiltzailearen web elkarrekintzatik eratorritako datuetan oinarrituz eta datu meatzaritza konputazio-prozesu osoa aurrera eramanez erabiltzaileek erabili dituzten gailuak identifikatzeko gai den sistema eraiki da. Sistema honek, nabigazio erantzun antzekoa duten gailuen multzoak %99.22-ko zehaztasun-tasaz desberdintzen ditu.

Hitz gakoak: datu meatzaritza, ikasketa automatikoa, web-irisgarritasuna, web moldakorra.

Abstract

Nowadays the importance of digital competences makes important to capacitate people with disabilities in the use of digital devices and applications, and moreover, to adapt the site interaction to their necessities automatically. This work focuses on the latter, identifying important user characteristics and the device being used to interact with the computer. Based on web user interaction data, the complete data mining process has been carried out to build a system able to identify the used device. This system has obtained %99.22 of accuracy distinguishing between groups of devices with similar navigational response.

Keywords: data mining, machine learning, accessibility, adaptive web.

1 Sarrera eta motibazioa

Azken hamarkadetakoa joera aldaketek sarearen erabilera eta bertan biltzen den informazioa izugarri ugaritzea ekarri dute. Honek webguneak baliabide garrantzitsu bilakarazi ditu, bai heuretara sartuz informazioa bilatzeko edo eta jendarteko komunikazio eta parte-hartze prozesuak aurrera eramateko. Hau dela eta, gaur egun, edonork digitalki moldatzeko trebetasuna baduela oinarritzotzat hartzen da. Testuinguru honetan, bereziki garrantzitsua da behar bereziren bat duten pertsonak gailu digitalak eta bertako aplikazioak erabiltzean prestatzea eta ohitzea, eta era berean, webgunearekin duten elkarrekintza euren beharretara egokitzea nabigazioa errazteko asmoz.

Zoritarrez, teorikoki irisgarritasun baldintzak betetzen dituen web-diseinu batek ez du ziurtatzen behar bereziko pertsonak webgunean erraztasunez nabigatzeko dutenik. Testuinguru honetan, webgunea erabiltzailearen beharretara egokitzea ezinbestekoa bilakatzen da. Egokitzapen hauek erabiltzaile bakoitzari eginarazitako berariazko galdetegi baten emaitzen arabera zehatz daitezke, baina egokitzapen hauen egingarritasuna erabiltzaileek galdetegian duten parte-hartzera dago murriztua. Gainera, web aplikazio orokorretan oso erraza da erabiltzaile profil guzti-guztiak aurretik definitzean huts egitea Dillon (2001) lanean ikus daitekeen moduan.

Egokitzapenak proposatzeko beste aukera bat erabiltzailea eta webgunearen arteko elkarrekintza datuak aztertzeetik ondorioztatutakoaren arabera proposatzea da. Aukera hau orokorragoa, erabiltzailearentzat gardena eta beraz, erabiltzaile guztiei aplikagarria da.

Erabiltzaile bati beren-beregi eginiko egokitzapenek erabiltzaile horren ezaugarrietan oinarritu behar ko dute, nabigatzean dituen arazoetan etab. Testuinguru honetan, elkarrekintza gauzatzen ari den unean bertan nabigazio arazoak eta erabili den gailu mota detektatzea beharrezko lehen urratsak dira. Hone-la gero, erabiltzaileari webgunea automatikoki egokitzea posible izan dadin eta beraz, bere web-bisita esperientzia hobetu dadin.

Helburu hauek lortzeko, web meatzaritzako teknikak erabiltzeak abantaila asko ematen ditu Liu (2006) liburuan zehazten denez: erabiltzaileak bere datuak ez ditu zertan esplizituki eman behar, benetako nabigazioetatik lorturiko datu estatistikoetan oinarritzen dira (suposizio okerren probabilitatea jaisten da) eta sistema moldakorrak dira (erabiltzailearen ezaugarriak aldatzen diren heinean, biltzen diren datuak ere aldatuko dira, eta honek, interakzio eskema automatikoki aldatuko du). Erabiltzailea urritasun fisikoa, sensoriala edo kognitiboa duen pertsona denean, datu meatzaritza da erabiltzaileari buruzko erabilera-ohitaren informazioa eskuratzeko edo bere ezaugarriak deduzitzeko modu errazena eta askotan bakarra.

Lan honetan, erabiltzaileek nabigatzen duten bitartean darabilten gailuak automatikoki detektatzeko hastapeneko sistema aurkezten dugu. Sistema hau Remotest tresnan, Valencia *et al.* (2015) lanean aurkeztua, bildutako datuetan oinarritzen da, non erabiltzailearen elkarrekintza datu asko biltzen diren. Proposatutako sistemak datu meatzaritzako konputazio-prozesu osoa jarraitzen du. Lehenik, datuak bildu eta web-irisgarritasuneko adituekin eginiko bileretan ezaugarri deskribatzaile zerrenda bat definitu zen. Gero, ezaugarri erauzte eta kalkulatzeko sistema eraiki zen. Eta azkenik, ikasketa automatikoko algoritmo ezberdinak, ezaugarriak detektatzeko aukera batzuekin uztarturik, nabigatzean erabilitako gailuak ezberdintzeko gai izango zen sistema eraikitzeko erabili ziren.

Emaitzek erakusten dute Remotest tresnaz bildutako datuei datu meatzaritzako prozesu osoa aplikatzea etorkizun oneko estrategia dela automatikoki erabiltzailearen ezaugarriak detektatzeko eta gero honi beren-beregi egindako egokitzapenak proposatzeko.

Artikulu honek hurrengo atalean, datuak biltzeko erabilitako tresna eta datu-basearen eraketa deskribatuz jarraituko du. 3. atalean sailkatzaileen eraketa eta ebaluazioa aztertuko dira. Azkenik, ondorioak eta etorkizuneko lanak zerrendatuko dira 4. atalean.

2 Datuen prestaketa

2.1 Datuen bilketa

Valencia *et al.* (2015) lanean aurkezturiko Remotest plataformak ikertzaileei beharrezko funtzionalitateak eskaintzen dizkie euren web nabigazioan oinarrituriko esperimenduak definitzen laguntzeko, hala nola, laborategian bertan eginiko edo urruneko web saioak maneiatzeko aukera edo eta bildutako elkarrekintza datuak aztertzeko aukera ematen die. Honengatik plataforma honek esperimendu aukera anitz onartzen ditu. Plataforma honen arkitekturak alde biko arkitektura hibrido bat jarraitzen du non funtzio batzuk bezeroaren aldeko moduluetan eta beste batzuk zerbitzariaren aldeko moduluetan burutzen diren. Plataforma hau lau modulutan banatzen da: esperimendatzailearen modulua (EXm), parte-hartzailearen modulua (PAm), koordinatzailearen modulua (COM) eta emaitzak ikusteko modulua (RVm).

Nahiz eta RVm moduluak datu batzuk prozesatu eta ikustarazten dituen, lan honetan proposaturiko sistema eraikitzeko zuzenean elkarrekintza unitatearekin lan egin da, hau da, PAm moduluak bildutako elkarrekintza gertaerekin: kurtsore mugimenduak, tekla sakaketak, leiho korritzeak, klikak etab.

Lan honetarako datu iturburu izan den estudioan hamabost norbanakok hartu zuten parte. Hauek bost taldetan sailkatu ziren nabigatzean apuntatzeko eta klikatzeko ekintzak burutzeko erabilitako sarreragailuaren arabera: (a) hatzez sakatze zuten bi teklatu erabiltzaile (HatzzezTeklatu), (b) buru-adarrez sakatzen zuten bi teklatu erabiltzaile (AdarrezTeklatu), (c) trackball erabiltzaile bat (trackball), (d) lau joystic erabiltzaile (joystic) eta (e) sei sagu erabiltzaile (sagua).

Lehen lau taldeetako norbanako guztiak (a, b, c eta d) narriadura motorea zuten parte-hartzaileak ziren eta gehienek ordenagailua egunero erabiltzen zazpi urtetik gorako esperientzia zuten. Aldiz, azken norbanakoen taldeak (e) ageriko behar berezirik ez zuten erabiltzaileak bakarrik biltzen zituen eta hauek ere, saguarekin ordenagailua egunero erabiltzen zazpi urtetik gorako esperientzia zuten.

Erabilitako makinari dagokionez, 64 biteko Windows 7 bertsioa martxan zuen Dell Precision M6700 eramangarri bera erabili zen saio guztietarako. Erabiltzaileei ataza-estimuluak aurkezteko 16:10 proportziodun zabalera zuen LCD monitore gehigarri bat erabili zen, bere diagonalaren luzera 24 hazbete zelarik

eta bistaratze bereizmena 1920 x 1200 pixeletara finkatu zelarik. Makina honetan Mozilla Firefox nabigatzailea erabili zen, eta bertan, kurtsoarentzat alegiazko laguntzak inplementatuak zituzten gehigarriak instalatu ziren.

Estudioa hasi aurretik parte-hartzaileei euren kurtsoa doitzeari gomendatu zitzaion hartara adierazle honen mugimendu-portaera euren beharretara egoki zezaten. Atazak egikaritzeko a, b, c eta d taldeko norbanakoek euren sarrera-gailu pertsonalak erabili zituzten. Behar berezirik ez zuten parte-hartzaile guztiek (e taldeak) USB sagu optiko bera erabili zuten (Dell M-UVDEL1).

Esperimenturako bi webgune ezberdin aukeratu ziren ataza-estimulu gisa: behar bereziko pertsonen zuzendutako informazioa eskaintzen duen Discapnet¹ webgunea, eta instituzio baten webgunea, Gipuzkoako Foru Aldundiaren² webgunea hain zuzen. Hirugarren bat ere erabili zen parte-hartzaileek kurtso berriaren alegiazko areagotzeak erabiltzen ikas zezaten. Horretarako, Bidasoa-Txingudi badiari buruzko informazioa duen Bidasoa Turismo³ webgunea erabili zen. Hiru webguneek ziurtatzen zuten irisgarriak izateko WCAG 1.0 gidalerroak betetzen zituztela maila batean ala bestean: Discapnetek AA mailan, Gipuzkoak A mailan eta Bidasoak A mailan.

2.2 Datu-basearen eraketa eta ezaugarrien aukeraketa

Proposaturiko gailuak detektatzeko sistemaren diseinuak datu meatzaritzaren prozesu osoa du oinarrian. Datu-basea eratzeke web-irisgarritasuneko adituekin lehen bilerak egin ostean, Remotest-ek bildutako datuetatik erauzi beharreko ezaugarriak zehaztu ziren. Ondoren, ezaugarri hauek kalkulatu eta erauziko zituen sistema eraikiko zelarik.

Erabiltzaileak webgunearekin zuen elkarrekintza informazioa Remotest tresnaz bildu zen, eta hortik datu-basea etiketatu bat sortuko zen, gero, gainbegiraturako sailkatzaileen testuinguruan erabiliko zena. Datu-basea sortu ahal izateko esperimenduek ziharduten bitartean erabiltzaileetako bakoitzaren elkarrekintza moduak bisitatutako web-orri ezberdinetan antzekoak zirela ontzat jo zen, eta baita elkarrekintza hau nolabait erabiltzailea erabiltzen ari zen gailu motaren menpekoea zela ere. Beraz, erabilitako gailua, datu-baseko kasuak etiketatzeko erabili zen, honela bost klaseko datu-basea sortuz: hatzez teklaturak, buru-adarrez teklaturak, trackball, joystick eta sagua.

Sortutako datu-baseko sarrera bakoitzak erabiltzaile batek bisitatutako web-orri bakoitzean egindako elkarrekintzaren laburpen bat du. Elkarrekintza hau laburki deskribatzeko asmoz, web-irisgarritasun adituek ahalik eta ezaugarri esanguratsu gehien erauzteko ahalegina egin zuten. Zehazki 19 ezaugarri-igarle erauzi ziren 1. taulan labur definitzen direnak.

Aurrera eramandako esperimentuetatik, bost klase desorekan eta 20 ezaugarri (19 ezaugarri-igarle + klase edo helburu-ezaugarri bat) dituen datu-base bat sortu zen (ikus 2. taula). Ezaugarri guztien balioak estandarizatu ziren, horrela ezaugarriek har zitzaketan balioak balio-tarte berdinetara eramanez eta beraz, sailkatzaileak eraikitzeke prozesuan balio-tarte ezberdinek izan zezaketan eragina minimizaturik.

Hastapeneko lan honen helburua nabigatzeko erabili den gailua automatikoki detektatzea den arren, etorkizun hurbileko helburua erabiltzaileen nabigazio problemak detektatzea izango da. Hori dela eta, ezaugarriak erauztean bi helburuak izan ziren buruan. Adibidez, KurtsDistOptRat edo NoraAldBort100 bezalako ezaugarriak nahiz eta hasiera batean, intuizioz, erabilitako gailu ezberdinen artean ezberdintzeko ezaugarri esanguratsuak izan daitezkeenik ez espero, hala ere sailkatzaileak eraikitzean, erauzitako ezaugarri multzo guztiarekin lan egin zen susmo hauek ebaluatzeko asmoz.

Bestalde, web-irisgarritasuneko adituen esanak kontuan hartu ziren eta hortik, erauzitako 19 ezaugarrietatik 8 apartatu ziren erabilitako gailua detektatzeko esanguratsuak zirelakoan. Zehazki, 1. taulan 1 lehentasunaz ageri direnak. Honela, ezaugarri hauen igartze gaitasuna neurtze aldera, ezaugarri hauekin soilik eraikitako sailkatzaileak ere eraiki ziren.

3 Sailkapen sistema

Kalkulatu eta erauzitako ezaugarriak, nabigatzeko erabilitako gailuaren arabera, erabiltzaileen elkarrekintza datuak sailkatuko dituen sailkatzaileak eraikitzeke erabili ziren. Sailkatzaileak lehenik, erauzitako

¹<http://www.discapnet.com/>

²<http://www.gipuzkoa.eus/>

³<http://www.bidasoaturismo.com/>

1 Taula: Erabiltzaile eta bisitatutako orri bakoitzerako erauzi diren ezaugarrien izena eta deskribapena. Izenaren alboan adituek emaniko lehentasun maila adierazi da parentesi artean: 1, 2 edo 3 (lehentasun handitik txikira).

Izena	Deskribapena
GertaeraKop (1)	Remotest-ek orri batean gorderiko gertaera kopurua.
TeklaBereziKop (1)	Orri batean tekla berezi, alfanumerikoak ez direnen sakaketa kopurua.
GurpilKop (1)	Orri batean saguko gorpila zenbat aldiz erabili den.
GurutzMugiKop (1)	Orri batean kurtsorea bere ardatz horizontal eta bertikalen norantzetan zenbat aldiz mugitu den (gurutzean mugitu).
DiagMugiKop (1)	Orri batean kurtsorea 45, 135, 220 eta 315 graduko norantzetan zenbat aldiz mugitu den (diagonalean mugitu).
GeldikMediana (1)	Orri batean kurtsorea geldirik geratu deneko denbora-tarteen mediana.
AbiadenMediana (1)	Orri batean kurtsoreak hartzen dituen abiaduren mediana.
AzelMediana (1)	Orri batean kurtsoreak egiten dituen azelerazioen mediana.
TeklaKop (2)	Orri batean tekla sakaketa kopurua.
KutsoreDist (2)	Orri batean kurtsoreak eginiko bidearen luzera pixel kopuruan emanda.
KurtsDistOptRat (2)	Orri batean kurtsoreak eginiko bidearen eta optimoaren arteko ratioa. Bide optimoa orrian kurtsorearen hasiera eta amaiera posizioen arteko bide motzena da (bide zuzena).
NoraAldBort100 (2)	Orri batean kurtsoreak eginiko norantza aldaketa bortitzen portzentaia. Aldaketa bortitizat zer hartu den ikusteko ikus NoraAldBortKop ezaugarria.
KlikKop (3)	Remotest-ek orri batean gorderiko klik kopurua.
KorritzeKop (3)	Orri batean eginiko leiho korritze kopurua.
NoraZuz100 (3)	Orri batean kurtsoreak bere gurutzean edo diagonalean egindako mugimendu kopuruen portzentaia.
NoraAldKop (3)	Orri batean kurtsoreak eginiko norantza aldaketa kopurua.
NoraAldBortKop (3)	Orri batean kurtsoreak eginiko norantza aldaketa bortitz kopurua. Bortitizat kurtsorearen norantza erlatiboki 45 gradu edo gehiagoan aldatzen denean hartzen da.
EremuzMugiKop (3)	Orri batean kurtsoreak bere ardatz horizontal, bertikal eta diagonalek zedarritzen dituzten zortzi eremuetan batetik bestera zenbat aldiz mugitu den.
IgaroDenb (3)	Orri batean igarotako denbora.

2 Taula: Sortutako datu-basean bost klaseen distribuzioa.

Klasea	Kasu kopurua.
HatzezTeklatu	347
AdarrezTeklatu	338
Trackball	171
Joystic	584
Sagua	235
Total	1675

ezaugarrien multzo osoa erabiliz eraiki ziren. Bigarrenik, web-irisingarritasunean adituek esanguratsutzat azpimarratutako ezaugarriekin eraiki ziren sailkatzaileak.

Aurrekoez gain, García *et al.* (2015) lanean azaltzen diren ezaugarriak automatikoki detektatzeko bi algoritmo erabili ziren, horrela, ikasketa automatikoaren ikuspuntutik erabiltzea komeni ziren ezaugarri onenak zehaztuko zirelarik. Honetarako ezaugarriak detektatzeko gehien erabiltzen diren bi algoritmo aukeratu ziren: Hall (1998) laneo Correlation-based Feature Subset Selection (FSS) algoritmoa non korrelazioan oinarriturik ezaugarrien azpimultzoa aukeratzeko den eta Kohavi eta John (1997) laneo Wrapper algoritmoa non emaniko sailkatzaileako optimoak diren ezaugarrien multzoa aurkitzen den. Gure kasuan Wrapper egikaritzeko Quinlan (1993) lanean aurkeztutako J48 sailkatzaile zuhaitza aukeratu zen.

Esperimentuak Witten *et al.* (2011) liburuan aurkeztzen den Weka software ingurunean egikaritu ziren

ondoko lau oinarritzko sailkatzaile erabiliz: John eta Langley (1995) lanean aurkeztutako Naive Bayes (NB), Aha *et al.* (1991) lanean aurkeztutako IBK (k bizilagun gertukoenak algoritmoaren inplementazioa), Platt (1999) lanean aurkeztutako SVM (euskarri bektoredun makina) eta Quinlan (1993) lanean aurkeztutako J48 (sailkatze zuhaitzak eraikitze C4.5 algoritmoaren inplementazio librea). Guztiak defektuzko parametroekin egikaritu zirelarik. Hauetaz gain, sailkatze zuhaitzetan (J48) oinarritutako bi meta-sailkatzaile ere eraiki ziren: Breiman (1996) lanean aurkeztutako bagging eta Freund eta Schapire (1996) lanean aurkeztutako boosting, non oinarri sailkatzailearen 25 iterazio egikarituko ziren. Sailkatzaile hauen igartze-gaitasuna neurtzeko bost iteraziodun balioztatze gurutzatua (5-fold cross-validation) metodoa erabili zen: datu-basearen %80 sailkatzailea entrenatzeko erabili zelarik eta %20 berau testatzeko.

Esperimentazioaren ezaugarriak zehaztu ondoren, lehenik eta behin, sailkatzaile ezberdinetarako ezaugarri multzo ezberdinen zehaztasun-tasak (accuracy) eta F-puntuazioaren (F-measure) balioak ebaluatu ziren. F-puntuazioa doitasuna (precision) eta estaldura (recall) asmatze neurgailuetan oinarritzen da. Ondorengo zerrendan, erabilitako ezaugarri multzo ezberdinak zerrendatzen dira.

- **L1 ezaugarriak:** adituen arabera ezaugarri garrantzitsuenak ditu (1. taulan lehentasuna 1 dutenak).
- **L3 ezaugarriak:** erauzitako ezaugarri guztiak ditu (1. taulako guztiak: 1, 2 eta 3 lehentasuna dutenak).
- **CF ezaugarriak:** korrelazioan oinarrituriko ezaugarrien azpi-multzoa detektatzeko metodoaz aukeratuak ditu.
- **Wrapper J48:** wrapper algoritmoaz detektatutako ezaugarriak ditu. Wrapper-en barne eragiketarako J48 sailkatzailea eta bilaketa algoritmo genetikoak erabili dira.

Definitutako esperimentazio hauek, Perona *et al.* (2016) lanean argitaratu ziren 1. taulan definituriko 19 ezaugarrietarako. Bertan, hasiera batean, aipatu bost klaseekin egikaritu zen definituriko esperimentazioa, baina teklatuan oinarrituriko bi klaseak bereizteko zailtasunak zeudela ikusirik teklatuan oinarrituriko bi klaseak bildu ziren lau klaseko arazoa bilakaturik. Azken finean bietan gailu bera baita erabiltzen dena, teklatura alegia. Honela, emaitzarik onena ezaugarri guztiekin lortu zen eta 93.07 zehaztasun-tasa lortzera iritsi zen (ikus 3. taularen lehen errenkada).

Lan honen helburua emaitza horiek hobetzea da eta horretarako, alde batetik irisgarritasunean adituek diotena hartuko da kontuan, eta bestetik, ikasketa automatikoak ematen dituen aukeren bidez bilatuko da hobekuntza.

3.1 Adituen proposamenak

Arestian esan bezala, Perona *et al.* (2016) lanean lau klaserako gailu detekzio zehaztasun-tasa hobereana ezaugarri guztiak erabiliz lortu zen. Emaita hauek 3. taulan 19 ezaugarri dagokion lerroan beha daitezke.

Teklatua erabiltzeko bi moduak bereiztean zeuden arazoak medio adituek bi proposamen egin zituzten. Bata, hiru ezaugarri berri proposatzea izan zen: JerkMediana, JerkMax eta GeldiKop. Ezaugarri hauek ondorengo zerrendan definitzen dira, bakoitzari adituek esleitu zien lehentasuna parentesi artean adierazi delarik.

- **JerkMediana (1):** Orri batean kurtsoreak egiten dituen azelerazio aldaketen mediana.
- **JerkMax (1):** Orri batean kurtsoreak egiten dituen azelerazio aldaketen balio maximoa.
- **GeldiKop (3):** Orri batean kurtsorea zenbat aldiz geratu den geldirik.

Bestea, erabiltzaileak zerbait egiteko intentzioa erakusten duen nabigazio zatian zentratzea izan zen. Azken proposamen hau gauzatzeko normalean intentzio hau nabigazioaren azken zatian erakutsiko zela suposatzen zen eta azterketa kurtsoreak eginiko bidearen azken %25ean zentratu zen.

3. taulan ikus daitekeen moduan, lehen, 19 atributuekin, zehaztasun-tasa onena boosting kasuan lortzen zen, 93.07, eta orain, 22 atributuekin, ere bai, 93.13. Lehen bezala, zehaztasun-tasa onenak eskuarki sailkatzaile konplexuenekin edo meta-sailkatzaileekin lortu dira. Hiru ezaugarri berri gehitzearekin

3 Taula: Hautatutako sailkatzaileek lau klase bereiztean lortutako zehaztasun-tasak ezaugarrien multzo ezberdinetarako eta nabigazio zati ezberdinetarako. Sailkatzaile bakoitzeko balio onenak belztu dira.

Ezaugarri kopurua eta nabigazioaren zatia	Sailkatzaileak					
	NB	IBK	SVM	J48	Bagging	Boosting
19 eza. - nab. %100	77.31	83.16	84.54	88.90	92.42	93.07
22 eza. - nab. %100	80.90	83.10	85.79	89.31	91.76	93.13
22 eza. - nab. %25	79.94	80.06	78.45	86.21	88.96	90.81

lortu den hobekuntza oso txikia da eta joera berdina ikusi da gainerako esperimentu-konfigurazioetan ere, hala nola, ezaugarriak automatikoki detektatzeko algoritmoen erabilerari dagokionez.

Bestetik, nabigazioaren azken zatitik ezaugarriak kalkulatzeko testuinguru honetan ez du hobekuntzarik ekarri. Adibidez, emaitzarik onena boosting-erako lortu da eta zehaztasun-tasa 90.81-ekoa izan da, aurreko konfigurazioetan baino baxuagoa. Hala ere azpimarratu behar da, nahiz eta moldaketa honek gailuak detektatzean hobekuntzarik ekarri ez, beste testuinguru batzuetarako egokiak izan daitezkeela: erabiltzaile mota ezberdinak definitzeko, zailtasunak eta arazoak detektatzeko etab.

3.2 Ikasketa automatikoko hobekuntzak

Egoera honetan, sistema praktikoki hobetze aldera akats ezberdinak egitearen larritasuna aztertu zen. Alegia, ez da gauza bera teklatura erabiltzen duen bat sagu erabiltzaile bezala sailkatzea edo trackball erabiltzaile bat sagu erabiltzaile gisan hartzea. Larritasun ezberdineko erroreak dira. Adibidez, teklatuaren kasuan kurtsoarearen mugimendua gehiago kostatzen da eta alderantziz, joystic-trackball-sagu erabiltzaileetan kurtsoarearen mugimendua biziagoa izan ohi da. Hau da, teklatura hatzez erabiltzen duen bati eginiko egokitzapenak edo buru-adarrez erabiltzen duen bati egiten zaizkionak tankerakoak izango dira, bestalde, joystic, trackball edo sagu erabiltzaileei ere egokitzapen antzekoak egingo zaizkie praktikan eragin antzekoa duten gailuak baitira. Beraz, bi klase handi edo bi meta-klase definitu ziren: teklaturakoa eta mugimenduzkoa.

Ikasketa automatikoaren ikuspuntutik, egoera honi sailkatzaileen egitura hierarkiko bat eraikiz aurre egin zitzaion, zehazki bi mailako sailkatzaileen egitura hierarkiko bat eraikiz. Lehenengo mailan bi meta-klaseak bereiziko ditu sistemak, arreta, eginiko errore larrien kopuruan jarriko delarik. Bi meta-klase hauen barnean portaera antzekoa duten gailuak bilduko dira arestian aipatu bezala. Bigarren mailan meta-klaseen barruko azpi-klaseak bereiziko dira. Maila honetan sailkatzaileek aurre egin beharreko arazoa, klase gutxiagokoa bilakatuko da, sinpleagoa beraz. Gainera, maila ezberdinetako sailkatzaile bakoitzak beharko lituzkeen ezaugarrien multzoa ezberdina izan daitekeenez, detektatzean arazoak dauden klaseak isolatuz berariazko soluzioak bila daitezke. Hau da, sailkatzaile espezializatuagoak eraiki daitezkeenez, klaseak hobeto bereizteko aukera dago. Gainera, maila honetan egiten diren akatsek ez dute lehenengo mailakoen larritasunik izango.

4 Taula: Hautatutako sailkatzaileek bi meta-klase bereiztean lortutako zehaztasun-tasak ezaugarrien multzo ezberdinetarako. Sailkatzaile bakoitzeko balio onenak belztu dira.

Ezaugarrien multzoa	Sailkatzaileak					
	NB	IBK	SVM	J48	Bagging	Boosting
L1 (8 eza.)	93.31	96.12	94.81	97.73	98.03	98.21
L3 (19 eza.)	90.33	96.06	96.30	98.57	99.04	99.22

Lehenik eta behin, ezaugarrien multzoak nola eragiten dion sistemaren jardunari erreparatu da 4. taulan. Ematen du adituek proposaturiko ezaugarrien multzoa (L1) erabiltzea aukerarik onena Naive Bayes eta IBk sailkatzaileen kasuan dela. Gainerako sailkatzaileek portaera hobia dute ezaugarrien multzo osoa erabiltzen denean.

4. taulan ikus daiteke sailkatzaileek bi meta-klaseak zehaztasun-tasa handiz bereiz ditzaketela. Kasu honetan ere, zehaztasun-tasa onena ezaugarri guztiak erabiltzean eta boosting kasuan lortu dira, 99.22-ko balioa hain zuzen ere. Beraz, ondoriozta daiteke sistemak errore larri gutxi egingo dituela. Erroreen jatorria aztertu asmoz sailkapen onenaren nahaste-matrizea aztertu da 5. taulan. Bertan ikus daiteke mugimenduzko gailuekin eginiko 7 orri-bisita eta teklaturazko gailuekin eginiko 6 orri-bisita, oker sailkatu

5 Taula: Ezaugarri guztiekin osatutako datu-baseari boosting aplikatu ostean lorturiko nahaste-matrizea eta F-puntuazioa.

Honela sailkatuak $\Rightarrow$	a	b	F-puntuazioa
Mugimenduzkoa = a	983	7	0.993
Teklatua = b	6	679	0.991

6 Taula: Hautatutako sailkatzaileek mugimenduzko hiru klaseak bereiztean lortutako zehaztasun-tasak ezaugarrien multzo ezberdinetarako. Sailkatzaile bakoitzeko balio onenak belztu dira.

Ezaugarrien multzoa	Sailkatzaileak					
	NB	IBK	SVM	J48	Bagging	Boosting
L1 (8 ezau.)	78.38	79.70	75.76	82.53	86.16	86.16
L3 (19 ezau.)	73.33	80.10	80.10	84.24	87.17	89.09

zirela. Bi meta-klaseak gutxi-asko orekan daudenez, errore berdintsua dute, hau da, sailkatzaileek bi multzoak berdintsu bereizten dituzte.

Bigarren mailari dagokionez, kurtsorea, gailuan nolabaiteko mugimendua eraginez mugitzen duten gailuetan zentratu da, joystic-a, trackball-a eta sagua hain zuzen ere. 6. taulan lorturiko zehaztasun-tasak ageri dira. Kasu honetan tasarik onenak, berriz ere, boosting-arekin lortu dira, 89.09. Kontuan izan behar da hemen egiten den errorearen larritasuna lehen mailan egiten denarena baino txikiagoa dela. Erroreen jatorria aztertu asmoz sailkapen onenaren nahaste-matrizea aztertu da 7. taulan. Bertan ikus daiteke, alboko F-puntuazioak iradokitzen duen moduan, proportzioan hutsegite gehien sagua eta trackball gailuak bereiztean dagoela. Hau, bi gailu hauek kurtsorearen mugimendu murriztu-gabea baimentzen dutelako gerta daiteke, alegia, praktikan portaera antzeko xamarra dutelako. Aldiz, joystic-ean kurtsorea aurre definituta dauden norantzetan soilik mugitzen da. Errore hau nahiko txikia eta larritasun gutxikoa denez, lan honetan, hierarkiari sagua eta trackball-a bereiziko zituen hirugarren maila bat ez zaio gehitu.

7 Taula: Ezaugarri guztiekin osatutako datu-baseari boosting aplikatu ostean lorturiko nahaste-matrizea eta F-puntuazioa.

Honela sailkatuak $\Rightarrow$	a	b	c	F-puntuazioa
Joystic = a	111	5	1	0.933
Sagua = b	7	38	2	0.817
Trackball = c	3	3	28	0.862

4 Ondorioak

Emaitzek, Remotest tresnak bildutako datuei datu meatzaritza prozesu osoa aplikatzea etorkizun handiko estrategia dela erakutsi dute. Web-irigarritasuneko adituek proposaturiko ezaugarriak erabiliz erabiltzaile-mota automatikoki detektatu eta beren-beregi eginiko egokitzapenak proposatzeko norantzan bidea irekitzen du. Baina erabiltzaile mota ezberdinak detektatzen hasi aurretik, lan honetan, zehazki, nabigatzeko erabilitako bost gailu mota ezberdintzen saiatu da: hatzez teklatua, buru-adarrez teklatua, joystic-a, trackball-a eta sagua.

Sailkatze arazo honi modu hierarkikoan egin zaio aurre. Lehen mailan teklatu bidezko gailuak (hatz eta buru-adarra erabiliz) eta mugimendu bidezko gailuak (joystic-a, trackball eta sagua) bereizi dira, hau da, bi klaseko arazoari egin zaio aurre. Lehen maila honetan, 99.22 zehaztasun-tasa lortzera iritsi da sistema, hau da, larritasun handiko errorerik nekez egingo du. Bigarren mailan mugimendu bidezko gailu ezberdinak bereizten saiatu da eta 89.09 zehaztasun-tasa lortu da, hierarkiaren lehen mailan baino zerbait baxuagoa baina errorearen larritasuna ere txikiagoa denez onargarria.

Etorkizun lan bezala, sistema honen online lotura garatu nahi da, sistema egiazko ingurune batean martxan jarri eta gailuak automatikoki detektatuz gailu bakoitzerako definitu diren egokitzapenak aplikatu nahi baitira.

Azkenik, lan honetan erabilitako metodologia gailuak detektatzeko egokia dela baieztatu denez, meto-

dologia bera jarraituz erabiltzaile-mota eta dituzten arazo ezberdinak automatikoki detektatzeko sistema garatzen saiatzea litzateke hurrengo urratsa.

Erreferentziak

- AHA, DAVID W., DENNIS KIBLER, eta MARC K. ALBERT. 1991. Instance-based learning algorithms. *Machine Learning* 6.37–66.
- BREIMAN, LEO. 1996. Bagging predictors. *Machine Learning* 24.123–140.
- DILLON, ANDREW. 2001. Beyond usability: process, outcome and affect in human computer interactions. *Canadian Journal of Information Science* 26.57–69.
- FREUND, YOAV, eta ROBERT E. SCHAPIRE, 1996. Experiments with a new boosting algorithm.
- GARCÍA, SALVADOR, JULIÁN LUENGO, eta FRANCISCO HERRERA. 2015. *Data Preprocessing in Data Mining*. Springer International Publishing Switzerland.
- HALL, MARK A., 1998. *Correlation-based Feature Subset Selection for Machine Learning*. Hamilton, New Zealand: University of Waikato tesia.
- JOHN, GEORGE H., eta PAT LANGLEY. 1995. Estimating continuous distributions in bayesian classifiers. In *Proceedings of the Eleventh Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*, UAI'95, 338–345, San Francisco, CA, USA. Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- KOHAVI, RON, eta GEORGE H. JOHN. 1997. Wrappers for feature subset selection. *Artificial Intelligence* 97.273 – 324. Relevance.
- LIU, BING. 2006. *Web Data Mining: Exploring Hyperlinks, Contents, and Usage Data*. Springer-Verlag New York, Inc.
- PERONA, IÑIGO, AINHOA YERA, OLATZ ARBELAIZ, JAVIER MUGUERZA, NIKOLAOS RAGKOUSIS, MYRIAM ARRUE, J. EDUARDO PÉREZ, eta XABIER VALENCIA. 2016. Automatic device detection in web interaction. In *Actas de la XVII Conferencia de la Asociación Española para la Inteligencia Artificial (CAEPIA) - VIII Simposio Teoría y Aplicaciones de Minería de Datos (TAMIDA)*, 825–834.
- PLATT, JOHN C. 1999. Fast training of support vector machines using sequential minimal optimization. In *Advances in kernel methods: support vector learning*, ed. by Bernhard Schölkopf, Christopher J. C. Burges, eta Alexander J. Smola, chapter Fast Training of Support Vector Machines Using Sequential Minimal Optimization, 185–208. Cambridge, MA, USA: MIT Press.
- QUINLAN, J. ROSS. 1993. *C4.5: Programs for Machine Learning*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- VALENCIA, XABIER, J. EDUARDO PÉREZ, UNAI MUÑOZ, MYRIAM ARRUE, eta JULIO ABASCAL. 2015. *Human-Computer Interaction – INTERACT 2015: 15th IFIP TC 13 International Conference, Bamberg, Germany, September 14-18, 2015, Proceedings, Part I*, chapter Assisted Interaction Data Analysis of Web-Based User Studies, 1–19. Springer International Publishing.
- WITTEN, IAN H., EIBE FRANK, eta MARK A. HALL. 2011. *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 3rd edition.

5 Eskerrak eta oharrak

Lan honek hainbat unitateren finantzaketa jaso du: Parte bat Euskal Herriko Unibertsitateko (UPV/EHU) Basque Advanced Informatics Laboratory (BAILab) ikerketa unitatearentzako funts oro-korretik jaso du (erreferentzia UFI11/45). Parte bat Espainiako gobernuko ekonomia eta lehiakortasun ministerioak eta Europako eskualdeen garapenerako funtsak (ERFD) finantzatutako eGovernAbility proiektutik jaso du (erreferentzia TIN2014-52665-C2-1-R). Parte bat eusko jaurlaritzako hezkuntza saileko unibertsitateak eta ikerketa atalak sustengatzen duen ADIAN ikerketa taldetik jaso du (erreferentzia IT980-16). Bestetik, egileek narriadura fisikoa duten behar bereziko pertsonen beharrei erantzuten lan egiten duen Elkartu elkarteari zinez esker ona erakutsi nahi die, eta batik bat, estudioan parte hartu zuten parte-hartzaileei.

EIEH: Industriako interakzio digitalak diseinatzeko erraminta berria

Aranburu, Erik (1), Lasa, Ganix (2), Gerrikagoitia, Jon Kepa (3)

Diseinu Berrikuntza Zentroa (DBZ)–Mondragon Unibertsitatea (1,2), Ideko S.Coop (3)
erik.aranburu@alumni.mondragon.edu

Laburpena

Azken urteotako aldaketa sozio-ekonomikoa dela eta, gizartearen nahiak aldatuz joan dira. Gaur egun, behar materialak baino, gizarteak beharrian emozional eta sozialak betetzea ditu helburu, ondorioz, merkatuak produktu eta zerbitzuetatik haratago doan eboluzioa jasan du, esperientziak eskaintzean zentratuz. Neurri berean, diseinuan, inguruari guztiz lotutako disziplina izanik, esperientziaren alorrean ari da lanean. Hala ere, industria, behar guztiz materialetara zuzenduta egonik, egoera honetara egokitzeke dago oraindik. Horren erakusle, bertako inguru digitaletako esperientzien diseinurako metodo eta erraminten hutsune handia dagoela identifikatu da.

Kontestu honen baitan, Mondragon Unibertsitateko Diseinu Berrikuntza Zentroa (DBZ-MU) DANOBATGROUP S.COOP-ekin elkarlanean, inguru digital horien esperientziara bideratutako erraminten sorreran ari da lanean. Horren adibide da artikulu honetan aurkezten den erraminta, Erabiltzaile Interfazeen Esperientzia Hartzailerak (EIEH). Erraminta honi esker, erabiltzaileak sistema interaktiboekin dituen esperientziak jasotzen dira, ondoren bere motibazioak betetzen dituen eta lotura emozional eraginkorragoa ahalbidetzen dituen interakzio berriak diseinatu ahal izateko.

Hitz gakoak: esperientzia diseinua, interakzioa, erraminta, emozioak, industria.

Abstract

In recent years, due to the socio-economic development, the wishes of the society have been changing. Nowadays, instead of material goods, the society is looking for emotional and social goods. As a consequence, the market has developed beyond products and services, focusing on offering Experiences. So in design, as it is a discipline directly connected to the environment, the same development has occurred. However, in industry there is still a long way to go in order to integrate the concept of Experience in their developments. Therefore, there is a big gap regarding to Experience Design methods and tools for the industrial digital systems.

In this context, Diseinu Berrikuntza Zentroa of Mondragon University (DBZ-MU) together with DANOBATGROUP S.COOP, is working on the creation of new tools for the development of the Experiences of those digital systems. In this article, one of those tools is presented, the User Interface Experience Capturer (UIEC). Thanks to this tool it is possible to capture the experiences that the user has with the interactive systems, so that way afterwards an interaction that fulfils the motivations and emotional needs of the user could be created.

Keywords: *experience design, interaction, tool, emotions, industry.*

1.Sarrera

Urteetan zehar ekonomiaren paradigma aldatuz joan da gizartearen behar berriei erantzunez. Pasa den mendean industrian oinarritutako gizartea zen nagusi, beharrian materialak betetzea helburu zelarik, baina urteak joan ahala, gizartearen nahiak aldatuz joan dira, beharrian emozional eta sozialetara bideratuz (van Boven eta Gilovich, 2003). Ondorioz, paradigma ekonomikoak ere aldaketa handiak jasan ditu. Behar emozional horiek bete ahal izateko, produktu eta zerbitzuen eskaintzez haratago, merkatuan esperientziak geroz eta garrantzia handiagoa jaso du (Pine eta Gilmore, 1999).

Esperientziak gertaera gogoangarrien multzoak dira, momentu zehatz batean pertsonak bizitzen dituztenak eta etekin pertsonal intangibleak ematen dituztenak beraz, esperientziek aipatutako behar emozional horiek betetzea lortzen dute (Pine eta Gilmore, 1999). Gainera, gaur egungo teknologia aurrerakuntzei esker, esperientzia hauek bideratzeko geroz eta aukera gehiago dago.

Kontestu honen baitan, disziplina ezberdinek diseinuaren eta esperientziaren arteko lotura proposatu dute. Horren erakusle da Mondragon Unibertsitateko Diseinu Berrikuntza Zentroa (DBZ-MU), izan ere bertan esperientzia ardatz duten produktuen garapenean egiten da lan. Honen adibideetako bat da IkerGazte 2015ean aurkeztu zen lana (Lasa et al., 2015), Janargi produktuaren inguruan. Lan ildo honi jarraituz dator artikulu honetan aipatzen den proiektua, DANOBATGROUP S.COOP enpresako makinaren Erabiltzaile Makina Interfazeen (EMI) diseinua, erabiltzailearen esperientzian oinarrituz.

Esperientziaren diseinuko ezagutza erabilgarria izan daiteke industriako formatu digitaleko plataformetarako. Orain arte, industrian ikerketa guztiz teknologikoa hartu da soilik aintzakotzat berrikuntzaren esparruan, baina diseinuak ematen duen ekarpena funtsezkoa izan daiteke egungo bereizte behararen jomugan. Bertan, inguru digitaletako berrikuntzan aukera gehien eskaintzen dituen disziplinetakoa bat da erabiltzailearen esperientzia, erabiltzailearen eta produktuaren artean lotura gehien ematen duen maila baita. Makinaren interfazeak emozio positiboak bideratzeak, langileen motibazio, parte-hartze, jakintza, ikaste prozesu edota errealizazio pertsonalean eragin zuzena izan dezake (Isen, 2001).

Proiektu honetan, erabiltzailearen esperientzia lantzeko erraminta batetan sorrera da helburu, DANOBATGROUP enpresako inguru digitaletako interakzioetara bideraturik. Izan ere, erabiltzailearen esperientziaren kontzeptua oso ezagun egin da azken urteotan interfazeen diseinuan, baina industriara zuzendutako interfazeak lantzeko metodologia eta erraminta konkreturik ez da aurkitu.

Artikulu honen bidez, kontestu honi aurre egiteko sortutako EIEH erraminta aurkeztuko da. Lehenik eta behin sortze prozesuan garrantzitsuak izan diren oinarri teorikoak azalduko dira. Ondoren, erramintaren beraren azalpen sakona egingo da, osatzen duten elementuak definituz. Azkenik, ondorio eta etorkizuneko ildoen bidez erramintaren ekarpenen inguruko gogoeta egingo da eta aurrerantz izango duen bidea zehaztuko da.

2. Helburuak

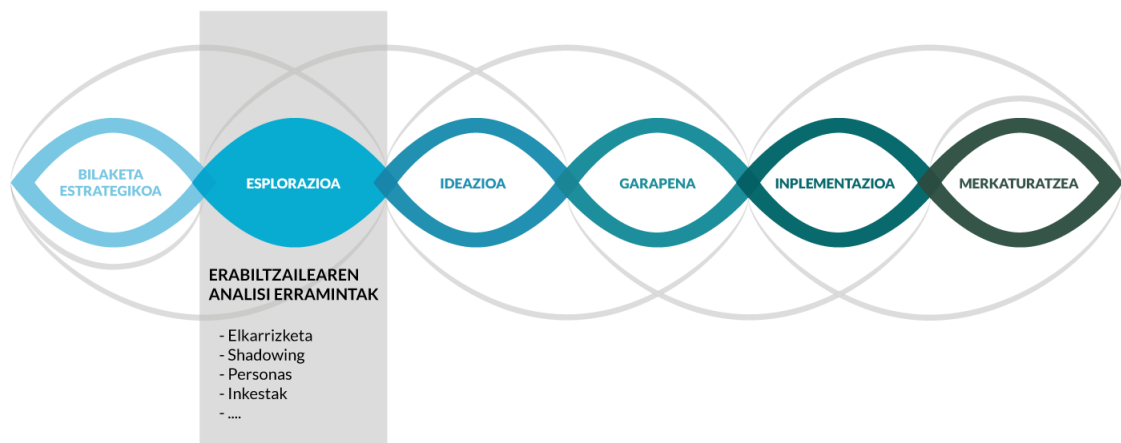
Artikuluaren helburua, DBZ-MU eta DANOBATGROUP-en artean abiatutako EMI diseinuen proiektuan landu den EIEH erramintaren aurkezpena da. Konkretuki langileak enpresako inguru digitaletan emozio positiboak izatea ahalbidetuko duten interfazeen diseinurako sortu da, horretarako, erabiltzailearen iragandako esperientziak eta behar emozionalak identifikatzen dituelarik.

3. Ikerketaren muina

3.1. Oinarri teorikoa

Gaur egun interfazeen garapenean Erabiltzailean Oinarritutako Diseinuko (EOD) erraminten erabilera oso ohikoa da (1. Irudia). Hauen adibide dira Elkarriketa (Wilson, 2014), Shadowing (Daae, 2015), Personas (Miaskiewicz, 2011) eta Inkestak (Vredenburg, 2002) esaterako. Erraminta hauen helburua erabiltzailearen behar funtzionalak analizatzea da, ondoren hauetatik abiatuz diseinu berriak sortzeko. Baina Zientzia Sozial eta Psikologiatik datozen metodo hauek beti ere ikuspegi objektibo batetik egiten dute lan, hortaz ez dira horren erabilgarriak behar emozionalak eta esperientzia gogoangarriak identifikatzeko (McCarthy eta Wright, 2010).

1. Irudia: DBZ-MUren EOD metodologia



Gainera EOD-ko erramintek ez dute behar emozionalak identifikatzeko beharrezko den ikuspegia. Izan ere, erabiltzailearen esperientziak jaso ahal izateko, obserbazioa baino hizketaldia izan behar da helburu. Diseinatzaileak eta erabiltzaileak beren paperak alde batera utzita, lehena aztertzailea eta bigarrena azterketaren objektu izan beharrean, bien arteko esperientzia partekatze bat izan behar da (Wright eta McCarthy, 2010). Hau da, diseinatzaileak soilik hartzaile gisa jokatu beharrean, berak ere bere esperientziak partekatzea komeni da. Beraz, esperientziak jasotzeko elkarriketak EOD-ko ohiko erabiltzaile analisisen jarrera ezberdin bat eskatzen du (

2. Irudia). Baina ikusi da ikuspegi honetatik lan egiten duten erramintetan hutsune handia dagoela, eta hau betetzeko asmoz sortu da EIEH erraminta.

2. Irudia: Esperientziak jasotzeko elkarrizketaren eta erabiltzaile analisiaren arteko desberdintasunak



Aurrez aipatu bezala makinaren interfazearen erabileraren esperientzia gogoangarria izan dadin, beharrezkoa da erabiltzailearen behar emozionalak eta funtzionalak identifikatzea. Izan ere, makinaren eta erabiltzailearen interakzioan alderdi ezberdinek hartzen dute parte, bai funtzionalak eta baita emozionalak ere. Hassenzahl-en (2010) esanetan, alderdi horiek hiru mailatan bana daitezke, hauen helburuen arabera: Izana maila, Ekintza maila eta Motoreak maila (

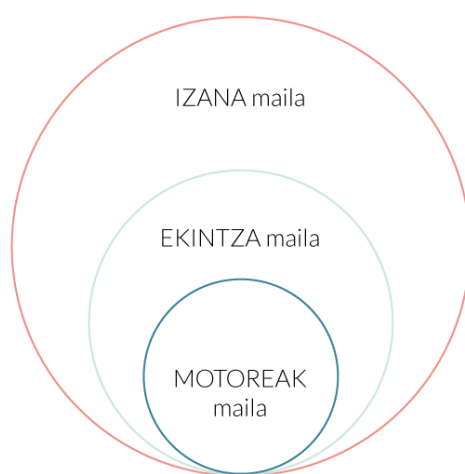
3. Irudia). Izana maila esperientziaren abiapuntua da, interakzioaren zergatia definitzen baita bertan, erabiltzaileak interakzio hori burutzeko dituen motibazioak hain zuzen ere. Zergati hori erabiltzailearen behar emozionalari zuzenki loturik dago. Hassenzahl-ek dio, interakzio guztien atzetik hau burutzerat bideratzen duten helburu batzuk daudela, pertsonen ongizatearekin erlazionatutakoak. Helburu horiek, pertsonaren, inguruaren edota akzio motaren arabera izan daitezke, beraz garrantzitsua da esperientzia diseinatzerako orduan hauen ezagutza izatea, izan ere, motibazio horiek bete ahal izateak emozio positiboak helaraziko ditu. Maila hau, orokorrean alde batera utzi izan ohi da, soilik funtzionalitatean zentratuz, baina autore honen ustetan behar objektiboak betetzeak ez du esperientzia positiboa ekarriko baldin eta erabiltzailearen motibazioak betetzen ez badira.

Ondoren Ekintza maila dago, bertan kokatzen dira erabiltzailearen behar funtzionalak. Maila honetan erabilerari dagozkion ekintzak aztertzen dira, hauek betetzeko interakzio eficiente, eraginkor eta erabiltzeko erraza ahalbidetuz. Neurri berean, esperientzia positiboa izateko beharrezkoa da interakzioa maila hau egoki betetzeko gai izatea.

Azkenik, Motoreak maila dago, konkretuki interfazeaz zentratzen da eta bertako elementuak aztertzen dira bertan. Hiru mailetatik txikiena da hau, baina hala ere, mikrointerakzioak deritzoten interakzio konkretuek eragin zuzena izan dezakete emozioetan. Esaterako, botoiak klikagarriak direla begi bistan uzten duten interfazeek, erabiltzailearen errakuntza saihesten dute, ondorioz emozio negatiboak ekidinez.

Beraz, esperientzia gogoangarri eta positibo bat diseinatu dadin, beharrezkoa da sortuko den interakzioak hiru maila hauetan lan egitea. Hau da, erabiltzailearen izanarekin lotutako behar emozionalak bete behar ditu, ekintza funtzionalak modu eraginkor, efiziente eta errazean betetzea ahalbidetu behar du, eta guzti hau lortzeko interfazea egoki diseinatuta egon behar du.

3. Irudia: Interakzioaren hiru mailak (Hassenzahl,2010)



Esperientziak hiru mailetan landuz jasotzen dituen erraminta da Erabiltzaile Interfazeen Esperientzia Hartzailea (EIEH). Ondorengo atalean, erramintaren beraren azalpen zehatzagoa egingo da, ze elementuk osatzen duten azalduz eta hauen azalpena emanez.

3.2. EIEH azalpena

Esperientziak biltzeko funtsezko ezaugarriak bilduz eta interakzioaren hiru mailetan lan egiteko sortu da EIEH, honela merkatuan ikusi den hutsune handiari erantzunez. Erraminta hau 5 elementu nagusitan banatzen da, interakzioko Izana lehenengo mailari dagozkion Motibazioak, Erabiltzailea eta Ingurunea atalak, bigarren mailari dagokion Ekintzak atala eta azkenik Motoreak mailari dagokion Interfazea atala (4. Irudia).

Esperientzia diseinatzerako orduan, abiapuntua interakzioaren zergatia bilatzea da, Izana mailako helburuak betetzea (Hassenzahl, 2010). Horretarako, beharrian unibertsalak edo Motibazioak deritzotenak erabiltzea proposatzen da (Sheldon et al., 2001). Beharrian hauek Maslow-en piramidean oinarrituta daude (Maslow, 1943) eta pertsona guztiek egiten dituzten ekintzen arrazoi dira. Guztira 10 motibazio definitzen dira: autonomia, norberaren gauzatzea, segurtasuna, ongizate fisikoa, luxua, gertutasuna, onarpena, estimulazioa, autoestima eta kompetentzia. Beraz, erraminta honen bidez, erabiltzaileak horietatik zein motibazio betetzen dituen identifikatuko litzateke, honela interakzioaren zergatiak eta behar emozionalak ezagutuz. Horretarako plantillan agertzen den motibazioak apartatuan erabiltzaileak hauetako bat edo batzuen aukera egingo luke. Hauek ezaguturik, ondorengo diseinu prozesurako informazio oso erabilgarria lortuko litzateke, honako adibide honek erakusten duen bezala. Erabiltzaile batek motibazioen aukeran segurtasuna

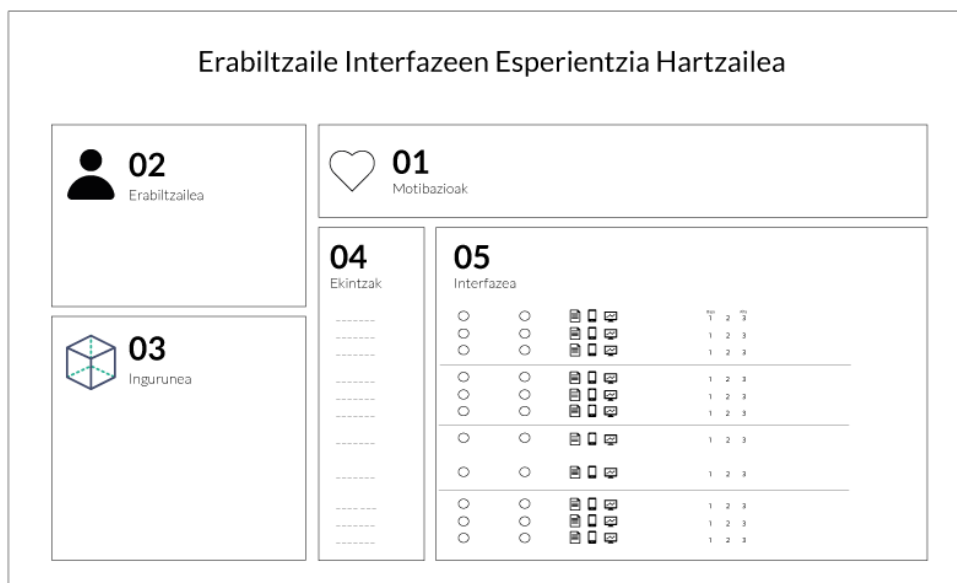
eta autonomia aukeratuko balitu, interfazeak hauek betetzeko diseinaturik egongo lirateke. Esaterako, segurtasuna betetzeko, akzio garrantzitsuen ondoren feedback mezu bat igorriko luke, edota pantailaren gune batean une oro egoeraren informazioa emango luke. Bestetik, autonomiaren motibazioa betetzeko, langileak bere kabuz zereginak guztiak egin ditzan, aplikazioaren laguntza atal garatu bat sortuko litzateke.

Honetaz gain, esperientzia bere osotasunean ezagutu ahal izateko, interakzioaren ingurunea ere ezagutu beharra dago. Hau da, ingurune horretan parte hartzen duten faktoreak analizatu behar dira. Hasteko, interakzioan parte hartzen duen erabiltzailearen perfila bera. Horretarako Personas (Miaskiewicz, 2011) deituriko erraminta erabiliz, erabiltzailearen datu orokorrak biltzen dira, dituen ohiturak, baloreak, etab. bilduz. Honi esker, adibidez, langileak hiru makina batera kontrolatzen dituela identifika daiteke, eta beraz momentu oro makinaren funtzionamendua egokia dela jakin nahi duela baina modu azkar batean, gainontzekoak ere kontrolpean izan behar baititu. Ondorioz, interfazeak lehenengo begiradan azter daitekeen garapen barra argi bat izango luke, esaterako. Aldi berean, interakzioa kontestu sozial eta fisikoa ere ezagutu beharra dago, erlazio zuzena baitu esperientzian. Esaterako, ingurune oso zaratsua dela identifikatuz gero, interfazeak ez luke zarata bidezko mezurik helaraziko, langileak hau entzuten zailtasunak izango lituzke eta. Hauen inguruko informazioa biltzeko Erabiltzailea eta Ingurunea apartatuak erabiliko lirateke hurrenez hurren.

Ondoren, interakzioaren Ekintza mailako helburuetan zentratuz, ekintzaren nondik norakoak ezagutzen dira, hots, zein den interakzioaren helburu objektiboa, betebeharra. Honekin erlazionatuz, erabileraren inguruko faktoreak aztertzen dira, azken batean ekintzak modu eraginkor, efiziente eta errazean burutzen diren egiaztatzeko. Hala nola, langileak bete behar dituen ekintza ohikoenak edota garrantzitsuenak ezagutuz gero, aplikazioa horien erabilera eta sarrerarako prestatuko litzateke. Hauek guztiak identifikatzeko, aurrez azaldutako hizketaldi jarduerak egingo lirateke, eta bildutako informazioa Ekintza apartatuan beteko litzateke.

Azkenik, Motoreak mailako helburuei dagokienez, interfazean bertan zentratzen da. Beraz, produktuaren ezaugarriak aztertzen dira, informazioaren arkitektura eta bisualizazioa egokia den, elementuak egoki banatuta dauden etab. aztertuz. Guzti hau bildu ahal izateko Interfazea apartatuan beteko litzateke informazioa.

4. Irudia: Erabiltzaile Interfazeen Esperientzia Hartzailea



3.3. Ondorioak

EIEH inguru digitaleko esperientziak biltzeko sortutako erraminta da, beraz, DANOBTGROUP enpresako interakzio sistemen diseinurako abiapuntu oso egokia da. Erabiltzaileek egungo sistema digitalen interakzioan ze esperientzia izaten duten identifikatuz, ondoren sortu beharko denarentzat ideia interesgarri ugari bil daitezke, esperientzia berria gogoangarri eta positiboa izatea ahalbidetuz.

Erraminta osatzen duten 5 elementuei esker esperientzia holistikoki identifikatzen da, interakzioako hiru mailak aztertuz. Lehendabizi Motibazioak atala aztertzen da, hau da, erabiltzailearen behar emozionalak identifikatzen dira. Erabiltzailea elementuaren bidez, langilearen behar funtzionalak, ohiturak, ezaugarri orokorrak, etab. bilduko dira. Honela, erabiltzailearen behar funtzionalak eta emozionalak identifikatu ahal izateko. Ondoren, Ingurunea elementua osatuz, interakzioan parte hartzen duten faktore guztiak hartzen dira kontutan. Azkenik, Ekintza eta Interfazea elementuen bidez, interakzioaren helburu funtzionalak eta produktuaren beraren analisia gauzatzen dira. Guzti hau aurrez aipatu den jarrera eta ikuspegia kontutan hartuz egitea proposatzen da, hau da, diseinatzailea aztertzailea soilik izan beharrean, erabiltzailearen neurri berean parte hartuz, esperientzien bilketa elkarren artean gauzatuz.

Beraz, EIEHri esker erabiltzailearen esperientziak interakzioako hiru mailatan aztertu eta diseinatzailearen parte hartze aktiboa ahalbidetzen duten erraminten hutsunea betetzen da, industriako ingurune digitaletako esperientzia diseinuaren abiapuntu egokia bilakatuz.

4. Etorkizunerako ildoak

EIEH erraminta industriako EMIetara zuzenduta dago, bertako interakzioako esperientziak bildu eta ondorengo diseinua bideratu ahal izateko. Horretarako lehendabizi, erramintarekin berarekin esperimentazio saio batzuk egingo dira, DANOBTGROUP S.COOP enpresako ingurune digitaletan. Esperimentazio horiek, EMI berrien diseinuko proiektu baten abiapuntu izango dira, izan ere, erramintaren atalean azaldu den bezala, diseinu berriek helarazi beharko luketen esperientziaren informazio oso interesgarria eskuratzen da EIEHren bitartez. Ondoren, esperimentazio saio horien ebaluazioaren arabera, erramintaren bertsio berriak sortuko dira, esperientziak ahalik eta modu egokienean bildu ahal izateko.

Horretaz gain, erraminta hau EMI industrialetan soilik zentratu beharrean, ingurune digital ezberdinetara ere zuzentzea interesgarria izan daitekeela ikusi da. Izan ere, gaur egungo sistema interaktiboen eboluzioa etengabearen ondorioz, enpresek teknologia ezberdin horiek geroz eta gehiago erabiliko dituzte (Posada, 2015), beraz interesgarria izango litzateke erraminta hau aukera desberdin horietara nola egokitzen den aztertzea.

Amaitzeko, sarreran aipatu bezala, EIEH erraminta metodologia oso bateko parte izateko sortu da. Metodologia hori DANOBTGROUP S.COOP eta DBZ-MUren arteko elkarlaneko ikerketa proiektuaren helburu da, beraz, ondorengo lanak metodologia horren garapenera bideratuta egongo dira. Metodologia hau industriako inguru digitaleko interakzioaren esperientzia diseinatzeke gida izango da. Aurkeztu den erramintak, aldiz, egungo sistemaren esperientziak aztertzeko aukera ematen du soilik, baina ondoren bildutako esperientzia horietatik ideiak sortu, diseinu berriak garatu, eta horiek guztiak ebaluatzeke moduak ere aztertu behar dira, sistema berriaren esperientzia osotasunean diseinatu ahal izateko.

Horretaz gain, erraminta hau EMI industrialetan soilik zentratu beharrean, ingurune digital ezberdinetara ere zuzentzea interesgarria izan daitekeela ikusi da. Izan ere, gaur egungo sistema interaktiboen eboluzioa etengabearen ondorioz, enpresek teknologia ezberdin horiek geroz eta gehiago erabiliko dituzte (Posada, 2015), beraz interesgarria izango litzateke erraminta hau aukera desberdin horietara nola egokitzen den aztertzea.

Amaitzeko, sarreran aipatu bezala, EIEH erraminta metodologia oso bateko parte izateko sortu da. Metodologia hori DANOBATGROUP S.COOP eta DBZ-MUren arteko elkarlaneko ikerketa proiektuaren helburu da, beraz, ondorengo lanak metodologia horren garapenera bideratuta egongo dira. Metodologia hau industriako inguru digitaleko interakzioaren esperientzia diseinatzeko gida izango da. Aurkeztu den erramintak, aldiz, egungo sistemaren esperientziak aztertzeko aukera ematen du soilik, baina ondoren bildutako esperientzia horietatik ideiak sortu, diseinu berriak garatu, eta horiek guztiak ebaluatzeko moduak ere aztertu behar dira, sistema berriaren esperientzia osotasunean diseinatu ahal izateko.

5. Erreferentziak

- Daae, J. (2015). A classification of user research methods for design for sustainable behaviour. *Journal of Cleaner Production*(106), 680-689.
- Hassenzahl, M. (2010). *Experience Design. Technology for All the Right Reasons*. Morgan Y Claypool.
- Lasa, G., Justel, D., Retegi, A. eta Aranburu, E. (2015). Etxean jakiak hobeto aprobetxatzeko produktu berri baten diseinua: Esperientzien diseinua ardatz hartuta. *Ikergazte* 2015.
- Isen, A.M. (2001). *An Influence of Positive Affect on Decision Making in Complex Situations: Theoretical Issues With Practical Implications*. Journal of Consumer Psychology Volume 11, issue 2.
- Maslow, H. (1943). *A Theory of Human Motivation*. Brooklyn College.
- McCarthy, J., & Wright, P. (2010). *Experience-Centered Design. Designers, Users, and Communities in Dialogue*. Morgan & Claypool.
- Miaskiewicz, T. (2011). Personas and user-centered design: How can personas benefit product design processes? *Design Studies*, 32(5), 417-430.
- Pine, B., & Gilmore, J. (1999). *The Experience Economy*. Boston: Harvar Business Press.
- Posada, J. (2015). Visual Computing as Key Enabling Technology for Industry 4.0 & Industrial Internet. *IEEE Computer Graphics and Applications*.
- Sheldon, K. M. (2001). What is satisfying about satisfying events? Testing 10 candidate psychological needs. *Journal of personality and social psychology*.
- van Boven, L., & Gilovich, T. (2003). To Do or to Have? That Is the Question. *Journal of Personality and Social Psychology*, 85(6), 1193-1202.
- Vredenburg, K. (2002). A Survey of User-Centered Design Practice. *A Survey of User-Centered Design Practice*. Minnesota: CHI Letters.
- Wilson, C. (2014). *Interview Techniques for UX Practitioners: A User-Centered Design Method*. Elsevier.

6. Eskerrak eta oharrak

DANOBATGROUP S.COOP enpresaren finantzazioaz burutu den proiektua izanik, gure esker ona adierazi nahi diegu. Era berean, Mondragon Goi Eskola Politeknikoaren eta Diseinu Berrikuntza Zentroaren babesa eskertu nahi dugu. Azkenik, proiektu honetan parte hartu duten pertsona ezberdinei ere gure esker ona helarazi nahi diegu.

Nekazaritza-industriatik lortutako azpiproduktuen erabilera proteinan oinarritutako filmak garatzeko

Tania Garrido¹, Miriam Peñalba², Pedro Guerrero¹, Koro de la Caba¹

*BIOMAT Ikerketa Taldea, Ingeniaritza Kimikoa eta Ingurumenaren Ingeniaritza Saila (1), Fisika Aplikatua I Saila (2). Gipuzkoako Ingeniaritza Eskola, Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU), Europa Plaza 1, 20018 Donostia
tania.garrido@ehu.eus*

Laburpena

Soja-proteina isolatua (SPI) eta keratina hidrolizatua (HK) erabili ziren konpresio bidezko filmak garatzeko. Argitaratutako beste ikerkuntza-lanetan ikusi zen produktu toxikoak edo garestia erabiltzen zirela keratina hidrolizatua lortzeko. Hala ere, lan honetan metodo berri bat proposatu zen; metodo hau errazagoa, ingurumenarekiko errespetutsuagoa eta merkeagoa izanik. Soja-proteinan oinarritutako filmei keratina hidrolizatua gehituz gero, alde batetik, nekazaritzako azpiproduktuei balio erantsia ematen zaie, eta bestetik, soja-proteinan oinarritutako filmen sufren kantitatea handitzen da. Beraz, disulfuro loturak eratze gaitasuna handi daiteke eta filmen egonkortasun kimikoa eta termikoa hobetzen da.

Hitz gakoak: soja-proteina, oilo-lumak, balorizazioa, keratina hidrolizatua, filmak

Abstract

Soy protein isolate (SPI) and hydrolyzed keratin (HK) were employed to develop compression moulded films. Unlike other published research works, in which toxic chemicals or expensive methods are usually employed to hydrolyze feather keratin, in this research a novel approach was addressed to obtain a simple, environmentally friendly and inexpensive method to obtain hydrolyzed feather keratin. In addition to the valorisation of agro-industrial by-products, the main aim of the incorporation of hydrolyzed keratin into film forming formulations was to increase the sulphur content and thus, the ability to form disulphide bonds, improving the chemical and thermal stability of the films.

Keywords: soy protein, chicken feathers, valorisation, hydrolyzed keratin, films

1. Sarrera eta motibazioa

Ontziratze sektorean ez-berriztagarriak eta ez-biodegradagarriak diren polimeroen erabilera intentsiboak arazo handia sortzen du hondakinen kudeaketan; xede honetarako erabiltzen diren materialei erabilera bakarra eman ondoren zakarrontzira botatzen baitira. Biopolimeroak, esaterako proteinak, jatorri ez-berriztagarriko polimeroak ordezkatzeko aukerarik hedatuena dira; izan ere, biodegradagarriak, merkeak eta berriztagarriak dira (Gómez-Estaca et al., 2016; Gupta eta Nayak, 2015). Biopolimeroen artean, oilo-lumak hegazti-industriatik azpiproduktu gisa eskuratzen dira. Hauek, berriztagarriak eta biodegradagarriak izateaz gain, eskuragarritasun handia dute. Oilo-lumen osagai nagusia proteinak dira (%91) eta hauek aldi berean, keratinaz osatuta daude, gehienbat (Song et al., 2014). Keratinak elkarrekintza ez-kobalenteak eta kobalenteak ditu. Elkarrekintza ez-kobalenteen artean, indar elektrostatisak, hidrogeno-loturak edo indar hidrofobikoak daude; berriz, kobalenteen artean, disulfuro loturak aurkitzen dira. Disulfuro lotura hauek sendoak eta beraz, apurtzeko zailagoak direnez, disolbatzaile arrunt askotan disolbaezina da keratina (Tanase eta Spiridon, 2014; Wang eta Cao, 2012). Hortaz, zenbait metodo fisiko, kimiko eta biologiko erabili izan ohi dira keratinak osatzen dituen loturak apurtzeko eta ondorioz keratina disolbagarria egiteko. Hala eta guztiz ere, erabilitako metodo hauek zenbait desabantaila dituzte, izan ere, batzuetan produktu toxikoak erabiltzen dira, metodo garestia izan ohi dira edota prozesatze denbora altuak erabiltzen dira. Horregatik, metodo hauek erabiliz gero, merkatu-bideragarritasuna galdu daiteke.

Ikerkuntza-lan honetan, keratina hidrolizatua lortu zen metodo erraz, ingurumenarekiko jasangarri eta merke baten bidez. Horretarako, tenperaturarik gabeko hidrolisi alkalinoa erabili zen. Keratina hidrolizatu hau sufren-iturri gisa erabili zen soja-proteinan oinarritutako filmetan; izan ere, filmei keratina hidrolizatua gehitzearen helburu nagusia, disulfuro loturen kantitatea

handitzea zen filmen propietate funtzionalak hobetzeko. SPI/HK filmak konpresio-metodoa erabiliz garatu ziren eta bere propietate termiko eta morfologikoak aztertu ziren.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Azkeneko urte hauetan, nekazaritza-industrian lortutako azpi-produktuei eta hondakinei balio erantsia ematea izan da ikerkuntza askoren muina, bai arrazoi ekonomikoengatik bai ingurumenarekiko dagoen kezkatik. Soja-proteina isolatua (SPI) soja-olioa ekoizterakoan lortzen da eta propietate egokiak dituzten material jasangarriak garatzeko erabili izan da (Garrido et al., 2014; Guerrero et al., 2013). Hala ere, SPI-ren aplikazioa mugatua da bere izaera higroskopikoagatik eta hauskortasunagatik, hain zuzen. Horren ondorioz, aldaketa batzuk egin behar dira materiala erabilgarria lortzeko. Gauzak horrela, plastifikatzaileen eta beste biopolimero batzuen gehikuntza beharrezkoa da filmak prozesatzeko nahiz amaierako propietateak hobetzeko (Cao et al., 2007; Su et al., 2010). Oilo-lumen keratinaren sufre kantitatea SPI-rena baino handiagoa izanik, hau sufre-iturri egokia izan daiteke disulfuro loturen sorrera sustatzeko eta horrela SPI filmen propietate funtzionalak hobetzeko.

Hori dela eta, ikerkuntza-lan honen helburuak hurrengoak dira:

- Ingurumenarekiko errespetutsua, erraza eta eraginkorra den metodoa erabiltzea disolbagarria den keratina lortzeko.
- Lortutako keratina hidrolizatua erabiltzea soja-proteinen materialen sufre kantitatea handitzeko eta beraz, materialen propietate fisiko-kimikoak hobetzeko.
- SPI/HK filmak konpresio-metodoaren bidez garatzea.
- Filmaren propietate kimiko, termiko eta morfologikoak aztertzea.

3. Ikerketaren muina

3.1 Filmaren prestaketa

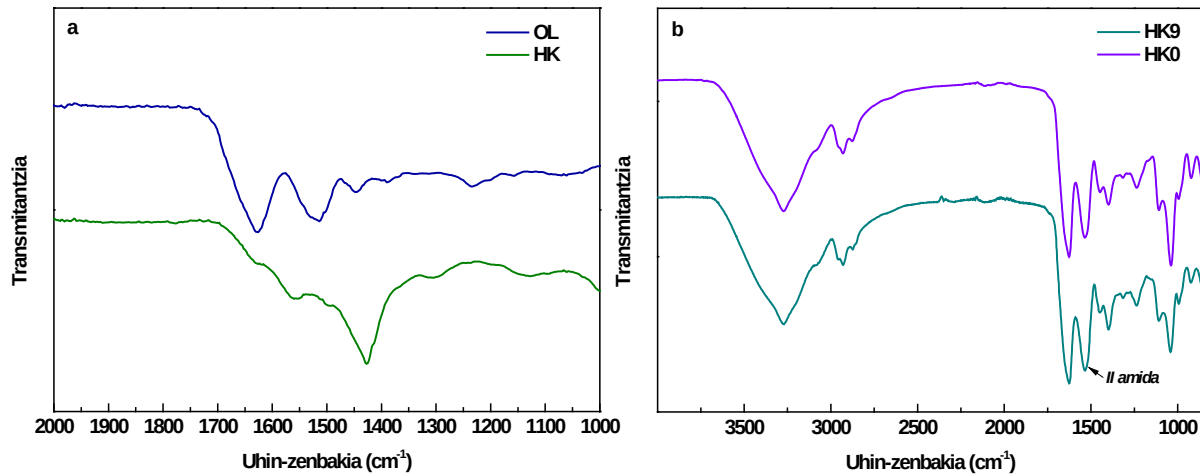
Hasteko, oilo-lumak urarekin garbitu eta giro tenperaturan lehortu ziren. Gero, lumak zati txikitik moztu eta eho egin ziren eta metanolarekin nahastu ziren. Ondoren, tratatutako oilo-luma hauek (OL), NaOH-rekin nahastu ziren giro tenperaturan lumak disolbatu arte. Segidan ur distilatua gehitu zen eta soluzioa iragazi zen keratina hidrolizatua (HK) lortzeko. Oilo-lumen kantitatea %3, 6 eta 9-an finkatu zen HK soluzioan.

Bestalde, filmaren prestaketarako, soja-proteina HK soluzioan disolbatu zen. Gainera, glizerola gehitu zen plastifikatzaile gisa. Ondoren SPI/HK soluzioa liofilizatu zen eta lortutako hautsa aluminiozko bi xaflen artean ipini zen, presioa eta tenperatura aplikatuz. Horrela konpresio filmak lortu ziren. Prestatutako filmak HK0, HK3, HK6 eta HK9 gisa izendatu ziren.

3.2 Keratina hidrolizatuaren (HK) eta filmaren karakterizazioa

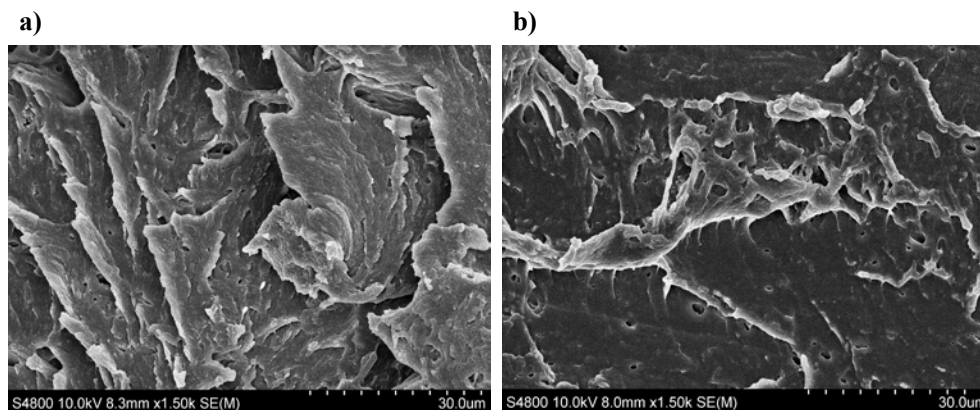
Filmaren barne-egitura aldaketak eta osagaien arteko bateragarritasuna Fourier-en transformatuaren bidezko espektroskopia infragorria (FTIR) analisiaren bidez aztertu ziren eta espektroak **1. irudian** agertzen dira. Lan honetan erabilitako tratamendu alkalinoak oilo-lumetan eragindako aldaketa kimikoak **1a. irudian** ikusten dira. Ikus daitekeen bezala, metodo alkalino honek proteinaren absortzio-banda nagusien intentsitate aldaketak gauzatu zituen; baita absortzio-banden frekuentzien desplazamendua ere. Hori dela eta, proteinaren egituraren aldaketa adierazgarriak gauzatu zirela berretsi daiteke. Filmei dagokienez (**1b. irudia**), konkretuki HK9 filmaren kasuan, II amidarekin erlazionatutako banda frekuentzia altuetara desplazatu zen keratina hidrolizatua gehituz. Jakinaenez, II amida N-H loturaren kurbadurarekin erlazionatuta dago, eta hau aldi berean, hidrogeno-loturen aldaketekin erlaziona daiteke. Gauzak horrela, amidaren frekuentzia aldaketa honek keratina hidrolizatuaren amino taldeen artean eta soja-proteina eta glizerolaren hidroxilo taldeen artean hidrogeno-lotura berriak eratu direla iradoki daiteke. Horren ondorioz, osagaien arteko bateragarritasun ona dagoela konfirmatu daiteke.

1. irudia. a) Oilo-lumen (OL) eta keratina hidrolizatuaren (HK) eta b) kontrol-laginaren (HK0) eta %9 keratina hidrolizatua duen laginaren (HK9) FTIR espektroak



Filmen morfologia eta osagaien arteko bateragarritasuna ekorketazko mikroskopio elektronikoaren (SEM) bidez ikertu zen (**2. irudia**). Irudiek erakusten dutenez, keratina hidrolizatuaren gehikuntzarekin egitura homogeneoago bat lortu zen. Hau HK9 filmak sufre kantitate handiagoa duelako gerta daiteke. Izan ere, sufre kantitatea handitzean sulfuro loturen eraketa sustatu daiteke eta hortaz, osagaien arteko loturak hobetzen dira baita sistemaren saretzea ere.

2. irudia. SEM bidez lortutako a) HK0 filmaren (kontrol-lagina) eta b) HK9 filmaren zeharkako sekzioen irudiak



4.Ondorioak

Giro tenperaturan erabilitako tratamendu alkalinoa metodo egokia izan zen oilo-lumetatik keratina hidrolizatu eskuratzeko. Keratina hidrolizatu hori uretan disolbagarria zen eta soja-proteinan oinarritutako filmen sufre-iturri natural gisa erabili zen disulfuro loturak sustatzeko. Hori dela eta, filmen osagaien arteko elkarrekintzak handitu ziren. Gainera, proteinaren egituraren gertatutako aldaketak keratina hidrolizatuaren karakterizazio kimikoarekin berretsi ziren; izan ere, gertatutako egitura aldaketak proteinaren disoluzioa eragin zuen. Bestalde, soja-proteina eta keratina hidrolizatuaren arteko bateragarritasun ona baieztatu zen.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Lan honetatik abiatuta planteatzen diren erronkak eta bideak hurrengoak dira:

- Filmak beste prozesatze-metodo batzuk erabiliz garatuko dira. Izan ere, filmak egiteko aukeratutako prozesatze-metodoa zuzeneko eragina du filmaren barne-egiturari eta hortaz, amaierako propietateetan ere bai.
- Keratina hidrolizatuak filmen amaierako propietateetan duen eragina aztertuko da. Horretarako, filmen propietate fisiko-kimikoak, optikoak, mekanikoak eta morfologikoak modu sakonago batean ikertuko dira.

6. Erreferentziak

- Cao, N., Fu, Y. eta He, J. (2007), Preparation and physical properties of soy protein isolate and gelatin composite films. *Food Hydrocolloids*, 21, 1153-1162.
- Garrido, T., Etxabide, A., Leceta, I., Cabezudo, S., de la Caba, K. eta Guerrero, P. (2014), Valorization of soya by-products for sustainable packaging. *Journal of Cleaner Production*, 64, 228-233.
- Gómez-Estaca, J., Gavara, R., Catalá, R. eta Hernández-Muñoz, P. (2016), The potential of proteins for producing food packaging materials: A review. *Packaging Technology and Science*, 29, 203-224.
- Guerrero, P., Garrido, T., Leceta, I. eta de la Caba, K.. (2013), Films based on proteins and polysaccharides: Preparation and physical-chemical characterization. *European Polymer Journal*, 49, 3713-3721.
- Gupta, P. eta Nayak, K.K.. (2015), Characteristics of protein-based biopolymers and its applications. *Polymer Engineering and Science*, 55, 485-498.
- Song, N.B., Lee, J.H., Al Mijan, M. eta Song, K.B. (2014), Development of chicken feather protein film containing clove oil and its application in smoked salmon packaging. *LWT-Food Science and Technology*, 57, 453-460.
- Su, J.F., Huang, Z., Wang, X.Y. eta Li, M. (2010), Structure and properties of carboxymethyl cellulose/soy protein isolate blend edible films crosslinked by Maillard reactions. *Carbohydrate Polymers*, 79, 145-153.
- Tanase, C.E. eta Spiridon, I. (2014), PLA/chitosan/keratin composites for biomedical applications. *Materials Science and Engineering: C*, 40, 242-247.
- Wang, Y.X. eta Cao, X.J. (2012), Extracting keratin from chicken feathers by using a hydrophobic ionic liquid. *Process Biochemistry*, 47, 896-899.

7. Eskerrak eta oharrak

Tania Garridok EHU-ko Euskara Errektoreordetzari eskertu nahi dio euskarazko tesia sustatzeko emandako diru-laguntza. Egileek Euskal Herriko Unibertsitateari (UVP/EHU) eskertu nahi diote emandako diru-laguntza (GIU15/03 ikerketa-taldea). Beste horrenbeste Gipuzkoako Foru Aldundiari, proiektua egiteko emandako diru-laguntzagatik (OF215/2016 (ES)).

Gailu Elektrikoek sortutako Erradiazioaren Estimazio Determinista Metodo Hibrido berri baten bidez

Lopez-Iturri, Peio¹; Aguirre, Erik¹; Azpilicueta, Leyre²; Rodriguez-Ulibarri, Pablo¹; Beruete Miguel¹; Falcone, Francisco¹

¹*Ingeniaritza Elektriko eta Elektronikako departamentua, Nafarroako Unibertsitate Publikoa*

²*School of Engineering and Sciences, Tecnológico de Monterrey, Mexico*
peio.lopez@unavarra.es

Laburpena

Lan honetan metodo berri bat aurkezten da gailu elektrikoek sortutako erradiazioa estimatzeko. Horretarako, gailuen modeloa lortzen da 3D Ray Launching algoritmoan sartzeko. Mikrouhin labea da analizatutako gailua. Aurkeztutako metodoak, eremu elektromagnetikoaren simulazioaren bitartez labearen erradiazio eskema lortzen du. Mikrouhin labeek atean duten sare metalikoaren konplexutasuna dela eta, S-parametroen berreskuratze prozesua egin behar izan da simulazioak ahalbidetzeko. Lortutako emaitzak 3D Ray Launching algoritmoan sartu dira erradiazio iturri baliokideak bezala. Horrela, mikrouhin labeak sortutako erradiazioaren estimazioa egin ahal da labea kokatuta dagoen ingurune osoaren bolumenean. Azken emaitza hauek neurriekin konparatu dira metodoaren baliotasuna bermatzeko. Metodo honek gaur egungo eta etorkizuneko haririk gabeko komunikazio sareen (WSN, IoT, 5G) hedatze-plangintza egokia baliatuko dute gailu elektrikoek sortutako interferentziak ekiditeko balio dezakelako.

Hitz gakoak: interferentzia elektromagnetikoa, 3D Ray Launching, iturri baliokideak, parametro berreskuratzea, mikrouhin labea

Abstract

In this work, a method for modeling the leaked radiofrequency radiation from electrical appliances is presented, with the aim of obtaining a model for a 3D Ray Launching algorithm. The appliance under analysis is a common domestic microwave oven. The method uses numerical electromagnetic field simulations to obtain the oven radiation pattern. Due to the complexity of the metallic mesh of the oven's door, a retrieval process has been carried out in order to accelerate the electromagnetic field simulation. This result is incorporated to an in-house developed 3D Ray Launching algorithm by obtaining equivalent radiation sources. Finally, the microwave oven leakage is obtained for the complete volume of an indoor scenario. The estimated results are then compared with experimental measurements, with good agreement. The proposed model is useful to predict accurately the leakage of the domestic microwave oven within a complete complex indoor scenario, aiding in further radio planning considerations.

Keywords: electromagnetic interference, 3D Ray Launching, equivalent sources, parameter retrieval, microwave oven

1. Sarrera eta motibazioa

Azken bi hamarkadetan haririk gabeko komunikazioen gorakada ikaragarria bizi izan dugu, gero eta handiagoa bihurtzen ari dena WSN (Wireless Sensor Networks), IoT (Internet of Things) eta 5G sareen garapena dela eta. Sare guzti hauen hedatzea egokia eta optimoa ahalbidetzeko, haririk gabeko kanala aztertze lanabes zehatza eta erabilgarria da 3D Ray Launching metodoa. Baina hau ez da betebeharrak erraza. Haririk gabeko sareak gero eta ingurune konplexuagotan ezartzen ari dira, eta ingurunearen topologiak eta morfologiak gain, interferentzia elektromagnetikoek eragin handia izan dezakete haririk gabeko komunikazioetan, eta hortaz, sarearen funtzionamendu orokorrean. Horregatik, Nafarroako Unibertsitate Publikoan garatutako 3D Ray Launching simulazio softwarean oinarritutako metodoa garatu dugu gailu elektrikoek sortutako interferentziak estimatu ahal izateko. Iristeko dauden eta gaur egun azaleratzen ari diren haririk gabeko teknologien arrakasta bermatzeko, ezinbesteko pausua da radio-plangintza ahalbidetzen duten hau bezalako teknikak garatzea eta erabiltzea.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Mikrouhin labea oso zabalduta dagoen gailu elektronikoa da. Labe hauen bero iturria magnetroiak dira. Sortutako potentzia labearen barrutira bideratzen da han dagoen objektua berotzeko. Baina sortutako potentzia (eremu elektromagnetikoa) ez da guztiz barrutian geratzen: potentzia horren zati batek ihes egiten du kanpoaldera, atearen zirrikitu eta zulodun sare metalikotik gehien bat. Labetik ihes egindako potentziak 2.4GHz ISM bandan aritzen diren haririk gabeko komunikazio sistemak interferi ditzakete (Soltysiak et al., 2011). Beraz, gero eta gehiago aurki daitezkeen haririk gabeko aplikazioak mikrouhin labeetatik ihes egindako potentziak eragin diezaieke.

Mikrouhinek sortzen duten eremu elektromagnetikoaren simulazioak ageri dira dagoeneko bibliografian, FDTD (Finite-Difference Time-Domain) metodoa erabiliz eta labearen barnealdeko edota inguru hurbileko emaitzak lortuz (Sung Yi et al., 2001). Mikrouhin labea oso ezaguna den interferentzia iturria izan arren, ia ez dago honek sortzen duen interferentzia ingurune erreal batean estimatzen duten modeloak ezta metodoak ere (Matsumoto et al., 2003). Berez, labearen interferentziaren karakterizazioa gure taldeak argitaratutako lan batean ageri da lehendabizikoz (Lopez-Iturri, et al., 2012). Oraingo lan honetan, mikrouhin labearen modelo bat lortu da 3D Ray Launching algoritmoan erabiltzeko, non igorritako eremu elektromagnetikoa ahalbidetzen duen. Aurkeztutako metodoa edozein gailu elektroniko modelatzeko erabil daiteke.

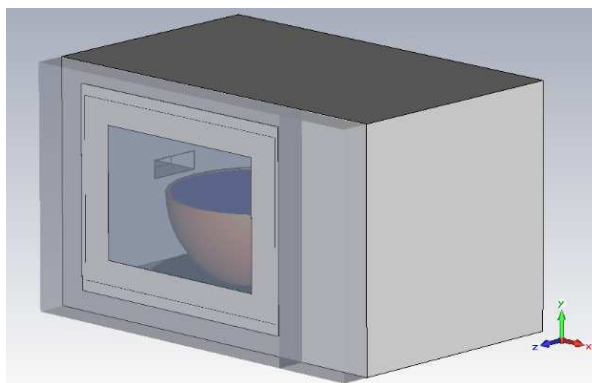
3. Ikerketaren muina

3.1 Mikrouhin labearen eremu elektromagnetikoaren simulazioa

Aurkezten dugun metodoaren lehen pausoa labeak sortutako eta ihes egindako eremu elektromagnetikoaren karakterizazioa lortzea da (labearen inguru hurbilean). Horretarako, CST Microwave Studio softwarea erabili da. Labe modelo eraikitzeko garaian, inpedantzia-gainazal baliokidea kalkulatu behar izan da labearen ateko sare metalikoaren ordeztzeko. Lan honetan erabili den mikrouhin labearen barrutiaren dimentsioak hauexek dira: zabalera = 285mm, altuera = 205mm eta sakonera = 270mm. Gehieneko potentzia 800W-ekoa da. Lan honetan aurkezten diren emaitzak 800W-eko potentzia erabiliz lortu dira. Eraikitako labearen modelo simulazioetarako 1.irudian ageri da.

Labe barrutian dauden objektuen eragina esanguratsua denez, neurketetarako erabili diren elementuak simulatzeko modeloan sartu egin dira (ontzia urez beteta plataforma biratzailearen gainean), haien benetako neurriak eta propietate elektromagnetikoak erabiliz.

1. irudia. CST simulazioetarako eraikitako mikrouhin labea.



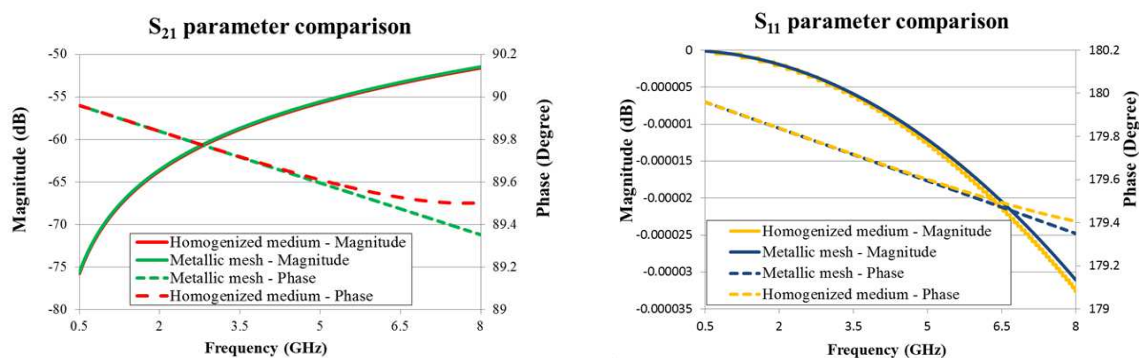
Kanpora ihes egindako eremu elektromagnetikoa karakterizatzeko, labearen atea eta bere sare metalikoa dira elementu garrantzitsuenak. Lehen aipatu den bezala, sare metalikoa inpedantzia-gainazal baliokide batekin ordezkatu da simulazioak egin ahal izateko. Horretarako, lehenengo sarearen S-parametroak lortu dira, 'unit cell' simulazioa eginez. Gero, parametro berreskuratze

algoritmo (parameter retrieval) bat erabili da inpedantzia-gainazal homogeneoa zehazteko. Prozedura hau historikoki metamaterialen parametroak aurkitzeko erabili ohi da. S-parametroetatik abiatuta inpedantzia baliokidea kalkulatzeko, hurrengo formula erabili da:

$$Z = \pm \sqrt{\frac{(1 + S_{11})^2 - S_{21}^2}{(1 - S_{11})^2 - S_{21}^2}} \quad (1)$$

Prozedura hau balioztatzeko, simulazio berriak egin dira lortutako inpedantzia-gainazal homogeneoaren S-parametroak lortzeko. Horrela, sare metalikoaren eta inpedantzia-gainazalaren S-parametroak konparatu daitezke, berdinak diren ikusteko. 2. irudian ikusi ahal denez, oso alde txikia, baztergarria egiaz, dago sare metalikoaren eta gainazal homogeneoaren arteko parametroen artean. Bai magnitudean bai eta fasean ere. Ezkerreko grafikoa transmisio S-parametroa irudikatzen da (S_{21}) eta eskuinekoan islatze parametroa (S_{11}). Beraz, lortutako gainazal homogeneoa balioztatutik dago labe modelo osoaren simulazioetan erabiltzeko.

2. irudia. Labearen ateko sare metalikoaren eta lortutako gainazal homogeneoaren S_{21} eta S_{11} parametroen konparaketa.



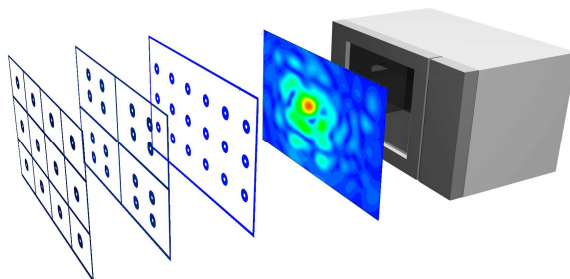
3.2 Iturri baliokideak lortzen 3D Ray Launching simulazioetarako

Baliokidetza printzipioa (Equivalence Principle) formulatu zenetik badakigu irradiatzen duen edozein objektu iturri baliokidez deskribatu ahal dela (Alvarez et al., 2007). Gainera, Huygens printzipioa iturri baliokideak kalkulatzeko erabilia izan da hurbileko eremu elektromagnetikotik abiatuta urrutiko erradiazioa estimatzeko (Bush, 1990).

Lan honetan, aurreko ataleko simulazioak oinarritzat hartuz, iturri baliokideez osatutako antena egitura bat diseinatu da labearen alde bakoitzerako. Antena egitura hauek 3D Ray Launching algoritmoan sartu dira mikrouhin labeari ihes eginiko eremu elektromagnetikoa estimatu ahal izateko ingurune jakin batean. Erabilitako 3D Ray Launching algoritmoa aurreko lan askotan balioztatua izan da eta bere funtzionamendua azalduta izan da (Azpilicueta et al., 2014).

Antena egitura hauek transmititzen duten potentzia kalkulatzeko, CST bitartez simulatutako mikrouhin labeak ingurune hurbilean duen eremu elektrikoa aintzat hartu da. Labearen aurreko aldeko eremu elektrikoaren errepresentazioa ikus daiteke 3. irudian, labetik hurbilen dagoen plano koloreduna. Labea inguratzen duten plano bakoitzeko eremu elektrikoaren media lortu ostean, plano bakoitzean kokaturik egon diren antena egiturek transmitituko duten potentzia kalkulatu da.

3. irudia. Mikrouhin labeko aurreko planoko eremu elektrikoaren distribuzioa, CST simulazioan oinarrituta (labearen hurbilen dagoen plano koloreduna) eta antena egitura ezberdinak 3D Ray Launching simulazioetan erabiltzeko.

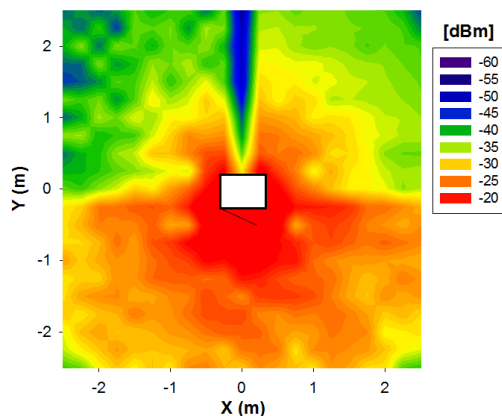


Labe inguratzen duten plano bakoitzean egongo diren antena egiturak definitzeko, parametro ezberdinak hartu dira kontutan, hala nola antena kopurua, potentziaren distribuzioa antenen artean eta antenen arteko distantzia (Kraus eta Marhefka, 2002). Behin antena egiturak definitzean, lehen kalkulaturako potentzia haien artean banatu egin da distribuzio uniforme, binomiala eta triangularra erabiliz. 24 antena egitura ezberdin simulatu ondoren, aurreko planorako 12 antenako egitura zehatza lortu da (1.06dB-zko errorea duena neurketekin konparatuz). Kasu hau 3. irudiko labetik urrunen dagoen planoak irudikatzen du.

Aurreko planorako antena egitura zehatza lortu ostean, prozedura berdina jarraitu da gainontzeko planoetarako (goiko, alboetako eta atzeko planoak). Horrela, labe osoaren modeloa lortu da. Zehazki, goiko eta atzeko planoak 12 antenaz osaturik daude, eta alboetako planoak 9 antenaz, txikiagoak baitira plano hauek. Azpiko planoak ez da kontutan hartu labearen modelo osoa egiteko, eremu elektriko maila oso txikia duelako. 4. irudiak labe modelo osoaren 3D Ray Launching simulazioaz lortutako potentzia maila erakusten du. Labea eta bere atea irudiaren erdian agertzen dira, ihes egindako potentzia inguru osoan ikus ahal izateko.

4. irudia. Iturri baliokideetan oinarritutako mikrouhin labearen modeloaren 3D Ray Launching simulazioa.

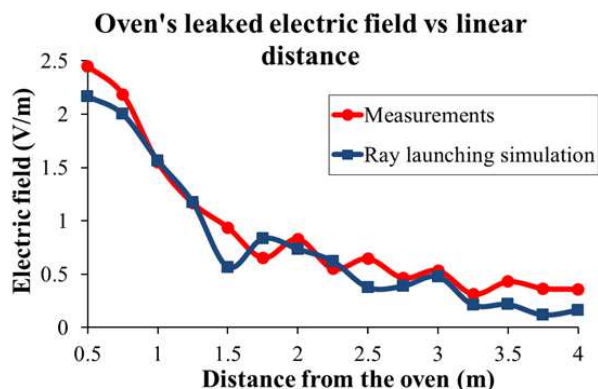
Complete oven Ray Launching simulation results



Metodoa balioztatzeko, eszenario erreal batean jarri da funtzionatzen mikrouhin labea, ihes egindako potentziaren neurriak hartzeko eta simulazioetan lortutako emaitzekin alderatzeko. Eszenario Nafarroako Unibertsitate Publikoko Ikerketa eta Garapeneko eraikinean kokaturik dago. Eszenario ez ideala eta ez anekoikoa hautatu da, horrelakoak baitira mikrouhin labeak kokaturik ohi dauden lekuak. Labetik ihes egindako potentzia Agilent N9912A espektro analizatzaile batez eta 7dBi-ko ganantzia duen antena omni-direkzional batez (LevelOne-eko OAN-1070 modeloa) neurtu da. Neurketa eremua 37.5m^2 -ko azalera batera ($5\text{m} \times 7.5\text{m}$) mugatu da. Bertan 650 neurketa puntu ezarri dira, 0.25m-ko distantziaz haien artean. Adibide gisa, 5.

irudian neurtutako eta simulatutako eremu elektrikoaren arteko konparaketa erakusten da, justu labe aurrean kokaturik dauden neurketa puntuetan. 650 neurketa puntuak kontutan hartuz, neurketa eta simulazioen arteko errore medioa 0.15dB-koa da, 0.35-eko desbideratze estandarrarekin. Hau da, oso errore txikia da, eta beraz, garatu den metodo eta modeloa balioztaturik geratzen dira.

5. irudia. Neurketa eta simulazioen arteko alderaketa mikrouhin labe aurrean kokaturik dauden neurketa puntuetan.



4. Ondorioak

Lan honetan, mikrouhin labeetatik ihes egiten duen eremu elektromagnetikoa estimatzeko balio duen metodo eta modeloa aurkeztu egin da. Karakterizazio honek labeek irradiatzen duten potentzia estima daiteke ingurune jakin baten barnean, non ISM 2.4GHz haririk gabeko komunikazio sareak egon daitezkeen eta interferi ditzakeen. Lortutako emaitzak neurketa errealekin konparatuak izan dira, aurkeztutako metodoa balioztatuz.

Proposatutako metodoa zehatza azaldu da gailu elektronikoek (kasu honetan mikrouhin labea) irradiatutako eremu elektromagnetikoa estimatzeko. Honek, haririk gabeko komunikazio sistemak toki jakin batean kokatu baino lehen egin beharreko plangintza egokia (interferentziak ekiditeko) ahalbide dezake.

Gainera, estimatutako eremu elektrikoaren maila dosimetria azterlanetan erabil daiteke, ICNIRP-ek zehazten dituen esposizio mailak gainditzen diren ala ez jakiteko, adibidez.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Etorkizunari begira, garatu den metodoa balioztatua izan den arren, bakarrik mikrouhin labeek aplikatu zaie, eta beste gailu elektriko batzuei aplikatuko zaie, hala nola motorrei, haririk gabeko karga sistemei (auto elektrikoak), trenen konbertitzaile elektrikoek, etab.

Gainera, iturri baliokideen aukeraketa (hau da, antena egiturak) hobetu eta optimizatu nahi da.

6. Erreferentziak

- Alvarez, Y. et al. (2007): "Reconstruction of Equivalent Currents Distribution Over Arbitrary Three-Dimensional Surfaces Based on Integral Equation Algorithms," *IEEE Trans. Antennas and Prop.*, 55, 12, 3460 – 3468.
- Azpilicueta, L. et al. (2014): "Convergence Analysis in Deterministic 3D Ray Launching Radio Channel Estimation in Complex Environments," *ACES Journal*, 29, 4, 256-271.
- Bush, K. B. (1990): "A method for the transformation of arbitrary electromagnetic fields based on Huygens principle," *Proceedings of the IEEE Southern Tier Technical Conference*, Binghamton, NY, USA.
- Kraus, J. D. eta Marhefka, R. J. (2002): *Antennas For All Applications*, McGraw-Hill.

- Lopez-Iturri, P. et al. (2012): "Impact of High Power Interference Sources in Planning and Deployment of Wireless Sensor Networks and Devices in the 2.4 GHz Frequency Band in Heterogeneous Environments," *Sensors*, 12, 11, 15689-15708.
- Matsumoto, Y. et al. (2003): "A time-domain microwave oven noise model for the 2.4 GHz band," *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 45, 3, 561-565.
- Soltysiak, M. et al. (2011): "Measured and Simulated Frequency Spectra of the Household Microwave Oven," *Proceedings of IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, Baltimore, MD, USA.
- Sung Yi et al. (2001): "A study of microwave curing process for underfill used in flip chip packaging. Part 2: 3D FEM simulation of microwave power distribution inside variable frequency microwave oven," *Advances in Electronic Materials and Packaging, EMAP*, Jeju Island, South Korea.

7. Eskerrak eta oharrak

- Lan honetan agertzen diren emaitzak tesi baten barruan lortutako emaitzak dira.

Konputagailuen sarrera/irteeraren hezkuntza prozesurako hurbilpen berritzaile bat

Larraza-Mendiluze, Edurne eta Garay-Vitoria, Nestor¹

Informatika Fakultatea. Manuel Lardizabal pasealekua 1; E-20018 Donostia (Gipuzkoa)

Laburpena

Artikulu hau Informatikaren Hezkuntzaren Ikerketa (ingelesez, *Computing Education Research* CER) lerroaren barruan kokatzen da. Egindako ikerketan, zehazki, konputagailuaren sarrera/irteera (S/I) azpisisistemaren hezkuntza prozesua aztertu da. Gaia lantzeko erabiltzen diren eredu nagusienak, Proiektuetan Oinarritutako Ikaskuntza (POI) nola txertatu, teknologiari buruz i(ra)kasteko teknologia berritzea, ebaluatzeko erabiltzen diren azterketak eta ikasleek prozesuaren bukaeran S/I nola ulertzen duten aztertu da ikerketan zehar. CER ikerketa lerroaren barruan konputagailuen arkitektura adarrean eta zehatzago S/I azpisisistemaren inguruko azterketa bakarrenetako da. Dena den, bere espezifikotasunaren barruan, bertan emandako hausnarketa beste edozein gairen hezkuntza prozesura eramangarria da, Informatikan nahiz beste edozein alorretan.

Hitz gakoak: Informatikaren Hezkuntza ikerkuntza, Sarrera/irteera azpisisistema

Abstract

This paper is framed within the Computing Education Research (CER) area. In the study made, the specific topic analyzed is the education process of the computer input/output (I/O) subsystem. The main models used in the education process of the aimed topic, the introduction of Project Based Learning (PBL), the renovation of the technology used to teach/learn about a specific technology, the exams used to evaluate the students' knowledge and the students' understanding of the topic at the end of the process have been analyzed during the research made. This is one of the few studies in the CER area that treats the computer I/O subsystem inside the Computer Architecture area. Anyway, despite its specificity, this research could be replicated in any other topic, even out of the Computing discipline.

Keywords: Computing Education research, Input/output subsystem

1 Sarrera eta motibazioa

Artikulu honetan konputagailuen sarrera/irteeraren hezkuntza prozesuari buruzko ikerketa lana aurkezten da. Informatika ingeniaritzako graduako lehen mailan, Konputagailuen Egitura ikasgaiko helburuetako bat zera da: ikasleek Sarrera/Irteera (S/I) azpisisistemaren funtzionamendua ikastea, hau da, gizakia eta konputagailuaren arteko komunikazioa nola gauzatzen den ikastea. Azpimarratu behar da S/I azpisisistema oso atal garrantzitsua dela konputagailuetan, prozesatzeko unitate-zentrala (PUZ), memoria eta busak diren bezala. S/I azpisisistema PUZ-arekin eta memoriarekin sinkronizatzeko moduak, eta S/I-k ondo funtzionatzek berebiziko eragina izan dezakete konputagailuaren errendimenduan.

Lan honi ekin izanaren beste arrazoi bat hau da: ikasketen erreformarekin graduako ikasketak izatera pasatu zirenean, UPV/EHUko Informatika Fakultatean S/I azpisisistemaren inguruko gaia jaitsi zela Ingeniaritzako 2. mailako lehen lauhilekotik, Graduako 1. mailako bigarren lauhilekora. S/Iri dagokion gai horretan 2. mailan lortzen ziren emaitzak ez ziren oso onak, beraz, irakasleen kezka nabarmen areagotu zen eta ikerketa bat egitea planteatu zen, ikasleen S/I azpisisistemaren ikaste prozesua hobetu nahian.

Ikerketa mugimendu orokorrago batean kokatzearen, lan hau *Scholarship of Teaching and Learning*

(SoTL) (McKinney, 2010) mugimenduaren barruan koka dezakegu. Mugimendu horren helburua hau da: ikerketa metodologiak hezkuntzan aplikatzea eta ikasketaren inguruan hausnartzea, prozesua eta emaitzak hobetu asmoz. Mugimendu horrek goi mailako hezkuntzan hartu du indarra, baina unibertsitatetik beherako hezkuntzan erabiltzen den *Action Research* (Stringer, 2004) bezalako metodologietan oinarritu ohi da. *Action Research* barruan hezkuntza prozesuan zerbait aldatu ondoren emaitzak aztertzen dira eta aldaketaren ondorioen arabera beste aldaketa batzuk proposatzen dira modu ziklikoan.

Egindako ikerketa hurrengo ataletan laburbiltzen da. Ikerketa osoaren xehetasun gehiago lehen egilearen tesian aurki daitezke (Larraza-Mendiluze, 2014), edota argitaratu dituen artikuluetan zehar; artikulua adierazgarrienak artikulua honetako erreferentzien atalean azaltzen dira.

2 Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Ikerketa Informatikaren Hezkuntzaren Ikerkuntzaren barruan kokatzen da. Informatikako curriculumetan dauden edukiak nola ikasten eta irakasten diren aztertu da bertan. Dena den, ez dira erreferentzia asko aurkitu konputagailuen S/I azpisisistemaren inguruan. Beraz, lana nahiko orijinala izan da.

(Fincher eta Petre, 2004) liburuan dioen bezala, hainbat arlo jorratzen ditu informatikaren hezkuntzaren ikerkuntzak: *Ikasleen ulermena; Animazioa, irudikapena eta simulazioa; Hezkuntza metodologia; Ebaluazioa; Hezkuntzarako teknologia; Lan-munduko jarduteak ikasgelara transmitzea; Garapena eta teknologia berriak txertatzea; Aurrez aurreko hezkuntzatik urruneko hezkuntzarako aldaketa; Informatikara ikasleak erakartzea eta mantentzea; Diziplina eratzea.*

Egindako ikerketak aurreko zerrendako hauek jorratu ditu: *Diziplina eratzea; Garapen eta teknologia berriak txertatzea, Hezkuntzarako teknologia eta Hezkuntzarako metodologia; Ikasleen ulermena; eta Ebaluazioa.*

Ikerketa galdera hauei erantzuteko asmoarekin hasi zen:

- Zer nola egokitu daiteke kontsola eramangarri bat S/I-ko edukiak ikasteko lagungarria izan dadin?
- Nola lagun dezake Proiektuetan Oinarritutako Ikaskuntza (POI) metodologiak S/I-ko edukiak ikasteko prozesuan?
- Zer nola ulertzen dute ikasleek S/I azpisisistema delakoa?

3 Ikerketaren muina

Lehenago esan bezala, gaur egun, konputagailuen S/I azpisisistema lehen mailako bigarren lauhilekoko eta Konputagailuaren Egitura izeneko ikasgaietan ematen da UPV/EHUko Informatika Fakultatean. Ikasgai horren zama 6 ECTS kreditukoa da eta bere helburu nagusia zera da: ikasleek barnera dezaten konputagailuen egitura nolakoa den eta bere osagai nagusiek nola funtzionatzen duten. Ikasgai "Von Neumann" delako arkitekturaren lau osagai nagusiak azaltzen dira: Memoria (ikasgai %5 dena); Agindu-multzoa (ikasgai %45); S/I azpisisistema (ikasgai %45); eta Elkarkonektatzeko sistemak (ikasgai %5).

Ikasgai hori konputagailuen arkitekturaren inguruko ikasgaien artean kokatzen da: *Sistema digitalak diseinatzeko oinarriak; Konputagailuen teknologiaren oinarriak; Konputagailuen egitura; Konputagailuen arkitektura; Sistema eragilearen oinarriak; eta Sistema eragileak.* Horietako ikasgai gehienek ikasleengan zentratutako metodologiak eta ikasteko estrategia aktiboak erabiltzen dituzte.

3.1 Diziplina eratzea

Erreferentzia diren hainbat unibertsitatetan aztertu dugu zeintzuk diren S/I ikasgaiak irakasteko metodoak eta zeintzuk diren erabiltzen diren hurbilketak. Guk Informatika gisa ezagutzen dugun horri atzerrian Konputazio Zientziak ala Konputagailuen Ingeniaritza deritzote orokorrean, eta bereizten dituzte. Berriketa horren arabera bide bat baino gehiago har dezakete S/I ikasgaiak jorratzeko orduan.

Edozein kasutan, (Larraza-Mendiluze eta Garay-Vitoria, 2015) artikuluan azaldu bezala, konputagailuen S/I azpisisistema informatikako titulazioetan derrigorrez irakatsi beharreko edukia da. Dena den, hori irakasteko hurbilketa bat baino gehiago dagoela ikusi dugu. Laburbilduz, aurkitutako erreferentzietan hauek erabiltzen direla esan dezakegu:

- Deskribapen hutseko hurbilketa: S/I azpisistemaren deskribapena ematen zaie ikasleei eta ikasleak kontzeptuak deskribatzeko gai izatea espero da.
- Errendimenduko hurbilketa: S/I zenbait teknikaren arabera, ikasleak konputagailu baten errendimendua neurtzeko gai izango direla espero da.
- Programatzeko hurbilketa: S/I azpisistema funtzionatzeko programak idaztea du helburu, eta horretarako etenak eta konkurrentzia bezalako ideia abstraktuak lantzen dira.
- Seinaleen datu ibilbidearen hurbilketa: oso hurbilketa lagungarria da S/I azpisistemaren barruko hardware-ak nola lan egiten duen ikusteko.

UPV/EHUko Informatika Fakultatean egiten denari dagokionez, gaia 2. mailan kokatzen zenean hurbilketa guztiak lantzen ziren, nahiz eta laster arlo praktikoak deskribapen hutsa alboratu zuen. Programatzeko hurbilketa laborategietan erabiltzen zen eta paperean egiteko ariketak erabiltzen ziren errendimenduari buruzko kontzeptuak lantzeko. Gainera, Karrera Amaierako Proiektu baten bidez seinaleen datu ibilbideak ikusi ahal izateko simuladore bat garatu zen eta ikasleen eskura jarri (Garay-Vitoria *et al.*, 2009). Gradurako jauzia egitean, ordea, ikasgaiaren ordu kopurua murriztu zen eta horrek hurbilketa bat lehenestera behartu zuen. Programatzeko hurbilketa izatea erabaki zen, sistemaren ikuspegi zabalena ematen baitu.

Ikasgaien programak, publikatutako artikuluak eta testu liburuak erabiliz horrelako azterketa bat oso baliagarria izan daiteke nork bere ikasgaia hobeto ulertzeko eta beste batzuk ere hausnarketa egin dezaten bultzatzeko.

3.2 Garapen eta teknologia berriak txertatzea, Hezkuntzarako teknologia eta Hezkuntzarako metodologia

Informatikan ez da erraza izaten bereiztea ea garapen eta teknologia berriak txertatzen ari zaren ala hezkuntzarako teknologiak erabiltzen ari zaren. Ikerketa honekin hasi aurretik S/I gaia lantzeko konputagailu pertsonalak (PCak) erabiltzen ziren. PCek, ordea, oztopoen kopurua areagotzen zuten helburua betetzeko beharrezkoak ziren praktikak aurrera eramanez ahal izateko. Izan ere, sistema eragileen babes mailaren garapenak aurrera joan ahala, orduan eta zailagoa zen S/I gailu edo periferikoak kontrolatzeko baliabideak eskuratzea. Ondorioz, sistema eragilerik gabeko makina baten bila hasi ginen eta eskuko kontsolak horretarako egokiak izan zitezkeela iruditu zitzaigun.

Kontsolen artean, software librea erabiltzen zuten Pandora eta GP2X kontsolak eta software zein hardware pribatiboa zuten PlayStation-eko PSP eta Nintendo DSa (NDS) aztertu genituen. Lehenengo biak, software librekoak izateagatik oso erakargarriak egiten zitzaizkigun arren, eskuratzeko edo haiekin lan egiteko zailtasun handiak topatu genituen. Bestalde, PSParen firmwarearen bertsio zahar bakar batek *homebrew* (etxean sortutakoa) softwarea erabiltzeko aukera ematen zuen. NDSaren inguruan ordea, *homebrew* garatzaileen komunitate nahiko zabala eta makina hori programatzeko ingurunea¹ topatu genituen. Hori lagungarria izango zelakoan, tresna harekin hasi ginen lanean.

Zeintzuk ziren baina, makina haren alderdi positiboak eta zeintzuk negatiboak S/I azpisistema gaia programazioaren hurbilketarekin lantzeko?

(Larraza-Mendiluze *et al.*, 2013) artikuluan planteatzen da nola erabili NDS makina POI metodologiarekin batera. Etenak kudeatu eta horientzako zerbitzu errutinak programa daitezke. Bi prozesadore erabiltzen ditu eta horrek sor dezakeen zailtasuna gehiegizkoa izan daiteke lehenengo mailako ikasleentzat. Hala ere, teklatuaren tekla gehienak eta tenporizadorea, irudiak tratatzen dituen prozesadoreetik erabil daitezke. Ukiten pantaila beste prozesadoretik kontrolatu behar bada ere, saihasbide bat aurkitu genuen ikasleek beste gailuak bezalaxe programa zezaten. Bigarren prozesadorea egotea ikasleentzat gardena egin genuen.

NDSaren ezaugarriak direla eta, POI metodologiaren barruan bideo-jokoen garapena ezarri genuen testuinguru gisa. Izan ere, Wu eta Wang (2012)-ek dioten bezala, bideo-jokoen garapena tresna pedagogikoa ere bada. Artikulu horretan aipatzen dira jokoak garatzeko erabiltzen diren euskarriak eta jokoen garapenean oinarritutako ikaskuntza nola erabili den zenbait esparrutan.

¹<https://sourceforge.net/projects/devkitpro/> devkitPro: Homebrew toolchains for wii, gamecube, 3ds, gba, gp32 and psp, 2017ko otsailaren 23an bilatua.

S/I azpisistema lantzeko gure ikasleek egiten dituzten proiektuetan S/I gailuak zuzenean kudeatzen ikasten dute. Adibidez, tekla bat sakatzeko duen eragina programa osoan zehar kudeatzen dute eta gertaera berari erantzun anitzak ematen ikasten dute. Kasu zehatz batean, gorako gezia duen tekla sakatzeko tekla hori sakatu dela kontrolatu beharko dute eta horren eragina programatu: demagun pantailan agertzen den marrazkitxo bat gora edo beheara edo pantailaren edozein posiziotara mugitu behar dela. Ikasleak dira marrazkitxo hori pantailan non agertuko den zehazten dutenak. Horrek klasean ikusitako ideia abstraktuak errealitatean nola aplikatzen diren jabetzeko balio du. Alegia, sistema informatikoen barruan gauzek nola funtzionatzuten duten ikasten dute horrela. Hartarako, behe mailako programazioaren bidez gertaeretara zuzendutako programazio paradigma lehen aldiz erabiltzen dute.

POI metodologia, NDSan bideo jokoak diseinatzearekin eta garatzearekin uztartzea ez da bapateko kontua izan. Lau urtez, emaitzak aztertu eta aldaketaren bat proposatu da hurrengo urteko sistemen funtzionamendua egokia izan arte. Hau da, *Action Research* (Stringer, 2004) edo SoTL (McKinney, 2010) ereduak jarraitu dira ikerketa egiteko orduan eta eboluzio hori (Larraza-Mendiluze *et al.*, 2016) artikuluan publikatu da. Han ikusten da zein garrantzitsuak izan daitezkeen horrelako ereduak proiektu bat garatzeko taldekideen kopurua erabakitzeke orduan edo proiektuaren zehaztapena egiteko. Gure kasuan proiektua hasieratik bukaerara irekia mantendu da. Talde bakoitzak erabakitzen du zein izango den garatuko duen jokoa. Dena den, pixkanaka hainbat gako zehazten edo mugatzen joan behar izan da, proiektua gehiegi konplika ez dadin eta garapena ikasgaiaren inguruan mantentzeko, gehiegi desbideratu gabe. Bestalde, gaiaren inguruko teoria nola txertatu behar den ere aztertu egin da. Hasieran asmoa ikasleek beraiek proiektuaren bidez teoria ondorioztatzea baldin bazen ere, esperimentazioaren iterazioekin hori fintzen joan da. Gaia oso abstraktoa da eta oso zaila egiten zaie ikasleei proiektua garatzea teoria jakin gabe. Horregatik, eta oso labur azalduta, proiektua teoria ulertzeko eta barneratzeko tresna gisa erabiltzera iritsi gara.

3.3 Ikasleen ulermena

S/I azpisistema gaiarekin amaitzean ikasleek gaia zenbateraino ulertzen duten argitzeko hainbat ikerketa egin ditugu. Ikerketa horietan guztietan kontzeptu-mapak baliatu gara. Kontzeptu-mapak honela definitzen dira (Novak eta Cañas, 2008) artikuluan: ezagutza antolatzeke eta adierazteke tresna grafikoak dira. Normalean zirkuluetan edota itxita dauden kutxetan dauden kontzeptuak erabiltzen dituzte, eta kontzeptu horien arteko erlazioak marren bidez adierazten dira. Marretan dauden hitzei erlazio-hitzak ala erlazio-esaldiak deritze eta kontzeptuen arteko erlazioak zehazten dituzte. (Sanders *et al.*, 2008) artikuluan zenbait erabilpen adierazten dira (adibidez, ebaluazioa), baina gure ikerketan ikasleen ezagutzaren argazki estatiko bat eskuratzeko erabili ditugu.

Kontzeptu-mapen erabilerarako lehen hurbilpena 2011/2012 ikasturtean egin genuen eta lan horretan aritzeko CM-ED kontzeptu mapen editorea erabili zen². Ikasturte hartako ikasgaiko irakasleei eta gaia jorratu izan duten beste irakasle batzuei ere eskatu zitzaizkien gaiari buruzko kontzeptu-mapa bana osatzea. Kontzeptu-mapa horiek guztiak aztertu eta gero, haien artean egon zitezkeen nabardurak adostu ziren eta hiru kontzeptu-mapako multzoa lortu zen: Motak, Komunikazioa eta Urratsak izenekoak. Gero, ikasleei kontzeptu-mapa horietako atal batzuk eman zitzaizkien eta osatzeko eskatu. Lan horren ondorioa izan zen, (Larraza-Mendiluze eta Garay-Vitoria, 2012) artikuluan ikus daitezkeen bezala, ikasleek ez zutela ikasgaiaren irudi orokor bat hartzen. Hori zela eta, hurrengo ikasturtean gehiago sakontzea erabaki zen.

2012/2013 ikasturtean, ikasgaiaren aurkezpenarekin batera kontzeptu-mapak lantzen hasi ziren. Ikasgaiaren zehar hainbat kontzeptu-mapa eraikitzea eskatu zitzaizkien ikasleei eta irakasleak kontzeptu-mapen eraikuntzaren gaineko oharrak helarazten zizkien ikasleei. Horren helburua ez zen ikasleek jakitea zer jarri behar zuten kontzeptu-mapan, baizik eta kontzeptu-mapa bat eraikitzen ikas zezaten.

Ikasturtearen amaieran hainbat kontzeptu emanik, kontzeptu-mapa osatzeko eskatu zitzaizkien ikasleei.

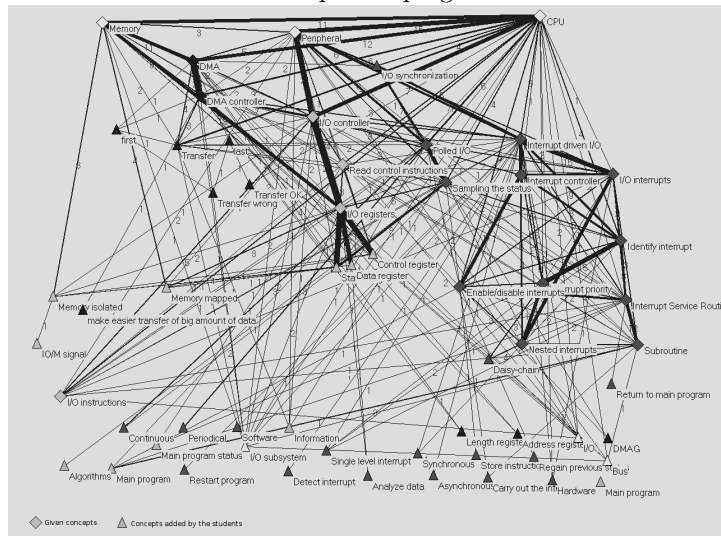
Kontzeptu-mapak banaka ebaluatzeko softwarea topatu bazen ere, azterketa kolektibo bat egiteko tresna ez zen topatu eta gizarte-sareak aztertzeko erabiltzen den tresna batekin³ aztertu ziren. Kontzeptu-mapa guztiak elkartuta lotura bakoitzaren agerpen kopurua erakusten duen mapa ageri da 1 Irudian.

Garbiketa pixka bat egin ondoren, lau alditan baino gutxiagotan errepikatzen diren loturak kenduz

²<http://galan.ehu.es/Galan/node/34> CM-ED editorea, 2017ko otsailaren 23an bilatua.

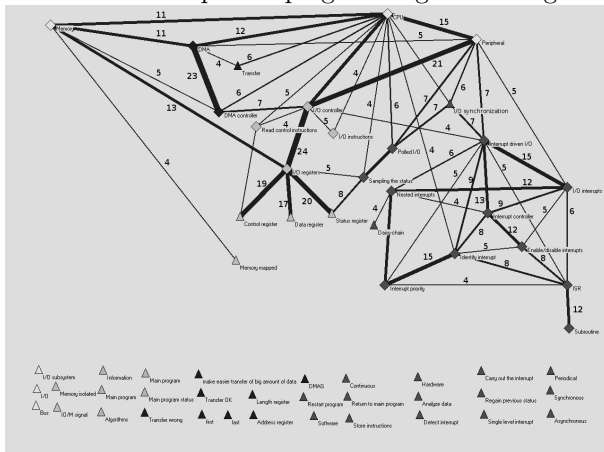
³<http://mrvar.fdv.uni-lj.si/pajek/> Pajek, sare zabalak analizatzeko eta ikusteko tresna, 2017ko apirilaren 6an bilatua.

1 Irudia: Kontzeptu-mapa guztiak bilduta

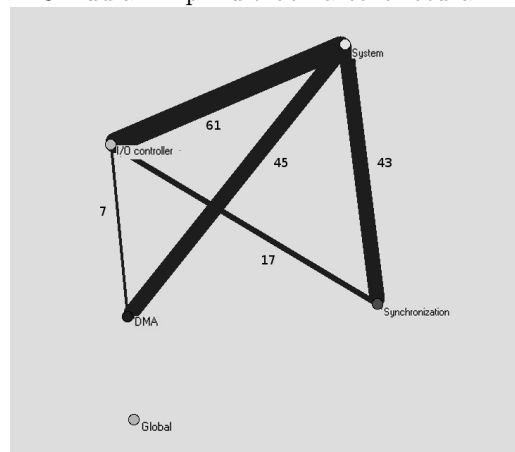


gero, 2 Irudia lortu genuen. Hor nahiko argi azaltzen da oro har hiru bloketan banatzen dela ulermena: S/I kontrolagailua, sinkronizazioa eta DMA. Hiruak sistemaren bidez lotzen dira, 3 Irudian ikusten den bezala.

2 Irudia: Kontzeptu-mapa guztiak garbiketa eginda



3 Irudia: Azpimultzoen arteko loturak



Kontzeptu-mapak banaka eta era kualitatiboago batean ere aztertu ziren eta emaitza horietatik guztietatik lortutako ondorio nagusienetako batzuk honako hauek izan ziren:

- Ikasleek argi dute periferikoak kontrolatzeko S/I kontrolagailuak behar direla eta horiek kontrol-
datu- eta egoera-erregistroez osatzen direla.
- Sistemaren osaera bera ez daukate argi, edo batzutan lotura oso espezifikoek bila jotzen dute. Adi-
bidez, memoria bakarrik lotzen dute *Direct Memory Access* (DMA)rekin.
- Inkesta eta etena kontrajarriak izan daitezkeen bi kontzeptuak maiz nahasten dituzte gabiltzan
testuinguruan.
- DMA eta bere kudeaketa nola gauzatzen den ez dituzte ulertzen.

Kontzeptu-mapa horiek gizarte-sareen ebaluaziorako tresnekin batera ematen diguten ikasleen ulermenaren irudia oso baliotsua izan daiteke ikasketa prozesuaren egoera aztertzeko. Hori bai, oso garestia

da. Alde batetik, kontzeptu-mapak sortzeko tresnetan horrelako analisiak egiteko tresnak integraturik egotea beharko litzateke, analisia errazteko. Bestetik, ikasleen kontzeptu-mapekiko jarrerak ere hobetu beharko luke, mota horretako analisiak maizago egin nahi badira.

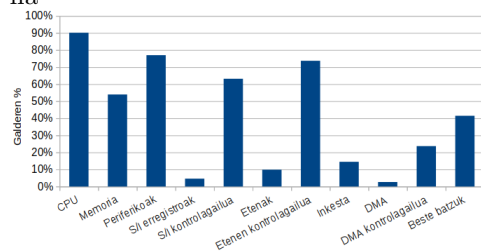
3.4 Ebaluazioa

Zein nolako ebaluazioak egiten diren aztertzeko, posta-zerrenden bidez egin zen eskaera bat unibertsitateko irakasleei. S/Iko gaiaren inguruan azterketetan egiten dituzten galderen enuntziatuak eskuratu nahi ziren. (Larraza-Mendiluze eta Garay-Vitoria, 2013) artikuluan azaldu bezala, sei unibertsitatetatik jaso ziren erantzunak.

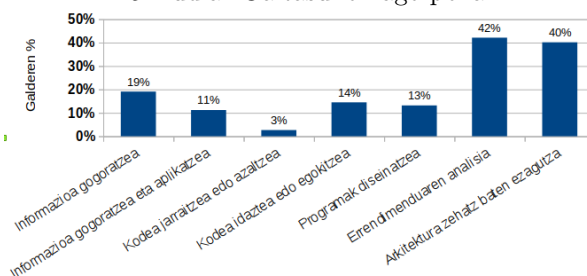
Azterketa egiterakoan, galderei egoki erantzun ahal izateko ikasleek izan behar duten ezagutza maila bereizteko, (Swart, 2010) artikuluan proposatutako sailkapena jarraitu genuen: maila altuko (HOq ingeleseko *Higher Order question*-etik) eta maila baxuko (LOq ingeleseko *Lower Order question*-etik) ezagutza behar duten galderak bereizi genituen.

Azterketa horretan aurkitutakoak laburbilduz, 3.3 atalean aipaturiko hiru ulermen blokeetatik bat, DMArena, ia ez den azaltzen, 4 Irudian ikus daitekeen moduan. Bestalde, 5 Irudian azterketetan hainbat gaitasunen agerpen kopurua azaltzen da. Hor ikus daitekeena zera da: ezagutza maila baxua nahiz altua ebaluatzeko erabil daitekeen gaitasuna, kodearen azalpenak ematea, agerpen gutxiena duena dela. Gehien azaltzen diren gaitasunen artean, errendimenduaren analisia ez dago guk hemen aukeratu den irakasteko hurbilpenaren barruan. Hurrengoa, arkitektura zehatz baten ezagutza, askotan beharrezkoa bada ere lanean praktikoki aritzeko, ez dugu uste ezinbesteko izan behar duenik S/I azpisisistemaren ezagutza orokorraren ebaluazioan.

4 Irudia: Landutako kontzeptuen agerpena



5 Irudia: Gaitasunen agerpena

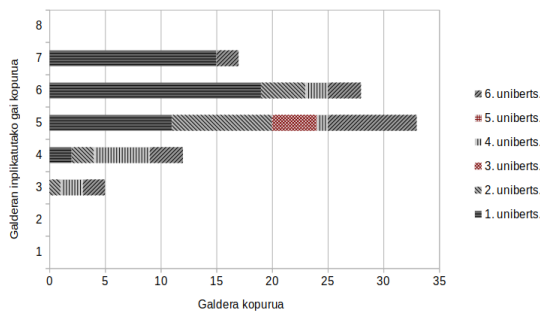


Hurrengo bi irudietan, parte hartu duten unibertsitateen emaitzak bereizten ditugu, eta gero batzen. Galderen zailtasunari dagokionez, gehienak HOq motako galderak dira eta galdera horietan moda da 5 kontzeptu jorratzea (ikus 6 Irudia). LOq motako galderetan, ordea, moda 3 kontzeptukoa da (ikus 7 Irudia). Hori kontuan hartzeko gauza da, gaia lantzen den mailaren arabera. Adibidez, ikasketen hasieran, demagun 1. mailako bigarren lauhilekoan lantzen denean, ebaluaziorako galderak LOq motakoak izatea komeniko litzateke eta galdera berean kontzeptu gutxi jorratu beharko lirateke.

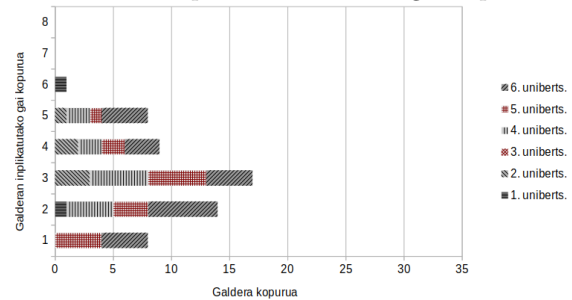
Datu horiek azterketak egokitzeko oso baliagarriak izan badaitezke ere, Larraza-Mendiluze eta Garay-Vitoria (2013) artikulua eztabaida atalean planteatu zen moduan lan sakonagoaren beharra ikusi genuen. Adibidez honakoak sakonago aztertu beharko lirateke:

- Azterketetako askoz galdera gehiago lortu beharko lirateke, baina datu bilketa horretarako metodo egoki bat diseinatu beharko litzateke.
- Erabilitako sailkapen eskemak egiaztapen prozesu bat beharko luke eta hori gaian espezialistak diren pertsonekin egin beharko litzateke.
- Nola desberdindu daiteke ikasleek benetan gaia (kasu honetan S/I azpisisistema) ikasten ari diren ala azterketa bat gainditzeko erantzun behar diren galderak erantzuten ikasten ari ote diren?
- Eta aurreko puntuak beste honetara garamatza: Nola baloratu dezakegu irakasleek azterketetarako galdera egokiak erabiltzen ari ote diren?

6 Irudia: HOq-etan aurkitutako gai kopurua



7 Irudia: LOq-etan aurkitutako gai kopurua



Hemen planteatutako galderek beste tesi bat edo gehiagorako emango luketenez, puntu honi ez zitzaion jarraipenik eman tesian. Hala ere oso gai garrantzitsua dela uste dugu.

4 Ondorioak

Artikulu honetan lehen egilearen tesiaren laburpen bat aurkeztu da eta tesi horrek emandako publikazioei erreferentzia egin zaie. Lana unibertsitateko mailako informatikaren hezkuntzaren barruan eman da. Hiru ikerketa galdera planteatu dira lan honen abiapuntu bezala, eta horiei erantzuna gisa esan dezakegu baietz, jolaserako eskuko kontsolak (NDSa adibidez) ongi egokitu daitezkeela S/I azpisistema gaiko kontzeptuak lantzeko.

Teoria behar den neurrian azalduta badago, proiektuak garatzea ongi egokitzen da, teoria hura ulertu eta barneratzerako garaian. Hori bai, ikasleak oraindik ez dira gai proiektu zabal baten kudeaketa eraginkorra egiteko. Beharrezkoa izaten da hasierako diseinuan muga asko jartzea proiektua gehiegi konplika ez dadin eta garapena ez dezaten eraman ikasgairako baliagarriak ez diren zereginak egitera.

Horrez gain, ikusi da ebaluatzeko modua nolabait egokitu beharko dela, planteatzen diren galderak maila altuegikoak izan daitezkeelako eta ez dutelako argi erakusten ikasleek gaia nola ulertzen duten. Horrekin batera, gaia lantzerakoan esfortzu berezia egin beharko da ikasgaian lantzen diren kontzeptuen arteko loturak eraikitzen.

Bestalde, oso garrantzitsua deritzogu, lan espezifiko honen interesa zabaltze aldera, SoTL eta *Action Research* ereduak lotura egitea. Izan ere, unibertsitateko irakasleek ikertzaile sena hezkuntza prozesuan erabiltzea da eredu haien indargunea: urtero errepikatzen dugun prozesu horri buruzko hausnarketa egin, neurketak egiteko indizeak ezarri, aldaketak egin, emaitzak eskuratu eta berriro hausnarketarekin hasi. Lan honetan aztertu direnak oso espezifikoak dira, gai zehatz batean landu direlako, baina aztertu diren kontuak, metodologia, ikasleen ulermena, ebaluazioa, oso orokorrak dira. Beraz, hezkuntzako edozein esparrutara eraman daitekeen ikerketa lana dela sostengatzen dugu.

5 Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Etorkizunean, unibertsitate mailan erabiliko den teknologia aldatu nahi dugu. Gaur egun jabetun teknologia bat erabiltzen ari gara, NDSa alegia, baina etorkizunean jabetuna ez den teknologia erabili nahi dugu: Arduino, RaspBerry Pi, ... Horretarako, dagoeneko gradu amaierako lan bat martxan jarri dugu.

Horrez gain, unibertsitate aurretiko informatikaren hezkuntza ere aztertu nahi dugu, 2 atalean azaldu diren arloen artean erantzun gabe utzi den *Informatikara ikasleak erakarri eta mantendu* delakoa lantzen hasteko. Bide hori ere martxan jarri dugu dagoeneko UEUK antolatutako mintegi baten bidez. Artikulu hau dela medio, gaian interesa eduki dezakeen edonor, hezkuntza mundukoak batipat, deitu nahi zaituztegu gurekin harremanetan jarri eta hain garrantzitsua den lan hori aurrera eramateko.

Azkenik, ebaluazioaren atalak beste tesi bat beharko luke. Norbait interesatuta egonez gero ere gurekin harremanetan jar daiteke.

Erreferentziak

- FINCHER, SALLY, eta MARIAN PETRE. 2004. *Computer science education research*. CRC Press.
- GARAY-VITORIA, NESTOR, EDURNE LARRAZA-MENDILUZE, JOSÉ MARTÍN, TXELO RUIZ-VÁZQUEZ, eta IRATXE SORALUZE. 2009. *OCW, UPV/EHU - Konputagailuen arkitektura I, [2009/03][Eus]*. UPV/EHUko Argitalpen Zerbitzua.
- LARRAZA-MENDILUZE, EDURNE. 2014. *The Computer Input/Output Subsystem Education in an undergraduate introductory course: A multiperspective study*. UPV/EHUko Argitalpen Zerbitzua.
- , eta NESTOR GARAY-VITORIA. 2012. A comparison between lecturers' and students' concept maps related to the input/output topic in computer architecture. In *Proceedings of the Koli Calling 2012 conference*, Koli Calling 2012, 57–66, Tahko, Finland.
- , eta —. 2013. The learning outcomes of the exam question in the input/output topic in computer architecture. In *Proceedings of the LaTiCE 2013 conference*, LaTiCE 2013, 212–215, Macau, China.
- , eta —. 2015. Approaches and tools used to teach the computer input/output subsystem: A survey. *IEEE Transactions on Education* 58 (1).1–6.
- , —, JOSÉ MARTÍN, JAVIER MUGUERZA, TXELO RUIZ-VÁZQUEZ, IRATXE SORALUZE, JOSÉ FRANZISKO LUKAS, eta KARLOS SANTIAGO. 2013. Game-console-based projects for learning the computer input/output subsystem. *IEEE Transactions on Education* 56 (4).453–458.
- , —, IRATXE SORALUZE, JOSÉ MARTÍN, JAVIER MUGUERZA, eta TXELO RUIZ-VÁZQUEZ. 2016. Using a real bare machine in a project-based learning environment for teaching computer structure: An analysis of the implementation following the action research model. *ACM Transactions on Computing Education* 16 (3).13:1–13:17.
- MCKINNEY, KATHLEEN. 2010. *Enhancing learning through the scholarship of teaching and learning: The challenges and joys of juggling*, volume 139. John Wiley & Sons.
- NOVAK, JOSEPH D, eta ALBERTO J CAÑAS. 2008. The theory underlying concept maps and how to construct and use them. *Florida Institute for Human and Machine Cognition* 2008.
- SANDERS, KATE, JONAS BOUSTEDT, ANNA ECKERDAL, ROBERT MCCARTNEY, JAN ERIK MOSTRÖM, LYNDY THOMAS, eta CAROL ZANDER. 2008. Student understanding of object-oriented programming as expressed in concept maps. *ACM SIGCSE Bulletin* 40.332–336.
- STRINGER, ERNEST T. 2004. *Action research in education*. Pearson/Merrill/Prentice Hall Upper Saddle River, NJ.
- SWART, ARTHUR JAMES. 2010. Evaluation of final examination papers in engineering: A case study using bloom's taxonomy. *IEEE Transactions on Education* 53.257–264.
- WU, BIAN, eta ALF INGE WANG. 2012. A guideline for game development-based learning: A literature review. *International Journal of Computer Games Technology* 2012.20.

6 Eskerrak eta oharrak

Egileak UPV/EHUK finantziatutako BAILab (UFI11/45) taldeko partaideak dira, eta baita Eusko Jaurlaritzako Hezkuntza, Unibertsitateak eta Ikerkuntza sailak finantziatutako ADIAN taldekoak ere (IT980-16). Ikerketa honek beste diru laguntzak jaso ditu Espainiako Gobernuak (Ekonomia eta Leihakortasun Ministeritzatik eta Europako Eskualdeak Garatzeko Fondoetatik (TIN2013-41123-P eta TIN2014-52665-C2-1-R). Finantziazio guzti horiek partzialak izan direla esan beharra dago. Bestalde, egileek eskertu nahi dituzte aurkeztutako esperientzietan parte hartu duten ikasleak. Artikulu honetan jorratutakoa zabalago publikatu da lehen egileak argitaratu duen liburuan (Larraza-Mendiluze, 2014). Hor bere doktorego tesia azaltzen da.

Azido zitrikoz eraldatutako arrain-gelatinazko filmak

Jone Uranga¹, Itsaso Leceta², Alaitz Etxabide¹, Pedro Guerrero¹, Koro de la Caba¹

BIOMAT taldea, Ingeniaritza Kimikoa eta Ingurumenaren Ingeniaritza saila (1), Matematika Aplikatua saila (2), Gipuzkoako Ingeniaritza Eskola, Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU), Europa Plaza 1, 20018 Donostia.

jone.uranga@ehu.eus

Laburpena

Arrain-gelatina oinarri duten filmak egin dira lan honetan. Merkatuan lehiakorrak izateko, sortutako filmek propietate egokiak izan behar dituzte, hala nola, beharrezkoa da ontziratzeetarako erabili nahi diren filmetan propietate mekaniko egokiak izatea, apurtzeko aukerak murriztu eta elikagaiak ez kutsatzeko. Beraz, propietateak hobetzeko zenbait gehigarri gehitu zaizkie arrain-gelatinazko filmei. Zehazki, azido zitrikoa eta glizerola gehitu dira, bata erreakzioa sortzeko erabili den gehigarri naturala eta bestea plastifikatzailea. Erreakzioa eta propietate mekanikoak aztertzeaz gain, ingurumen azterketa ere gauzatu da. Horrela, film hauen abantaila nagusiak identifikatu dira.

Hitz gakoak: Arrain-gelatina, azido zitrikoa, erreakzioa, filmak, berriztagarria, konpost-egitea

Abstract

Fish-gelatin based films were prepared in this work. These films need suitable properties to be competitive. For example, food packaging films must have appropriate mechanical properties to ensure the good quality of foodstuff. In that way, additives were used to enhance properties in fish gelatin films. Specifically, citric acid and glycerol were employed. Reaction happened thanks to the citric acid, which is a natural additive. Regarding glycerol, it worked as a plasticizer. Reaction and properties were analyzed and also, environmental assessment was carried out. Thus, the main benefits derived from the use of these films were identified.

Keywords: Fish gelatin, citric acid, reaction, films, renewable, composting

1. Sarrera eta motibazioa

Gelatina kolagenoaren hidrolisitik lortzen da. Zehazki, arrain-gelatina kostu txikiko lehengaia da, arrain hondakinetatik erauz daitekeena. Arrain prozesatze industriako azal eta hezurretatik lor daiteke esaterako, hauek % 27-49 proteinaz osatuta baitaude (oinarri lehorrean). Horrela, hondakin hauen balorizazioari esker, zaborraren kudeaketa erraztu eta film jasangarriago batzuk lortzeko aukera eskaintzen da. Gainera, film hauek biodegradagarriak dira eta euren erabileraren ostean konpost-egitearen bidez trata daitezke, ez-berriztagarriak diren plastiko filmekin erlazionatutako ingurumen inpaktuak murriztuz.

Film hauen erabilerarekin ingurumen-abantailak, lehengaien erabileraren eraginkortasuna eta hondakinen murrizketa lortzen badira ere, gelatinan oinarrituriko materialek zenbait hobekuntza behar dituzte. Zehazki, ontziratze aplikaziorako film lehiakorrak lortu ahal izateko, propietateetan hobekuntzak behar dituzte material hauek. Teknika ezberdinak erabili izan dira gelatinazko filmen propietate funtzionalak hobetzeko, hala nola, biopolimeroen nahasteak, geruza anitzetako filmak eta erreakzio kimikoak. Aipatutako azken teknika honetan, aldehidoak oso erabiliak izan dira biopolimeroekin erreakzionatzeko. Halere, euren toxikotasunagatik nahiago dira erreaktibo naturalak.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Gaur egun, gelatinarekin lan egiten dute hainbat eta hainbat ikerlarik, plastikoaren erabilera murriztu nahian aukera posible ugari jorratzen ari baitira (Etxabide et al., 2015; Etxabide et al., 2017). Biopolimero hau aztertuenen artean aurkitzen da ez bakarrik kostu txikia duelako, baizik eta bere ekoizpena handia delako ere bai; guzti honek erraztasunak ekartzen ditu lehengaia eskuratzeko garaian. Arrain-gelatinan zentratuz gero, produkzioaren portzentaje txiki baten parte da (Karim eta Bhat, 2009). Hori horrela izanik, gelatina mota honek garai batean ez zuen garrantzia handirik eta ez zen erabilienean artean aurkitzen. Halere, pixkanaka bere lekua hartzen ari da ikerketa munduan, izan ere, beste gelatina batzuk ez dituzten propietateak azaltzen ditu.

Esaterako, behi-gelatinarekin alderatuz, arrain-gelatinak lotura sendoagoak forma ditzake beste biopolimero batekin, bere aminoazidoen konposizioari esker (Gómez-Estaca et al., 2011).

Arrain-gelatinaren arazo nagusienak ordea, propietate mekaniko ahulak izatea eta urarekiko sentikortasun handia izatea dira (Mohajer et al., 2017). Halere, posible da sarreran aipatutako hainbat teknika erabiliz arrain-gelatinaren ahultasun horiek indartzeko saiakerak egitea. Lan honetan, zehazki, errektibo natural bat erabiliz erreakzio kimikoa eragin nahi izan da; arrain-gelatinarekin erreakzionatzeko azido zitrikoa aukeratu da. Erreakzio honen bitartez, mekanikoki sendoak diren eta ontziratzeko propietate egokiak dituzten filmak sortu nahi izan dira. Gainera, film berriztagarri eta biodegradagarri hauen sorrerarekin erlazionatutako ingurumen aspektuen azterketa gauzatu nahi izan da karbono-aztarna analisiaren bidez; horrela, gure filmek ingurumenarekiko dituzten ondorioak ezagutu dira, jakina baita murriztu nahi diren plastikoei ingurumenarekiko ondorio negatiboak dituztela.

3. Ikerketaren muina

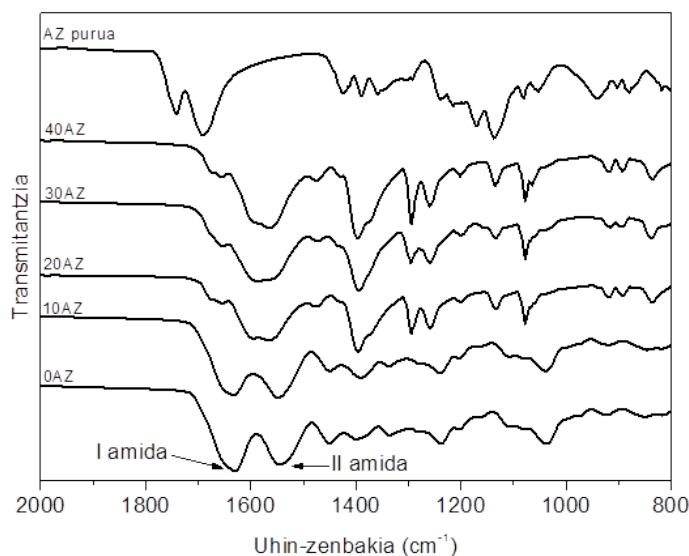
3.1 Filmen prestaketa

Arrain-gelatinazko filmak prestatzeko, gelatina eta azido zitrikoa (AZ) ur distilatuan nahastu dira. Erabilitako azido kantitateak hauexek izan dira: gelatinarekiko % 10, % 20, % 30 eta % 40, masa portzentajearen arabera. Plastifikatzaile moduan glizerola erabili da eta film guztietan erabilitako glizerol kantitatea bera izan da, gelatinarekiko % 20, masa portzentajearen arabera. Filmen izendapena azido kantitatearen arabera egin da: 0AZ, 10AZ, 20AZ, 30AZ eta 40AZ.

3.2 Emaizak

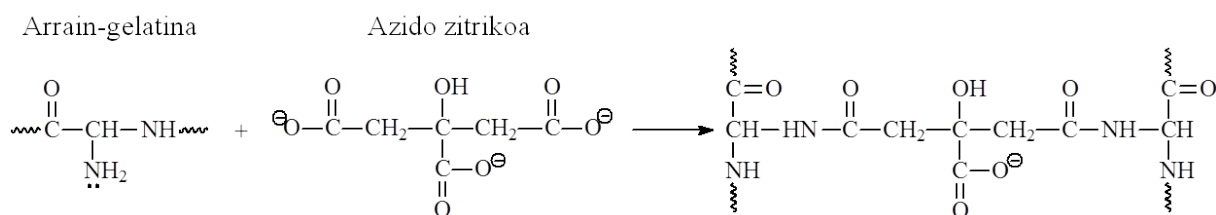
Azido zitrikoz eraldatutako arrain-gelatinazko filmen propietate fisiko-kimikoak zehazteko infragorri espektroskopia (FTIR) erabili da. 1. irudian ikus daitekeen bezala, AZ portzentaje altuetan azidoaren eragina nabarmenagoa da; I amida eta II amida seinaleen arteko banda-intentsitate erlatiboan aldaketak bereiz daitezke.

1. irudia. Azido zitriko puruaren eta hainbat azido kontzentraziorekin prestatutako arrain-gelatinazko filmen FTIR espektroak.



AZ puruaren espektroan azaltzen den 1743 cm^{-1} uhin-zenbakiko seinalea, ez da filmen espektroetan agertzen. Honek, azidoaren talde karboxilikoaren (COOH) eta gelatinaren amino (NH_2) taldeen artean erreakzioa gertatzen dela adierazten du (2. irudia).

2. irudia. Arrain-gelatinaren eta AZ-ren arteko erreakzio mekanismoa.



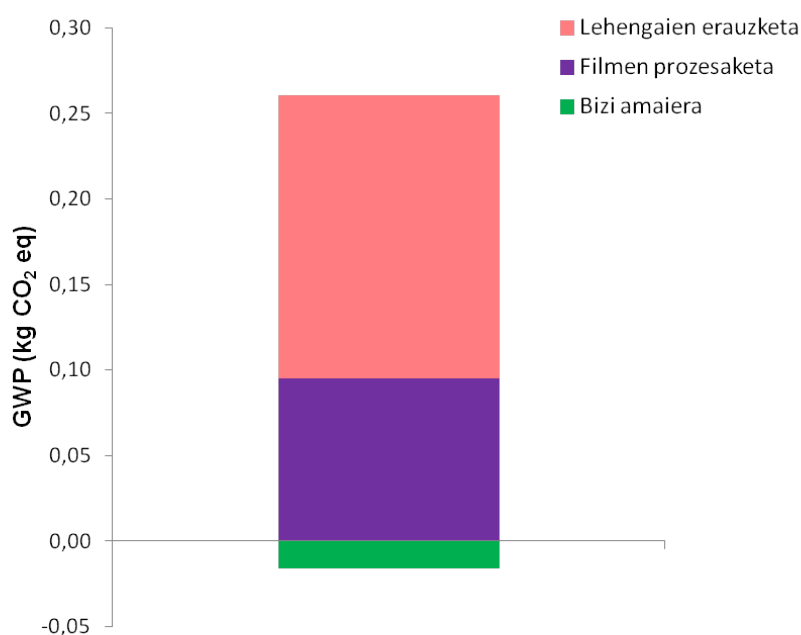
Propietate mekanikoei dagokionez, hobekuntzak nabaritu dira AZ gehitzean (1. taula). Batetik, AZ duten filmek, azido kantitatea edozein izanik ere, tentsio gehiago jasan dezakete. Hortaz, AZ eta gelatina artean gertatutako erreakzioari esker sortutako loturak, gelatina kateen artean daudenak baino sendoagoak direla ondorioztatu da. Bestetik, deformazio balioak ere handitzen dira azidoa gehitzean, kasu honetan ordea % 20 azidoko portzentajeraino. Balio honetatik aurrera gehiegizko azido kantitateak, erreakzionatu gabeak, deformazio balioak txikitzea ekartzen du eta gainera, propietateetan eragina du.

1. taula. Arrain-gelatinazko filmen tentsio eta deformazio balioak, AZ kantitatearen arabera.

Filmak	Tentsioa (MPa)	Deformazioa (%)
0AZ	27,9 ± 3,3	9,2 ± 4,2
10AZ	35,7 ± 6,0	25,1 ± 7,4
20AZ	35,0 ± 3,7	26,2 ± 7,6
30AZ	34,5 ± 3,5	14,7 ± 3,6
40AZ	34,8 ± 4,2	15,2 ± 2,0

Azkenik, ingurumen azterketa egin da. Bertan hiru etapa kontuan hartu dira: lehengaien erauzketa, filmen prozesaketa eta filmen bizi amaiera. Azken honetan, konposta kontsideratu da filmen bizi amaierako eszenatoki. Hiru atal hauetan lortutako datuak prozesatu eta ingurumen inpaktuarekin erlazionatu dira IPCC 2007 erabiliz, Klima Aldaketaren Nazioarteko Panelak (IPCC) garatua. Horrela, karbono aztarnaren azterketa gauzatu da, beroketa globalaren potentzial (GWP) gisa adieraziz.

3. irudia. Arrain-gelatinazko filmen karbono aztarna.



Lehengaien erauzketa da GWP altuena duen atala (3. irudia). Etapa honetako faktore azpimarragarriena, karbono aztarnan ekarpen handiena duena, gelatina erauzteko erabilitako energia kontsumoa da. Filmen fabrikazioko atalean ere energia kontsumoa da ingurumen inpaktuan gehien eragiten duen faktorea. Beste ataletan ez bezala, bizi amaierako etapan GWP balio negatiboak lortu dira, ingurumen ondorio positiboa indartuz. Hau, produktu baliotsua den konposta lortzen delako gertatzen da.

4. Ondorioak

Arrain-gelatinaren eta azido zitrikoaren artean gertatzen den erreakzioa baieztatu da infragorri espektroskopiaren (FTIR) bidez. Erreakzio hau gertatzearen ondorioz, AZ duten filmetan, % 20 AZ kantitaterraino, propietate mekaniko hobetuak lortu dira, tentsioaren eta deformazioaren balioak handiagoak baitira film hauetan. Azido kantitate handiagotan ordea, erreakzionatu gabe geratzen den gehiegizko azido kantitatea dagoela ikusi da, propietateetan eraginez. Ingurumen azterketari dagokionez, GWP balio negatiboek adierazten dute konpostegitea film hondakinak tratatzeko modu egokia dela.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Lan honetatik abiatuta beste zenbait etorkizunerako lerro planteatu daitezke. Batetik, azido zitrikoa sakonago aztertzea. Izan ere, erreaktibo moduan erabiltzeaz gain, izaera antimikrobiarra edo antifungikoa izan dezakeela adierazten dute zenbait ikerlarik (Firouzabadi et al, 2014; Mahmoud, 2014). Hori horrela izango balitz, gehigarri honek funtzio ezberdinak izango lituzke aldi berean. Beraz, gure filmek bakterien edo onddoen aurrean zer nolako erantzunak dituzten azter daiteke. Bestalde, erreakzioaz gain aurki daitezkeen beste estrategiak erabiltzeko proba egin daiteke, esaterako, beste biopolimero bat gehitu geure filmei, kitosanoa kasu, edota propietate ezberdinak dituen beste film motaren bat sortu eta gure filmei itsatsi.

6. Erreferentziak

- Etxabide, A., Uranga, J., Guerrero, P. eta de la Caba, K. (2015), Improvement of barrier properties of fish gelatin films promoted by gelatin glycation with lactose at high temperatures, *LWT-Food Science and Technology*, 63, 315-321.
- Etxabide, A., Uranga, J., Guerrero, P. eta de la Caba, K. (2017), Development of active gelatin films by means of valorisation of food processing waste: a review, *Food Hydrocolloids*, in press, <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.08.021>
- Firouzabadi, F.B., Noori, M., Edalatpanah, Y. eta Mirhosseini, M. (2014), ZnO nanoparticle suspensions containing citric acid as antimicrobial to control *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Bacillus cereus* in mango juice, *Food Control*, 42, 310-314.
- Gómez-Estaca, J., Gómez-Guillén, M.C., Fernández-Martín, F. eta Montero, P. (2011), Effects of gelatin origin, bovine-hide and tunaskin, on the properties of compound gelatin-chitosan films, *Food Hydrocolloids*, 25, 1461-1469.
- Karim, A.A. eta Bhat, R. (2009), Fish gelatin: properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins, *Food Hydrocolloids*, 23, 563-576.
- Mahmoud, B.S.M. (2014), The efficacy of grape seed extract, citric acid and lactic acid on the inactivation of *Vibrio parahaemolyticus* in shucked oysters, *Food Control*, 41, 13-16.
- Mohajer, S., Rezaei, M. eta Hosseini, S.F. (2017), Physico-chemical and microstructural properties of fish gelatin/agar bio-based blend films, *Carbohydrate Polymers*, 157, 784-793.
- Uranga, J., Leceta, I., Etxabide, A., Guerrero, P. eta de la Caba, K. (2016), Cross-linking of fish gelatins to develop sustainable films with enhanced properties, *European Polymer Journal*, 78, 82-90.

7. Eskerrak eta aipamenak

Egileek Euskal Herriko Unibertsitateari UPV/EHU (GIU15/03 ikerketa taldea) eta Gipuzkoako Foru Aldundiari (OF215/2016 (ES)) eskertu nahi diete emandako diru laguntza. Jone Urangak Eusko Jaurlaritzari (PRE_2015_1_0205) eta Alaitz Etxabidek UPV/EHUri (PIF13/008) eskerrak ematen dizkiete diru-laguntzengatik. Beste horrenbeste UPV/EHUKo Ikerkuntzarako Zerbitzu Orokorrei (SGIker).

7. Eskerrak eta aipamenak

Egileek Euskal Herriko Unibertsitateari UPV/EHU (GIU15/03 ikerketa taldea) eta Gipuzkoako Foru Aldundiari (OF215/2016 (ES)) eskertu nahi diete emandako diru laguntza. Jone Urangak Eusko Jaurlaritzari (PRE_2015_1_0205) eta Alaitz Etxabidek UPV/EHUri (PIF13/008) eskerrak ematen dizkiete diru-laguntzengatik. Beste horrenbeste UPV/EHUko Ikerkuntzarako Zerbitzu Orokorreari (SGIker).

Aipatu behar da, lan hau Uranga et al. (2016) artikulutik eratorria dagoela.

Neutroi-tekniketarako egokia den lehenengo berun-azido bateriaren diseinua eta optimizazioa

Campillo-Robles, Jose Miguel¹; Artetxe, Xabier¹; Urrutibeaskoa, Idoia¹; Soler, Daniel¹
Goonetilleke, Damian²; Sharma, Neeraj²
Garbe, Ulf³
Türkyilmaz, Pinar⁴

¹*Mekanika eta Ekoizpen Industrialeko Saila, Mondragon Unibertsitatea (Euskal Herria).*

²*School of Chemistry, UNSW Australia, Sydney (Australia).*

³*Australian Nuclear Science and Technology Organisation, Lucas Heights (Australia).*

⁴*R&D - Engineering Department, Yiğit Akü Malzemeleri A.Ş., Ankara (Turkia).*

jmcampillo@mondragon.edu

Laburpena

Gaurko egunean, berun-azido bateriek mantentzen dute bateria sekundarioen merkatu-kuotarik handiena oraindik ere. Hala ere, berun-azido bateriaren teknologia hobetzeko tarte esanguratsua dago, azken finean, bere material aktiboen % 25-35 baino ez duelako erabiltzen normalean. Gaur arte, berun-azido baterien barne-fenomenoak monitorizatzeko tekniken inguruko ikerketa-lan gutxi dago. Neutroiak erabiltzen dituzten teknikak egokiak izan daitezke berun-azido bateria *in operando* monitorizatzeko. Horretarako, espresuki diseinaturiko berun-azido bateria beharrezkoa da. Neutroi-izpia ahultzerik gabe pasatu behar da baterian zehar, barne-elementuetako informazioa azaleratuz. Lan honetan horrelako bateria diseinatu, optimizatu eta egiaztatu dugu, elektrolito deuteratua eta neutroiekiko gardena den karkasa erabiliz.

Hitz-gakoak: berun-azido bateria, neutroien bidezko irudiak, *in operando*, elektrolito deuteratua, erradiografia.

Abstract

Lead-acid batteries have consistently accounted for the largest market share of secondary batteries. However, there is still significant opportunity for improvement of lead-acid battery technology. Typically, lead-acid batteries do not make use of more than 25-35 % of their active materials. To date, there have been few reports of techniques for monitoring of the internal processes which occur during operation of lead-acid batteries. Neutron imaging presents a novel technique for in operando monitoring of lead-acid batteries; however, it requires an appropriately designed lead-acid battery. The neutron beam has to pass through the battery without attenuation, carrying information about the inner components. In this work we have designed, optimized and validated a neutron-friendly lead-acid battery, using deuterated electrolyte and a neutron transparent casing.

Keywords: lead-acid battery, neutron imaging, in operando, deuterated electrolyte, radiography.

1. Sarrera eta motibazioa

Berun-azido bateria merkatuan dagoen bateria zaharrena da. Dena dela, berun-azido merkatu-kuota handienetarikoa dauka oraindik ere. Dударik gabe, aplikazio-eremu zabala dauka, hala nola, mota askotako ibilgailuak (barne-errekuntzako motordunak, elektriko hibridoak, moto elektrikoak eta abar), ibilgailuetako *start-stop* sistemak, urrutiko lekuetako hornitze elektrikoko sistemak, aldizkako metaketarako energia berriztagarrietan, segurtasun-metagailu modura telekomunikazioetan eta aplikazio geldikorretan, sare elektrikoko metatze-zentroak eta abar.

Izan ere, horrelako aplikazioetarako gaur egungo irtenbide eraginkorrenetarikoa bat da berun-azido bateria. Egiazki, berun-azido bateriak abantaila asko ditu: merkea, fidagarria, segurua, ziklatze sakonak egiteko gaitasuna, korrante handiak emateko gaitasuna, % 98 birziklagarria eta abar. Dena den, desabantailak ere badauzka, eta garrantzitsuenetarikoa bat bere energia-dentsitate txikia da, ~ 30 Wh/kg, alegia. Balio hau energia-dentsitatearen balio teoriko maximotik oso urrun dago, hots, 167 Wh/kg-ko baliotik. Hain zuzen ere, energia-dentsitate txiki hau berun-azido bateriaren material aktiboen erabilera partzialagatik agertzen da gehien bat. Harrigarria bada ere, ohiko berun-azido bateria batean material aktiboen erabilera % 25 eta % 35 artean dago (Pavlov, 2011). Gauzak horrela, material aktiboen erabilera handitzea lehentasunezko helburua da bateria-ekoizleentzat. Honek energia-dentsitatea handitzeaz gain, beste abantaila asko ekarriko lituzke: lan-bizitza luzatzea, eraginkortasun elektrikoa handitzea, jokaera termiko hobea eta abar.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Metagailu elektrikoen barruan gertatzen diren fenomenoak *in situ* behatzea garrantzitsua da beraien eraginkortasuna hobetzeko. Fenomeno hauek konplexuak dira, eta hainbat jakintza-arlotatik aztertu behar dira, hala nola, Kimikatik, Termodinamikatik, Elektromagnetismotik, Fluidomekanikatik, Materialen Zientzietatik, Ingeniaritzatik eta abar. Tamalez, metagailuak martxan daudenean barne-fenomenoen monitorizazioa gauzatzea oso zaila da. Izan ere, metagailuen barruko ingurunean sentsoreak kokatzeko aukera handirik ez dago, gehien bat, leku faltagatik, korrante elektrikoagatik eta azidotasunagatik. Hala ere, neurketa esperimentalak *in operando* egitea beharrezkoa da barruko fenomenoen berezitasunak hobeto ulertzeko.

Berun-azido baterien kasuan, adibidez, oso garrantzitsua da elektrolitoaren dentsitate-/kontzentrazio-aldaketak aztertzea. Ezaugarri horren neurketarako, elektrolitoaren hainbat ezaugarri izartu daiteke, hala nola, errefrakzio-indizea (Cao-Paz, 2010) edo potentzial elektrikoa (Schulte, 2013). Zoritzarrez, teknika hauek inbaditzaileak dira, eta sistemaren gainean eragiten dute. Dakigunaren arabera, bibliografian bi teknika ez-inbaditzaileak azaltzen dira berun-azido baterien elektrolitoa monitorizatzeko: ultrasoinuak (Swoboda, 1983) eta laser bidezko interferometria holografikoa (Alavioon, 1991; Eklund, 1992).

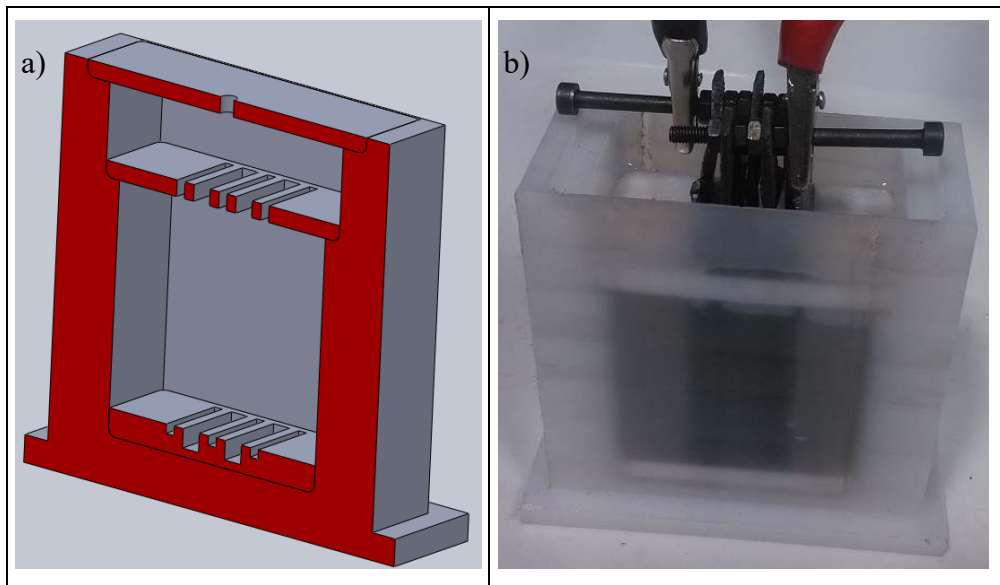
Azken urteotan, neutroi-teknikek erakutsi dute energia-metagailuak monitorizatzeko gai direla, bereziki litio-ioi bateriak eta hidrogenoa metatzen duten materialak (Kearley, 2015). Egia esateko, J. Chadwick-ek (1891-1974) neutroia 1932an aurkitu zuenetik, neutroiak erabiltzen dituzten teknikak asko garatu dira (Brenizer, 2013). Bere izaera bereziagatik, neutroiak atomoen nukleoekin soilik dauzka elkarrekintzak, eta batzuetan, elkarrakzio horien ondorioz sakabanaketa jasotzen du. Hau da, neutroiak ez dauka atomoetako elektroieruzekin elkarrekintzarik. Hori dela eta, neutroia gamma izpiak baino sarkorragoa da, eta gainera, bereziki objektuaren konposizioarekiko sentikorra da, ez dentsitatearekiko. Berez, neutroia, bere ezaugarriengatik, sentikorra da egoera solidoan garrantzitsuak diren luzera- eta denbora-eskaletan (Anderson, 2009). Difraktatuak direnean, neutroiek posizio atomikoen inguruko informazioa ematen dute; inelastikoki sakabanatuak direnean, atomo edo molekulen higidurari buruzko informazioa helarazten dute; azkenik, neutroiak xurgatuak direnean, konposizioaren banaketa espaziala erakusten dute (erradiografia edo tomografia).

Orain arte, neutroiak inoiz ez dira erabili berun-azido bateria baten barne-dinamika aztertzeko. Gure ustez, neutroi-teknikak egokiak izan daitezke berun-azido bateriaren barruan gertatzen diren fenomenoak *in operando* aztertzeko. Gauzak horrela, neutroi-tekniketan erabiltzeko egokia den lehenengo berun-azido bateria diseinatzea, optimizatzea eta eraikitzea da ikerketa honen helburu nagusia.

3. Ikerketaren muina

Ohiko berun-azido bateria ez da egokia neutroi-tekniketan erabiltzeko. Izan ere, neutroi-izpia ez litzateke gai izango bateria zeharkatzeko. Azken finean, gelaxkaren elementuek neutroi-izpiaren sakabanaketa eta xurgapena eragiten dute, neutroien transmisioa murriztuz edo

ekidinez. Hori dela eta, egokitutako bateria diseinatu behar dugu. Hasteko, ohiko sei gelaxkako bateria baztertu, eta gelaxka bakarreko bateria aztertzea erabaki dugu. Gelaxka horren elementuetan egindako aldaketak komentatuko ditugu jarraian.



1. irudia. a) Diseinaturiko bateria-karkasaren zeharkako ebaketa (elektrodo eta banatzailerik gabe) eta b) eraikitako bateria konexio elektrikoekin lanean.

3.1. Bateriaren karkasa

Berun-azido bateriaren karkasa hainbat materialekin eraiki daiteke: ABS, inpaktuarekiko erresistentzia handidun poliestirenoa (HIPS) edo polipropileno-polietileno kopolimeroa. Material hauek hidrogenoa daukate beraien konposizio kimikoan. Hidrogenoak neutroietarako ahultze-koefiziente handia duenez, material hauek ez dira egokiak eraiki nahi dugun bateriarako, neutroien fluxua indargabetzen dutelako. Ezinbestez, hidrogenorik ez daukan materiala erabili behar dugu bateriaren karkasa eraikitzeko; eta gainera, material horrek honako beste ezaugarri hauek ere izan behar ditu: azido sulfurikoarekiko erresistentea eta elektrikoki isolatzailea. Baldintza hauek guztiak betetzen dituen material asko ez dago. Gure aukera tefloia izan da (politetrafluoroetilenoa edo PTFE), mekanizatzeko erraza delako.

Bestalde, gelaxkaren kanpo-neurriak ere garrantzitsuak dira neutroi-fluxu egoki bat igarotzeko. Azken finean, gelaxkaren zabalera handiegia bada, neutroi-izpia ahulduko da, eta bereizmenik gabe igaroko da. Horretarako, $3 \times 7,5 \times 8$ cm-ko neurrietako gelaxka eraiki dugu (ikus 1. irudia). Hortaz, neutroiek gelaxkan zeharkatu beharreko gehienezko luzera 3 cm-koa da. Karkasaren 0,5 mm-ko lodieradun tefloizko bi horma daude sartuta 3 cm horietan.

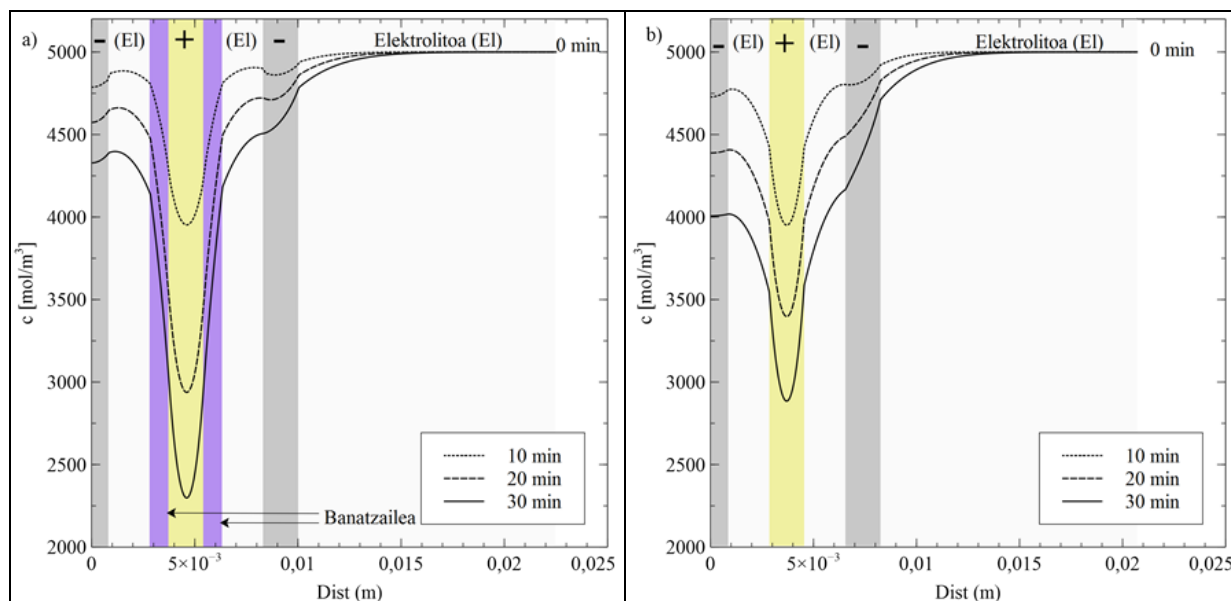
3.2. Elektrolitoa

Berun-azido baterien elektrolitoa azido sulfuriko (H_2SO_4) eta ur destilatuaren (H_2O) arteko nahasketa da. Normalean, azido sulfurikoaren pisu-portzentajea elektrolitoan % 10-40ko tartean dago, bateriaren karga-egoeraren arabera (Pavlov, 2011). Baterian hidrogenoa saihestu behar dugunez, fluido deuteratuak erabili ditugu elektrolitoa prestatzeko; hau da, ur astuna (D_2O) eta azido sulfuriko deuteratua (D_2SO_4). Printzipioz, elektrolito deuteratuak ez du aldaketarik eragingo elektrodoetan gertatzen diren erreakzio kimikoetan. Azken finean, deuterioak ez du zuzenean parte hartzen elektrodoetako erreakzioetan. Deuterioaren masa-aldaketak gehienez garraio-fenomenoetan eduki dezake eragina.

3.3. Barne-elementuak

Berun-azido bateriaren gelaxka batean hainbat elektrodo positibo eta negatibo egon ohi da. Gure kasuan, industrialki ekoiztutako hiru elektrodo negatibo eta bi positibo erabili ditugu, konfigurazio honek huts egiteko aukera gutxiago ematen duelako. Aldez aurretik kargatuta dauden elektrodo lehorrak erabili ditugu esperimentuan. Elektrodoak lotura mekanikoen bitartez lotu ditugu gelaxka muntatzeko (ikus 1. irudia), berunaren urtze-prozesu arriskutsua ekidinez.

Beste aldetik, ohiko banatzaileak erabili ditugu elektrodo positiboak inguratzeko. Banatzaileak polietilenoz eginda daudenez, hidrogenoa daukate, eta horregatik, neutroi-erradiografiarako ez dira oso egokiak. Zoritxarrez ez dugu lan baliokidea egingo duen ordezeko materialik aurkitu.



2. irudia. Simulatutako elektrolitoaren kontzentrazio-aldaketa denboran zehar C/5 deskargan: a) banatzaileekin eta b) banatzailearik gabe.

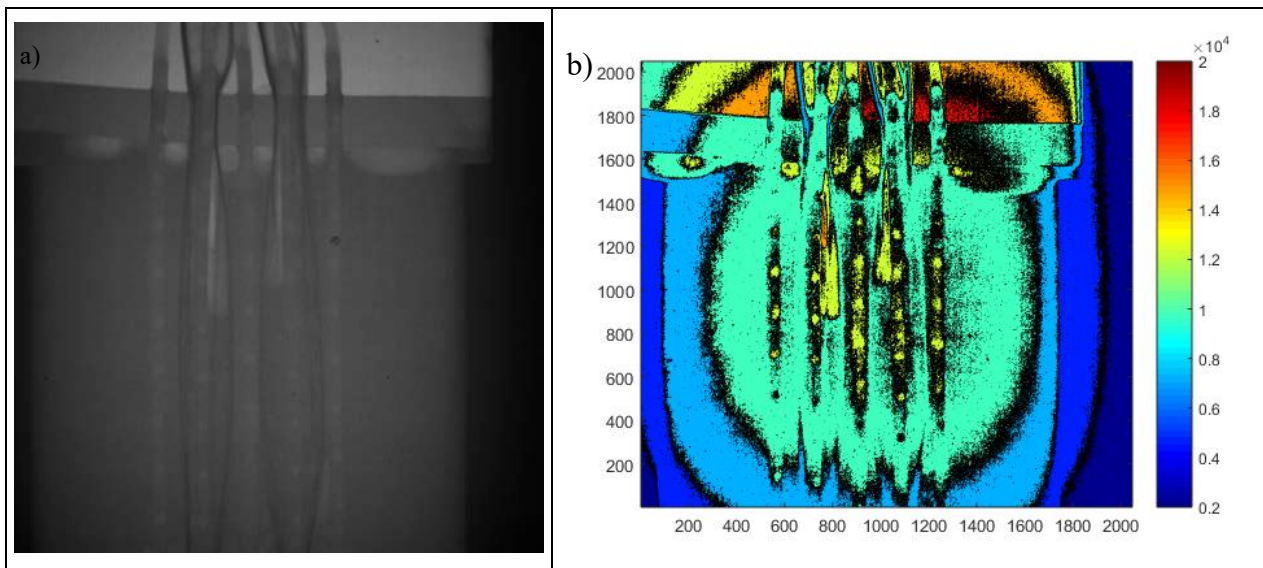
3.4. Optimizazioa

Azken garaiotan, zenbakizko metodoak gero eta gehiago erabiltzen ari dira metagailu elektrokimikoen jokaera aztertu eta hobetzeko. Holako ereduak bateriaren jokaera makroskopikoa azaltzen dute (adibidez, tentsioaren bilakaera karga-/deskarga-prozesuetan); baina jokaera mikroskopikoa ere azaltzeko gaitasuna daukate (adibidez, prozesu elektrokimikoetan parte hartzen duten elementu kimikoen kontzentrazio-aldaketak). Ereduen ezaugarri hau oso interesgarria da, metagailuaren optimizazio-prozesua errazten duelako (Pourmirzaagha, 2016).

Berun-azido bateria deskribatzen duten eredu asko garatu dira (Cugnet, 2016). Guk ondo finkatutako eredu bat erabili dugu diseinatu berri dugun gelaxkaren jokaera aztertzeko (Cugnet, 2009). Eredua elementu finituetako software komertzial batean inplementatu dugu, COMSOL Multiphysics® delakoan, alegia. Sistemaren simetriaren ondorioz, gelaxkaren erdia baino ez dugu simulatu behar. 2. irudiak erakusten du diseinaturiko gelaxkan elektrolitoaren kontzentrazioa nola aldatzen den C/5 deskargarako bi kasuetan, banatzaileekin eta banatzailearik gabe. Ezaguna denez, kontzentrazio-jaitiera handiagoa gertatzen da elektrodo positiboan, eta hau areagotzen da banatzaileen presentziarekin. Kontzentrazio-aldaketa hauek neutroien bidez detektatzeko asmoa daukagu. Simulazioen bitartez gelaxkari dimentsio egokiak eman dizkiogu, fenomeno hau era egokian detektatzeko.

3.5. Balioztatzea

Diseinaturiko gelaxkaren egokitasuna ziurtatzeko asmoarekin, bi egiaztapen egin ditugu. Lehenik, bateriaren jokaera elektrikoa aztertu dugu. Bateria deuteratuaren jokaera elektrikoa ohiko bateria baten modukoa da. Hortaz, deuterioaren erabilerak ez du eragin berezirik bateriaren ezaugarri elektrikoetan. Ondoren, neutroi termikoak erabili ditugu gelaxkaren neutroi-erradiografia egin daitekeen ala ez egiaztatzeko. Horretarako, 2014an inauguratutako DINGO instrumentua erabili dugu (Salvemini, 2016). Instrumentu hau OPAL erreaktorean kokatuta dago, Australian. 3. irudian ikus daitekeenez, diseinaturiko gelaxkak neutroi-kopuru egokia uzten du igarotzen, eta gelaxkaren elementu guztiak oso argi bereizten dira. Gainera, bereizmena egokia da neutroi-irudietatik informazio baliagarria ateratzeko.



3. irudia. Banatzailearen gelaxkaren neutroi-erradiografiak: a) neurtu bezala eta b) zuzenketarik gabeko intentsitate-profila.

4. Ondorioak

Neutroi-tekniketan erabiltzeko egokia den lehen berun-azido bateria diseinatu dugu. Horretarako, hidrogenoa daukaten material gehienak aldatu ditugu. Horretaz gain, neutroiei buruzko ezagutza eta simulazioak erabiliz, gelaxkari dimentsio egokiak eman dizkiogu neutroien transmisioa errazteko. Egiaztatu dugu ikerketa honetan garatutako bateria egokia dela neutroiak erabiltzen dituzten tekniken bitartez aztertu ahal izateko. Izan ere, neutroi-izpi erasotzailearen seinalea era egokian transmititzen da gelaxkan zehar, eta horrek barne-prozesuen inguruko informazioa eskuratzea ahalbidetzen du.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Diseinaturiko bateriaren monitorizazioa egitea izango da gure hurrengo helburua. Azken finean, neutroi-teknikak berun-azido baterien azterketarako egokiak diren ala ez egiaztatu nahi dugu. Horretarako, lehenik, neutroi-izpi erasotzailearen zuzenketa era egokian kendu behar diegu neutroi-irudi guztiei. Ondoren, adibidez, bateriaren ohiko lan-baldintzetan elektrolitoaren kontzentrazio-aldaketak kuantifikatzeko asmoa daukagu. Horretaz gain, elektrodoetan gertatzen diren beste fenomeno elektrokimikoak ere behatu nahi ditugu: sulfatazioa, korrosioa, masa aktiboaren degradazioa eta abar. Fenomeno hauek guztiak teknika bakar batekin aztertu ahal izatea aurrerapauso garrantzitsua litzateke. Hau lortuz gero, neutroien teknikak oso erakargarriak izango lirateke berun-azido baterien azterketarako.

6. Erreferentziak

- Alavyoon, F., Eklund, A., Bark, F. H., Karlsson, R. I., Simonsson, D. (1991). Theoretical and experimental studies of free convection and stratification of the electrolyte in a lead-acid cell during recharge, *Electrochim. Acta* **36** (14) 2153-2164.
- Anderson, I. S., McGreevy, R. L., Bilheux, H. Z. (ed.) (2009). *Neutron imaging and applications. A reference for the imaging community*; Springer, New York, London.
- Brenizer, J. S. (2013). A review of significant advances in neutron imaging from conception to the present, *Physics Procedia* **43**, 10–20.
- Cao-Paz, A. M., Marcos-Acevedo, J., del Río-Vázquez, A., Martínez- Peñalver, C., Lago-Ferreiro, A., Nogueiras-Meléndez, A. A., Doval-Gandoy, J. (2010). A multi-point sensor based on optical fiber for the measurement of electrolyte density in lead-acid batteries, *Sensors* **10**, 2587-2608.
- Cugnet, M., Laruelle, S., Grugeon, S., Sahut, B., Sabatier, J., Tarascon, J.-M., Oustaloup, A. (2009). A Mathematical Model for the Simulation of New and Aged Automotive Lead-Acid Batteries, *J. Electrochem. Soc.* **156** (12) A974-A985.
- Cugnet, M., Liaw, B. Y. (2016). Mathematical modeling of lead-acid batteries, in: J. Jung, L. Zhang, J. Zhang (eds.), *Lead-Acid Battery Technologies: Fundamentals, Materials, and Applications*, CRC Press, 229-318.
- Eklund, A., Karlsson, R. I. (1992). Free convection and stratification of electrolyte in the lead-acid cell without/with a separator during cycling, *Electrochim. Acta* **37** (4) 681-694.
- Kearley, G. J., Peterson, V. K. (ed.) (2015). *Neutron Applications in Materials for Energy*, Springer, Berlin.
- Pavlov, D. (2011). *Lead-Acid Batteries: Science and Technology. A Handbook of Lead-Acid Battery Technology and its Influence on the Product*, Elsevier, Amsterdam.
- Pourmirzaagha, H., Esfahanian, V., Sabetghadam, F., Torabi, F. (2016). Single and multi-objective optimization for the performance enhancement of lead–acid battery cell, *Int. J. Energy Res.* **40** (14) 1966–1978.
- Salvemini, F., Bevitt, J., Liss, K. D., Garbe, U. (2016). DINGO – the neutron imaging station at ANSTO: embracing material science, paleontology, and cultural heritage, *Neutron News* **27** (2) 14-19.
- Schulte, D., Sanders, T., Waag, W., Kowal, J., Sauer, D. U., Karden, E. (2013). Automatic device for continuous measurement of potential distribution and acid stratification in flooded lead-acid batteries, *J. Power Sources* **221**, 114-121.
- Swoboda, C. A., Fredrickson, D. R., Gabelnick, S. D., Cannon, P. H., Hornstra, F., Yao, N. P., Phan, K. A., Singleterry, M. K. (1983). Development of an Ultrasonic Technique to Measure Specific Gravity in Lead-Acid Battery Electrolyte, *IEEE Transactions on sonics and ultrasonics* **30** (2) 69-77.

7. Eskerrak eta oharrak

L. Oca-ri eskerrak eman nahi dizkiogu lanean zehar emandako laguntzagaririk. Beste aldetik, G. Arrizabalaga eta A. Arrillaga-ri ere eskertzen diegu karkasak mekanizatzean egindako lana. Era berean, I. Perez-ek karkasaren planoak prestatu izana ere eskertzekoa da.

Gailu mikro-fluidiko analitikoetarako osagaien garapen eta azterketa

Jaione Etxebarria Elezgarai¹, Susana Carregal-Romero², Charles Lawrie^{3,5}, Fernando Benito-Lopez⁴, Lourdes Basabe Desmonts^{1,5*}

BIOMICS-microfluidics Research group, Microfluidics Cluster UPV/EHU ikerketa taldea, Zoologia eta Animalia Zelulen Biologia Saila, Euskal Herriko Unibertsitatea, Gasteiz (1), Bionanoplasmonics Laboratory, CIC biomaGUNE, Donostia (2), Onkologia Saila, Biodonostia Osasun Ikerketa Institutua, Donostia (3), AMMa LOAC Research Group, Microfluidics Cluster UPV/EHU ikerketa taldea, Kimika Analitikoa Saila, Euskal Herriko Unibertsitatea, Gasteiz (4), IKERBASQUE Zientziarako Euskal Fundazioa, Bilbo (5)

Jaione.etxebarria@ehu.eus

Laburpena

Lan honetan minbiziaren diagnosi goiztiarrerako eta tratamenduen egokitzapenerako kontzeptu berri bat aurkezten da, non gailu hibrido miniaturizatu batekin odoleko DNA zirkulatzalea analizatuz, kasuan kasuko mutazioaren presentziarik ote dagoen ezagutu nahi den. Egitura hibridodun gailua paperezko zein material polimerikozko mikro-egiturez osatuta egongo da eta laginaren prestakuntzarako, seinalearen amplifikaziorako eta detekziorako modulu ezberdinak izango ditu. Halaber, analisiak *in situ* egin eta emaitzak denbora gutxian eskuratzeko aukera emango digu, kostu gutxiko analisiekin pazientearen jarraipen egokituago bat egin ahal izateko.

Hitz gakoak: Mikro-teknologiak, diagnostiko azkarra, *in situ* analisisa, txip mikro-fluidiko hibridoak.

Abstract

This work presents a new concept of a hybrid Point-of-Care (POC) device developed for the detection of cancer biomarkers in blood, circulating DNA, for early cancer diagnostics. The device is composed of both, paper and polymeric based self-powered microfluidic structures and it includes several modules with different functions: sample preparation, signal amplification and detection. This POC device will enable in situ analysis and quick delivery of results, as well as a low cost tool for diagnostics which could impact clinical decision making and personalized medicine.

Keywords: Microtechnology, rapid diagnostic systems, in situ analysis, hybrid microfluidic devices.

1. Sarrera eta motibazioa

Azken urteetan mikro-teknologietan emandako aurrerakuntzek Lab-on-a-chip (LOC) edo Point-of-Care (POC) diagnosi azkarreko gailu miniaturizatuak garatzea ahalbidetu dute. Teknologia berritzaile hauek hainbat ezagutza esparru biltzen dituzten sistema integratu multifuntzionalak dira eta aplikazio mediko eta biologikoetarako aukera handiak eskaintzen dituzte (Vilkner *et al.*, 2004; Dittrich *et al.*, 2006). Berauen abantaila nagusiak erantzun-denbora baxuak, errektibo eta lagingen erabilera minimoak, eta analisi biologikoen errendimendu hobekuntza dira (Thorsen *et al.*, 2002). Gainera, miniaturizazioari esker, laborategitik urrun gaixotasun ezberdinak *in situ* detektatzeko balio dute, azkar batean emaitzak jakinez (Piraino *et al.*, 2016). Gaur egun, erronka nagusia sentsibilitate eta efikazia altuko gailu autonomo eta automatizatuak sortzea da, betiere erabilera erraza eta kostu baxua eskainiz. Bestetik, sistema gehienek lagina bere egoera normalean erabiltzea bilatzen dute, lagina zuzenean eta inolako aurretratatamendurik gabe analizatu ahal izateko (Gubala *et al.*, 2012).

Lan honetan INDICATE kontzeptu berritzailea aurkezten da, “In vitro minbizi diagnosi testa” deritzona (IN vitro DIagnostics for CAncer TESting) eta ClearBlue™ obulazio testa bezalako *in vitro* diagnosi tresnetan inspiratuta dagoena. INDICATE gailua pazientearen odol lagin bat erabiliz minbiziaren diagnostiko goiztiarra ahalbidetuko duen “biopsia-likidoa” da. 1. irudian erakusten den prototipoaren izaera ez-inbaditzaile eta eramangarriak oso erakargarri egiten du

gailu hau medikuaren kontsultan bertan, laborategitik urrun eta makina espezializatu garestirik erabili gabe, minbizidun pazienteen gaixotasunaren zein tratamenduen jarraipena egiteko.

1. irudia. Haurdunaldi testaren gisako INDICATE tresna eramangarriaren diseinu orokorra



2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

POC sistema analitikoak aplikazio errealean inplementatu eta emaitza onak lortu ahal izateko beharrezkoa da kontrol mikro-fluidiko zorrotza izatea zirkuitu fluidiko guztian zehar. Gaur egun kontrol mikro-fluidikorako osagai ugari aurki ditzakegu eta horien artean mikro-balbulak eta mikro-ponpak dira garrantzitsuenak. Analisisirako sistema autonomoak egiterako orduan osagai autopropulsiatuak erabiltzea interesgarria denez, azken urteetan mota honetako osagaien sorta zabala aurki daiteke (Cha e Kim, 2011; Liang *et al.*, 2011; Kokalj *et al.*, 2014). Orain arte fabrikazio teknika eta material ezberdinak erabili dira osagai hauek garatzeko. Tradizionalki materialik ohikoenak beira eta silizioa izan dira, baina gaur egun jada material berri ugari erabiltzen dira, horien artean zabalduenak polimeroak izanik. Honekin batera, fabrikazio teknika berriak sortu dira azken hamarkadetan, moldekatze termikoa, injekzio bidezko moldekatzea, laser bidezko fabrikazioa edo azkenaldian indarra hartzen ari den 3D inprimaketa esaterako (Amin *et al.*, 2016). Joera honi jarraiki, suspertzen ari den teknologia bat material polimerikoen degasifikazio bidezko zirkuitu fluidikoen kontrola da. Mikro-ponpak material elastomeroetan modularki diseinatzeko aukera dago, gero txip mikro-fluidikoei gehituz mikro-kanalen barruko emarien kontrola sustatzeko. Kasu honetan emaria ponparen diseinuaren menpekkoa da soilik eta ez txiparen menpekkoa (Li *et al.*, 2012).

Ildo horretan, lan honen helburua INDICATE teknologia garatzeko egindako aurrerapenak erakustea da, osagai mikro-fluidikoen diseinu, fabrikazioa eta funtzionamendua erakutsiz. INDICATE polimerozko egitura mikro-fluidikoez eta alboko fluxudun paperezko tirez osatuta egongo da (ingelesez Lateral Flow Assay, LFA). Polimero zurrunkak erabiliko dira likidoaren ibilbiderako mikro-kanalek eta erreaktiboentzako mikro-gordailuek osatuko duten zirkuitu mikro-fluidikoak 3D inprimaketa bidez fabrikatzeko. Polimerozko txipean emaria sortzeko PoliDiMetilSiloxano (PDMS) elastomerozko ponpa autopropulsiatuak erabiliko dira. INDICATE gailuak paperezko LFA egitura bat izango du bisualki analitoa detektatu ahal izateko. LFA-etan emariak paperak berez daukan kapilaritate ahalmenari esker lortu daitezke baina likido kantitate handien erabilera bermatzeko material bereziak gehitu behar izaten zaizkie. Beraz azkenik txip hibridoa garatuko da polimero, elastomero eta paperezko egiturak elkartuz eta integrazioaren egokitasuna lagin bolumen handietarako (>200 ul) aztertuko da.

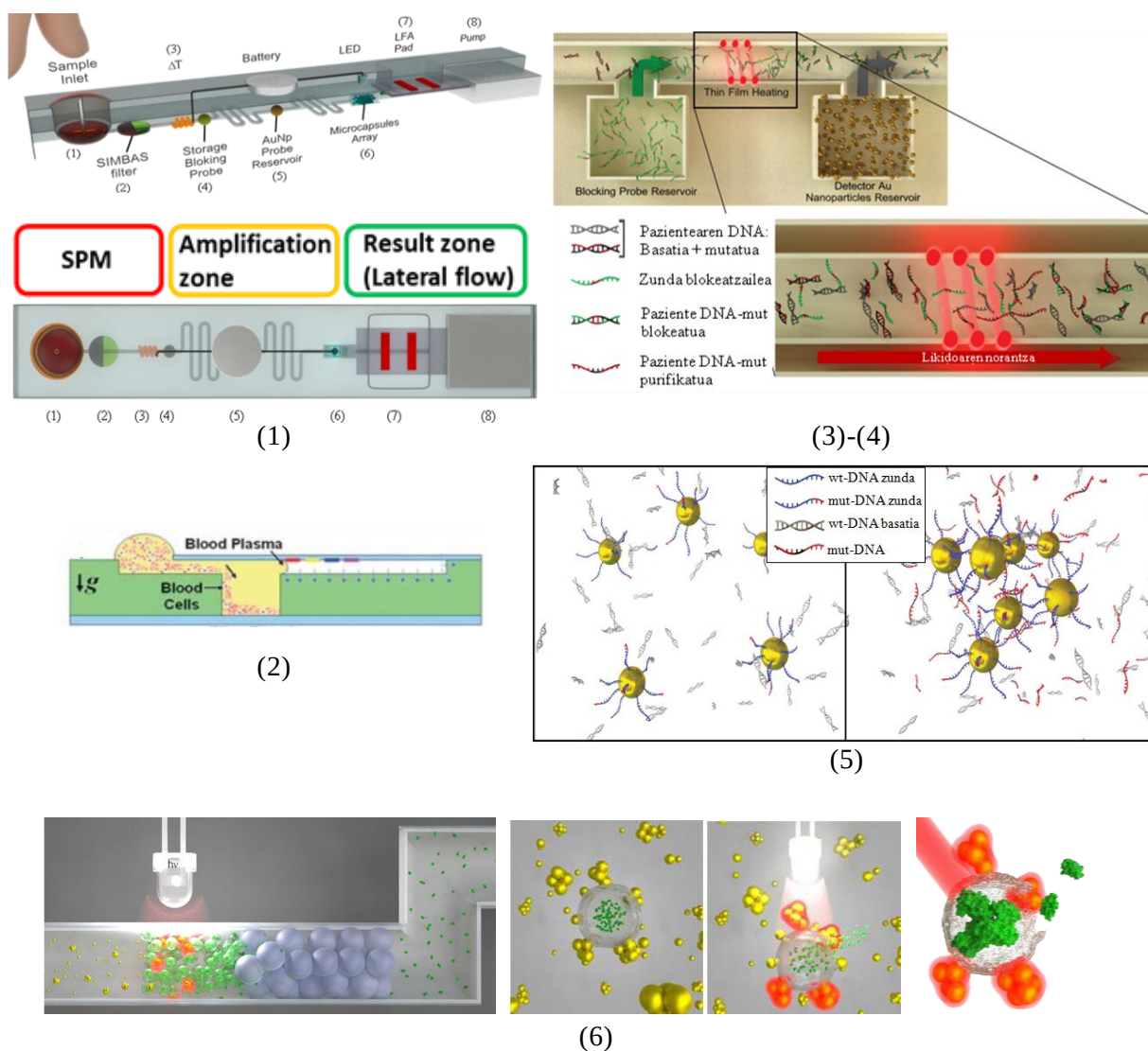
3. INDICATE gailurako osagai mikro-fluidikoen diseinu eta garapena

Aurrez aipatu bezala INDICATE gailua sistema integratu multifuntzionala izango da eta 2.1. irudiko eskeman erakusten diren hainbat etapa biologiko eta mikro-fluidiko bilduko ditu, honako hau izanik jarraitu beharreko mekanismoa: Pazientearen odol lagina gailuan sartzen da eta filtroan garbitzen da zelulak kanporatzeko (1-2), laginean dagoen DNA mutaturik purifikatu egiten da (3-4) eta urrezko nanopartikulekin (AuNP) elkartzen da aglomeratuak sortzeko (5), aglomeratu horiek uhin luzera zehatzeko laserrarekin irradiatzean berotu egiten dira (metalen efektu plasmonikoa) eta bero hori erabiltzen da aurrez txipean gordeta dauden mikro-kapsula termosentikor batzuk apurtzeko (6), horrela mikro-kapsula hauetan bilduta dauden milaka molekula koloratu askatzen dira eta paperezko tiran bisualki detektatzen dira.

Kasuan kasuko mutazioarentzako DNA zunda espezifikoa diseinatuko dira bai pazientearen DNA mutaturik purifikatzeko, bai eta AuNP-ak funtzionalizatu eta aglomeratu espezifikoa

sortzeko. DNA mutatuak pazientearen laginean aurkitzen denean bakarrik gertatuko da honen eta AuNP-en arteko lotura eta ondorioz aglomerazioa. Are gehiago, kapsula termosentikorrek AuNP-en aglomerazioa gertatzean bakarrik apurtuko dira, erabilitako uhin luzera tartean banakako AuNP-ek sortu dezaketen beroa ez baita mikro-kapsulak apurtzeko nahikoa (AuNP-ak aglomeratzean beraien absortzio banda banakako AuNP-en bandarekiko desplazatu egiten da) (Haiss *et al.*, 2007; Vivero-Escoto *et al.*, 2009; Khlebtsov e Dykman, 2010). Beraz, anplifikazio mekanismoa aztertu nahi den mutazioarekiko espezifikoak da eta ohiko termoziklagailuak ez bezala milaka seinale-molekula askapen selektiboan oinarritzen da.

2. irudia. INDICATE gailuaren osagai nagusiak: Laginaren sarrerako gordailua (1), filtrazio gunea (2), DNA desnaturalizatzeko berogailua (3), pazientearen DNA mutatuak purifikatzeko zunda blokeatzailearen gordailua (4), pazientearen DNA mutatuak harrapatzeko funtzionalizaturiko AuNPen gordailua (5), LED laserra eta mikro-kapsulen filtroa duen anplifikazio gunea eta alboko fluxudun paperezko detekzio gunea.



Sistema integratu multifuntzionalak garatzean ohikoa da prototipoen ekoizpena era modularrean bideratzea, eta gehienetan ikerketa talde ugari parte hartu ohi dute prozesu horretan. Esaterako, INDICATE gailurako kontzeptu batzuk beste talde batzuk ikertu eta frogatuta dituzte jadanik, zunden diseinua eta aglomerazioa (Sanromán-Iglesias *et al.*, 2016) edo kapsula termosentikorraren laser bidezko irekitzea (Baffou *et al.*, 2013; Ott *et al.*, 2015) esaterako. Ondoko emaitzetan beraz, kontzeptu horietarako beharko diren egitura mikro-fluidikoen fabrikazio eta funtzionamendua ilustratuko da. Hala nola, 3D inprimaketa, filtratzeko sistema, anplifikazio gunea, ponpa autopropulsatuak eta txip hibridorako hurbilpen bat.

3.1. 3D inprimaketa bidezko txip mikro-fluidikoen fabrikazioa

Osagai ezberdinak “Creo Parametrics 2.0 3D” eta “PreForm” softwareekin diseinatu dira eta 3D inprimaketa “FormLab 1+” inprimagailuan 50 μm -tako erresoluzioa eta material akriliko gardena (Formlab Clear resin FLGP CL02) erabiliz egin da. FormLab makinak estereolitografia teknologia erabiltzen du eta 405 nm-ko uhin luzerako laserra dauka erretxina erreakzionarazteko. Inprimatutako piezak isopropanolezko bainu baten garbitzen dira gogortu ez den erretxina eliminatu eta egituren emaitza hobetzeko. Ondoren erretxina guztiz gogortzeko pieza 365 nm-ko uhin luzerako argi ultramoredun lanpara baten ontzen utzi da 30 minutuz.

3.2. Odolaren filtrazioa

3.1. irudian 3D inprimaketa bidez fabrikatutako eta 100 μl -ko odol bolumenera egokitutako filtrazio modulua ikus daiteke. Filtroan odola bere egoera normalean sartzen da eta, 3.2. irudian erakutsi bezala, tanke zirkular guztia beteta dagoenean odoleko zelulak (globulu gorri, zuri eta plaketak) dekantazio bidez eliminatzen dira. Orduan tanketik plasma likidoa ateratzen da eta plasma horren frontea 3.2 irudian marra zuri batekin bereizi da.

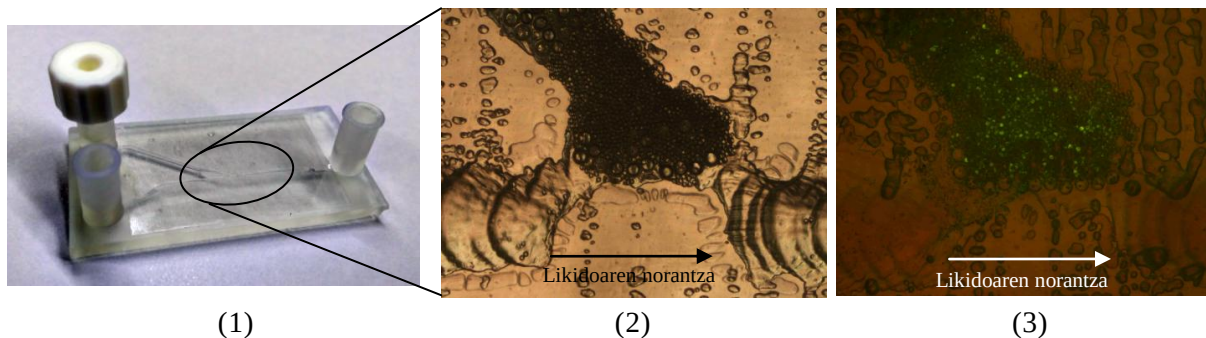
3. irudia. Odoleko zelulak filtratzeko 3D inprimaketa bidezko txip mikro-fluidikoa. Diseinua 100 μl odol filtratzeko egokitu da, eta marra zuriak filtratutako plasma likidoaren frontea erakusten du.

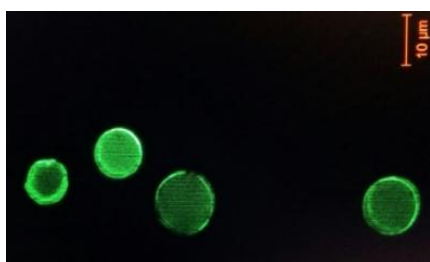


3.3. Anplifikazio modulua

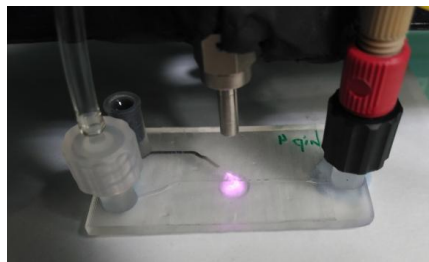
Anplifikazio moduluan molekula fluoreszenteak (dextrano-FITC) erabili dira seinale-molekula gisa eta hauek 10 μm -tako $\text{SiO}_2/\text{PDADMAC}$ (Poli(DiAlilDimetilAmonio Kloruro)) mikro-kapsula termosentikorraren barnean sartu dira. Mikro-kapsulak laserra dagoen eremuan finkatuta egon behar dira AuNP aglomeratuak pasatzean beroa sortu eta mikro-kapsulak beroaren bidez apurtzea nahi bada. Horretarako 3D inprimaketa bidez “anplifikazio zona” bat fabrikatu da beirazko mikro-esferen (75 μm Glass Beads, 59200-U Sigma Aldrich) filtro baten bidez mikro-kapsulak finkatzeko, 4.1., 4.2. eta 4.3.irudietan ilustratu bezala. Laser bidezko kapsulen hausketa eta molekula fluoreszenteen askapena aurrez prestatuko AuNP aglomeratuak erabiliz aztertu da. 800 nm-ko uhin luzera eta 3000 A-ko intentsitatea 3 minutuz erabiltzean dextrano-FITC molekulen askapena lortu dela ikus daiteke 4.6.irudian.

4. irudia. Anplifikazio modulua: (1) 3D inprimaketa bidezko txip mikro-fluidikoa, (2-3) mikro-kapsulak atxikita mantentzeko beirazko mikro-esferen zutabea, laserraren zona definitzeko, (4) molekula fluoreszentez beteriko mikro-kapsula termosentikorrak, (5) laserrarekin erabilitako muntaia kapsulak zabaltzeko, (6) molekula fluoreszenteen askapena

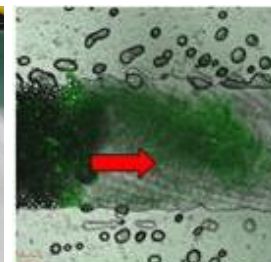




(4)



(5)



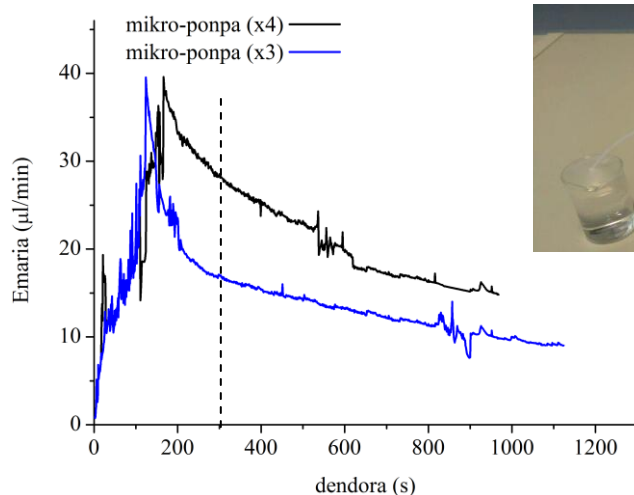
(6)

3.4. PDMS mikro-ponpak

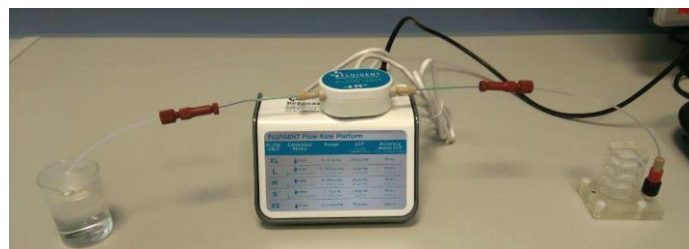
Elastomerozko ponpa autopropultsatuen funtzionamendua oso sinplea. PDMS-ak bere barneko poroetan duen airea hutsune bidez ateratzen da, behin mikro-ponpa desgasifikatuta dagoenean (horrela paketatuta eta biltegiratu daiteke) txiparen bukaerako zonaldean ezartzen da eta barneko poroetako presio negatiboa orekatzeko asmotan mikro-kanaletako airea xurgatzen du. Ondorioz airearen desplazamenduak mikro-kanaletako likidoa ere desplazatzea eragiten du, emari bat sortuz.

Aurreko lan baten erakutsi genuen sortzen den emaria PDMS-aren gainazaleko azaleraren menpekoa dela (Ruiz *et al.*, 2015), beraz ponparen gainazal erabilgarria aldatuaz emari ezberdinak lortu ditzakegu, eta gainazal hori handitzeko modu sinple bat ponpak elkarren gainean pilatzea da. 5.irudian ikus daitezkeen azken diseinuei ezker emari gaitasun handia duten PDMS elastomerozko mikro-ponpak garatu ditugu eta erabiltzen den unitate kopuruaren arabera emari tarte ezberdinak lortzen dira. Horrela $14 \pm 4 \mu\text{l}/\text{min}$ -ko eta $20 \pm 6 \mu\text{l}/\text{min}$ -ko emariak lortu dira ($t > 300\text{s}$) 3 eta 4 mikro-ponpa unitate batera erabili direnean.

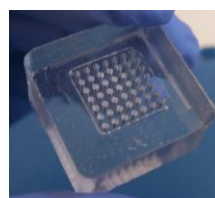
5. irudia. (1) PDMS mikro-ponpen funtzionamendua 3 eta 4 ponpa unitate elkarrekin itsatsita erabiltzean. (2) Analisirako erabili den emari-sentsorearen muntaia. (3) PDMS mikro-ponpa unitarioa. (4) 3 eta 4 ponpa unitate elkarrekin itsastean lorturiko emari altuko PDMS mikro-ponpak.



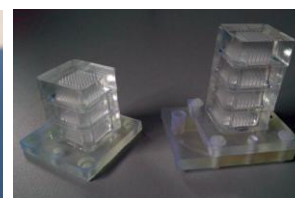
(1)



(2)



(3)



(4)

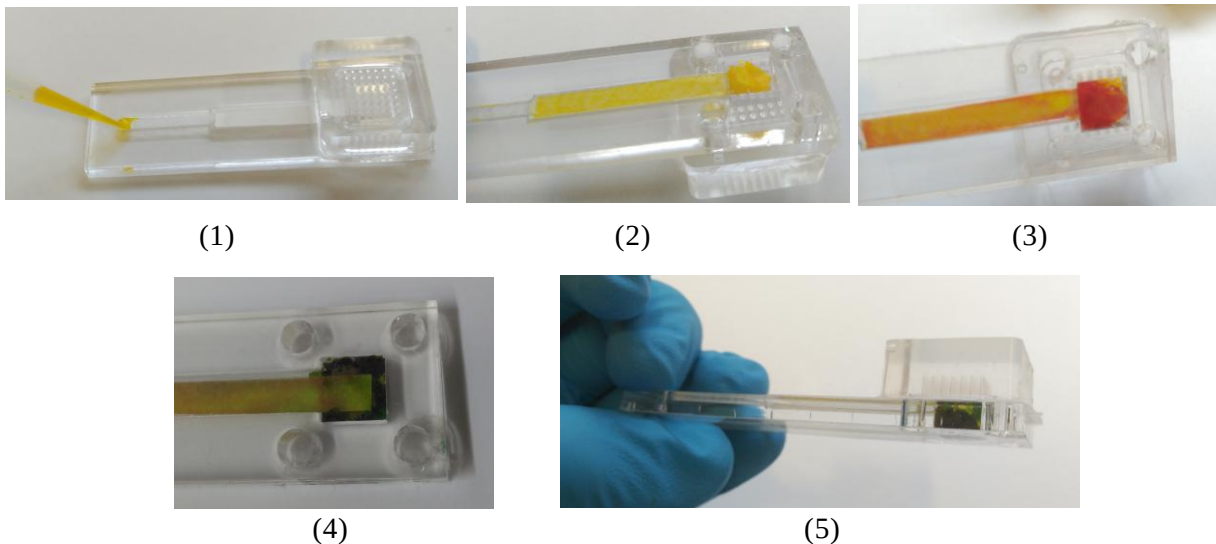
3.5. Txip hibridoa

Azkenik plastikozko txipaz, paperezko tiraz eta elastomerozko ponparekin osatuko txip hibrido integratu bat fabrikatu da. Txip honetan lagina LFA-ra iristean paperak kapilaritateari esker lagina xurgatu egingo du. Aplikazioan espero den laginaren kantitatea paperak absorbatu dezakeena baino askoz handiagoa izango denez, paperaren saturazioa ekidin eta lagin guztia

detekzio gunetik pasako dela ziurtatu behar da. Horretarako paperean hidrogel disko bat integratu da LFA-tik pasatzen den likidoa eliminatu eta txiparen bukaerako gordailuan biltzeko.

Hurrengo esperimentuan guztira 300 μ l-ko bolumena 3 zatitan sartu da txiparen sarreratik, bakoitzean 100 μ l sartu direlarik, kolore horiko likidoa lehenik, gorria bigarrenik eta urdina azkenik. Proba honetan frogatu da txip hibridoak 300 μ l-ko bolumen batekin lan egin dezakeela integratutako hidrogel diskoari esker.

6. irudia. Plastikozko txipaz, paperezko tiraz, hidrogel disko batez eta elastomerozko ponparekin osatuko txip hibrido integratuan egindako froga fluidikoa.



4. Ondorioak

INDICATE gailurako osagai ezberdinak 3D inprimaketa bidez fabrikatu dira. Osagai hauen funtzionamendu egokiak erabilitako fabrikazio teknikaren baliotasuna baieztatu du, etorkizunean modulu ezberdinak gailu bakarrean integratzea errazago eginez.

Odol filtroa 100 μ l odol bolumenarekin erabili da eta zelulak eliminatu eta plasma ateratzeko gai dela ziurtatu da. Kasu honetan laginaren bolumen kantitatea 20 aldiz handitzea lortu da aurreko beste publikazio batekin alderatuz (Dimov *et al.*, 2010). Beraz, INDICATE gailurako ez da odol laginaren aurre prestaketarik behar, baina gutxienez 200 μ l-tara arteko filtrazio ahalmena lortzeko egokitu behar da proiektuko espezifikazioak bete daitezela.

Anplifikazio gunetik DNA kantitate txiki batekin sortutako AuNP aglomeratuak pasaraztean laserrarekin irradiatu eta molekula fluoreszenteak liberatzea lortu da. Horrela, hasieran oso urria eta neurtezina den DNA kantitaterako aise neurtu daitekeen seinalea lortu da. Hurrengo esperimenduetan askapen hori kuantifikatu behar da analisi parametro ezberdinetarako.

PDMS elastomerozko mikro-ponpak modulu unitario gisa garatu dira eta unitate kantitatea handituz lortzen den likidoaren emaria ere handitu egiten dela erakutsi da. Diseinurako askatasun honek intereseko emari baldintzak bermatuko duen mikro-ponpa fabrikatzea erraztuko du, izan ere azken diseinuei ezker lortutako emari tarteek POC gailu eramangarri eta autonomoak sortzeko baldintzak betetzen dituzte. Gainera beraien funtzionamendua oso sinplea denez eta erabili eta botatzekoak direnez, oso aproposak dira erabilera bakarreko test biologikoetarako.

Egitura hibridoa osatzeko plastikozko txipa, paperezko tira, hidrogel disko bat eta elastomerozko mikro-ponpa integratu dira. Gailu hauek guztiak konbinatuz eta mikro-ponpak sortzen duen hutsari eta paperaren kapilaritate ahalmenari esker likidoaren mugimendua lortu daitekeela erakutsi da. Gainera erabilitako hidrogel diskoa txipetik pasatutako likido guztia

gordetzeko gai dela ere ikusi da, bolumen altuetako laginak erabiltzea ahalbidetuz detekzio gunean likidoarekin saturatu gabe.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

INDICATE gaur egun ikerketa zentro eta enpresa ugariaren parte hartzearekin aurrea doan proiektua da eta hurrengo urteetan teknologia hau garatuz joango dela espero da. Behin prototipoa definituta, garatutako teknologikoaren ezagutza industriara transferituko da eta gailuaren serie altuak fabrikatuko dira eremu klinikoan berauen balidatzea jorratzeko.

6. Erreferentziak

- Dittrich, P.S., et al. (2006): *Micro total analysis systems. Latest advancements and trends*. Analytical Chemistry, 78(12) 3887-908.
- Vilkner, T., et al. (2004): *Micro total analysis systems. Recent developments*. Analytical Chemistry, 76(12) 3373-85.
- Thorsen, T., et al. (2002): *Microfluidic Large-Scale Integration*. Science, 298 580-584.
- Piraino, F., et al. (2016): *A Digital-Analog Microfluidic Platform for Patient-Centric Multiplexed Biomarker Diagnostics of Ultralow Volume Samples*. ACS Nano, 10(1) 1699-1710.
- Gubala, V., et al. (2012): *Point of care diagnostics: status and future*. Analytical Chemistry, 84(2) 487-515.
- Cha, K.J., et al. (2011): *A portable pressure pump for microfluidic lab-on-a-chip systems using a porous polydimethylsiloxane (PDMS) sponge*. Biomedical Microdevices, 13 877-883.
- Kokalj, T., et al. (2014): *Self-powered imbibing microfluidic pump by liquid encapsulation: SIMPLE*. Lab on a Chip, 14(4329).
- Liang, D.Y., et al. (2011): *Systematic characterization of degas-driven flow for poly(dimethylsiloxane) microfluidic devices*. Biomicrofluidics, 5(024108).
- Amin, R., et al. (2016): *3D-printed microfluidic devices*. Biofabrication, 8(022001).
- Li, G., et al. (2012): *A "place n play" modular pump for portable microfluidic applications*. Biomicrofluidics, 6(1) 14118-1411816.
- Haiss, W., et al. (2007): *Determination of size and concentration of gold nanoparticles from UV-vis spectra*. Analytical Chemistry, 79(11) 4215-4221.
- Khlebtsov, N.G. et al. (2010): *Optical properties and biomedical applications of plasmonic nanoparticles*. J. Quant. Spectrosc. Ra., 111(1) 1-35.
- Vivero-Escoto, J.L., et al. (2009): *Photoinduces intracellular controlled release drug delivery in human cells by gold-capped mesoporous silica nanosphere*. J. Am. Chem. Soc., 131(10) 3462-3463.
- Sanromán-Iglesias, M., et al. (2016): *Sensitivity Limit of Nanoparticle Biosensors in the Discrimination of Single Nucleotide Polymorphism*. ACS Sens, 1(9) 1110-1116.
- Ott, A., et al. (2015): *Light-Addressable and Degradable Silica Capsules for Delivery of Molecular Cargo to the Cytosol of Cells*. Chem. Mater., 27 1929-1942.
- Baffou, G., et al. (2013): *Photoinduces Heating of Nanoparticle Arrays*. ACS Nano, 7(8) 6478-6488.
- Ruiz, I., et al. (2015): *Self-powered high flow capacity polymeric microfluidics*, microTAS.
- Dimov, I.K., et al. (2010): *Stand-alone self-powered integrated microfluidic blood analysis system (SIMBAS)*. Lab on a Chip, 11 845-850.

7. Eskerrak eta oharrak

Egileok gure esker ona adierazi nahiko genioke Eusko Jaurlaritzako Industria, berrikuntza, merkataritza eta turismo Sailari eta baita ere Eusko Jaurlaritzako Osasun Sailari, ELKARTEK 2015 deialdiko KK-2015/0000088 zenbakidun eta RIS3 deialdiko 307616FKA4 zenbakidun diru laguntzekin, hurrenez hurren, ikerketa hau babesteagatik.

Gainera, egileok Euskal Herriko Unibertsitateko Marian Martínez de Pancorbo katedraduna eskertu nahiko genuke UPV / EHUKo laborategi instalazioen erabilera gure eskura jartzeagatik, eta baita DNA Bankuko (SGIker) Maite Alvarez Doktorea, laguntza tekniko eta pertsonalarekin eta Europako finantziazioarekin (FEDER eta FSE) laguntzeagatik. Azkenik, Adhesive Research zentruaren kolaborazioa ere aipatu nahiko genuke, PSA materialaren doako horniketarengatik.

Jaione Etxebarriak “2016ko UPV/EHUn ikertzaile doktoreak espezializatzeko kontratatzeko diru laguntzen deialdia” eskertu nahiko luke ESPPOC 16/65 zenbakidun laguntzarekin ikerketa hau babesteagatik. Era berean, Jaionek eskerrak eman nahiko lizkieke INDICATE proiektuko partzuergoan parte hartzen duten ikerketa taldeetako ikerlariei.

Bestalde, Fernando Benito-Lopezek, Espainiako Ekonomia eta Lehiakortasun Ministerioko “Ramón y Cajal” Programako onuraduna denak, “*European Union’s Seventh Framework Programme (FP7) for Research, Technological Development and Demonstration, 604241*” proiektua eskertu nahiko luke.

Testu-loturen labirinto semantikoan barna, esanahi-bektoreak lagun!

Goikoetxea, Josu* eta Lopez-Gazpio, Iñigo*
eta Agirre, Eneko eta Maritxalar, Montse eta Soroa, Aitor

IXA taldea. UPV/EHU.
{josu.goikoetxea,inigo.lopez,e.agirre,montse.maritxalar,a.soroa}@ehu.eus

Laburpena

Lan honetan Hizkuntzaren Prozesamenduari alorreko bi ikerketa-lerro aurkezten ditugu: 1) semantika distribuzionala eta bektore-espazioen konbinaketa, eta, 2) testu-lotura eta honek irakaskuntzan duen erabilgarritasuna. Artikuluan zehar bi alor hauen artearen egoera kokatu, teknikak azaldu eta etorkizuneko erronkak planteatzen dira.

Hitz gakoak: Hizkuntzaren Prozesamendua, Semantika Distribuzionala, Bektore-espazioak, Testu-loturak

Abstract

In this paper we present two works carried out in the field of Natural Language Processing: 1) distributional semantics and vector space combinations, and, 2) textual entailment and its usefulness in the educational scenario. Throughout the article we describe the state of the art of these fields, analyze methods and discuss future challenges.

Keywords: Natural Language Processing, Distributional Semantics, Vector Spaces, Textual Entailment

1 Sarrera eta motibazioa

Lan hau *Hizkuntzaren Prozesamenduari* (HP) esparruan kokatzen da, ingelesez *Natural Language Processing* gisa ezagutzen den arloan. Ikerketa-lerro zeharo zabala dugu HPa, hainbat diziplina konbinatzen baititu, bereziki: informatika, adimen-artifiziala eta hizkuntzalaritza. Adibide batzuk aipatzearren, hurrengo ataza hauek guztiak HPan ikertzen dira: hitzen analisi lexikoa, morfologikoa eta sintaktikoa, hitzen adiera-desanbiguazioa, itzulpen automatikoa, diskurtsoaren analisisa, hitzen analisi semantikoa, hizkuntza-sorkuntza, etab. Oro har, HPa hizkuntzen eta makinaren arteko interakzioarekin lotzen da, eta, ondorioz, HPko adituen helburu nagusia hizkuntza ulertzeko eta hizkuntza sortzeko gai diren sistema adimendunak garatzea da.

Artikulu honetan hizkuntza ulertzeko metodo automatikoak aztertuko ditugu, hau da, makinek hizkuntzak interpretatzeko egiten duten prozesamendu automatikoa arituko gara. Artikuluan ikusiko dugun moduan, makinei hizkuntza ulertzen edo interpretatzen irakatsi behar zaie, eta, helburu hau lortzeko, hitzak zenbakien bitartez adierazi beharko ditugu. Hala, hitzak zenbakien bitartez adierazita egongo dira (2.1 atalean azalduko diren metodoei esker), eta, era berean, zenbakiak makinak ulertzeko gai diren seinale elektrikoaren bitartez (sistema bitarrari esker). Beraz, HP automatikoa egite aldera, makinek hitzen kontzeptuen errepresentazio abstraktuekin lan egin behar dute, eta azken hori ahalbidetzen duen metodoak *semantika distribuzionala* (*Distributional Semantics*) oinarritzen dira. *Semantika distribuzionala* HPko ikerketa-lerro guztietan erabiltzen da, eta gure lanaren abiapuntua izango da.

Bada, *semantika distribuzionalaren* muina *Hipotesi Distribuzionala* deiturikoa da (Harris, 1954); hots, *esanahi* antzeko hitzek *testuinguru* berean *agertzeko joera* dute. Ikus dezagun adibide bat, demagun *tzadeos* hitzaren esanahia ez dakigula, hala ere, hurrengo esaldiak irakurrita gizakiontzat erraza da bere esanahia inferitzea:

⁰Ikergazteak diren autoreak * batez adierazita daude.

1. *Txadeos* edalontzia hartu zuen.
2. Peiok itzelezko mozkorra harrapatu zuen *txadeos* larregi edatearren.
3. Malbec, *txadeos* mahats ezezagunenetakoa, oso ondo egokitzen da Australiako eguraldi eguzkitsura.
4. Edariak gozo-gozoak ziren; *txadeosa* gorria eta gogorra, eta Rhenisha argia eta suabea.

1-4 esaldiak irakurrita, badakigu *txadeosa* mahatsarekin eginiko edari alkoholiko gogorra eta gorria dela. Aipatu berri dugun *Hipotesi Distribuzionala* oinarri harturik *Eredu Semantiko Distribuzionalak* (*ESD*) garatu dira *HPan*. 2.1 eta 3.1 ataletan azalduko dugunez *ESD*ak erabiltza hitzen esanahiak modu abstraktuan errepresentatu daitezke espazio euklidear bateko puntu gisa. Era honetan, hitz bakoitza zenbakizko bektore baten bitartez islatuta egongo da, eta azken hori hitzaren *esanahi-bektorea* (*EB*) izango da. Adibide gisa, 1 irudian lau hitzen esanahiak bi dimentsiotako espazio batean irudikatuta daude.

Oro har, hitzak *EB*tan adierazita izateak hainbat abantaila ematen dizkigu, marko matematiko batean mugitzeko aukera ematen digulako. Honi esker, posible da adimen artifizialeko teknika desberdinak erabiltzea hitzen banakako esanahiak konbinatu eta esaldien errepresentazioak lortzeko (bektoreen gaineko eragiketak erabiliz). Era honetan, hitz mailako atazak ez ezik, esaldi mailako atazak ere landu daitezke, hala nola: esaldi pareen arteko antzekotasunak, desberdintasunak edota erlazioak identifikatzea.

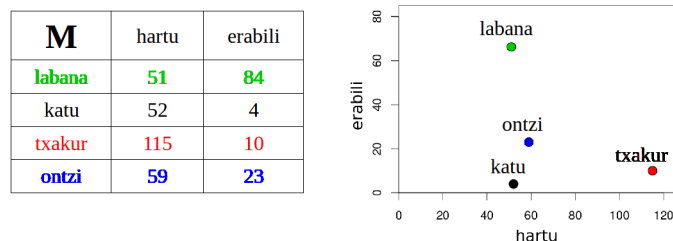
Esaldi pareen lotura logikoen analisi automatikoari *Recognition of Textual Entailment* (*RTE*) edo *Natural Language Inference* (*NLI*) deritzo, eta oso ataza interesgarria da *HPan* hezkuntzarekin lotura handia duelako. Izan ere, *RTE* edo *NLI* zehaztasunez burutzeko gai den sistema bat ikasle bati feedback esanguratsua emateko gai litzateke, azterketa, galdera, ariketa, etxekolan, edo antzekoren baten aurrean. Hau dela eta, sistema interesgarriak dira hezkuntzan irakaslearen rola edo papera hartzera bideratuta baitaude, esaterako: internet bidez ematen diren online ikastaro masiboetan (*Massive Open Online Course* edo *MOOC*). 2.2 eta 3.2 ataletan sakonduko dugu testu-loturen metodoen inguruan.

2 Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

2.1 Esanahiaren errepresentazio distribuzionala *HPan*

*ESD*ak, modu inplizituan bada ere, $n \times m$ tamainako M ko-okurrentzia-matrize erraldoi batetik abiatzen dira; M , beraz, corpus bateko berben arteko ko-okurrentziez osatutako matrizea da, non m lerroak xede-hitzak diren, eta n zutabeak tasunak edo dimentsioak. 1. irudiko matrizeak, adibidez, testu-corpus batean lau izenek (*labana*, *katu*, *txakur* eta *ontzi*) bi aditzekin (*hartu*, *erabili*) izandako ko-okurrentziez osatuta dago.

1 Irudia: Ko-okurrentzia matrizea, eta bere irudikapena bi dimentsiotan



1 irudiko hirugarren lerroan *txakur* hitzak *hartu* eta *erabili* aditzekin izandako ko-okurrentziekin x_{txakur} bektorea osatu dezakegu. Beste berba guztiekin ere, noski, gauza bera egin dezakegu. Ko-okurrentzia horiek, nolabait esateko, hitzek espazio euklidear batean dituzten koordinatuak dira, non, *Hipotesi Distribuzionalari* jarraiki, testuinguru antzekoak dituzten hitzak gertu egongo diren espazio horretan, eta zerikusirik ez duten hitzak, berriz, urrutiti. 1 irudian aurreko paragrafoan aipatutako lau hitzak *hartu* eta *erabili* dimentsioetan ilustratu dira. Artikulu honetan espazio horri bektore-espazio deituko diogu.

*ESD*etan, oro har, M ez da bere horretan erabiltzen, eskala-faktoreren bat aplikatzen zaie edo transformazioen bat. Hainbat atazatan erabili izan dira *HPan*; hala nola, TOEFL sinonimia atazan, tesauroren

sorkuntza automatikoan, Part Of Speech atazetan, edota garuneko neurona-aktibazioak auresateko.

Azken urteetako konputazio-ahalmenaren igoeraren eskutik, hamarkadatan ahaztutako neurona-sareen erabilera hainbat diziplinatan bogan jarri da. Neurona-sareen berpizkunde horrekin, *ESD*ekin hertsiki lotutako neurona-sare hizkuntza ereduak (*NSHE*) arrakasta handia izaten ari dira, emaitza oso onak lortzen baitituzte arestian aipatutako atazetan. Artikulu honetan *word2vec* (Mikolov *et al.*, 2013) *NSHE*aren bektoreak erabiliko ditugu gure atazako sarrera gisa.

Bada, hizkuntza ereduak ele jakin bateko hitzen sekuentzien tasun estatistikoak jasotzen dituzte; aurreko berbak jakinik, hurrengo auresateko gai dira. Gauzak horrela, *NSHE*ak neurona-sareetan oinarritutako hizkuntza-ereduak dira, eta neuronon aktibazioak hitzen errepresentazio distribuzionalak (esanahiak) legez erabiltzen dituzte. Corpus bat prozesatu ostean, berba bakoitzari d dimentsiotako bektore bat esleitzen diote; hain zuzen, errepresentazio horiek dira EBak, balio eskalarrez beteriko bektore trinkoak. Aurreko paragrafoetan esandakoaren harira, EBen dimentsio bakoitza tasun semantiko edota sintaktiko abstraktua da, eta, euren bektore-espazioaren dimentsio kopurua *NSHE*aren neurona kopuruak definitzen du. EBen dimentsioa, oro har, 50 eta 500 artean dabil.

Kontuan izan ko-okurrentzia matrizeek $V \times V$ tamaina daukatela, V hiztegiaren hitz kopurua izanik. Gauzak horrela, berba baten esanahia (matrizeko lerro bat) definitzeko milaka edo milioika dimentsiotako bektorea da (hitz horrek corpuseko beste berba guztiekiko dituen ko-okurrentziak). *NSHE*etan, ordea, matrizeak $V \times d$ tamaina du, eta, hortaz, bektoreek informazioa modu askoz konpaktuagoan kodetzen dute. *txakur* hitzaren EBak, esaterako, hurrengo itxura izango luke *NSHE* batean:

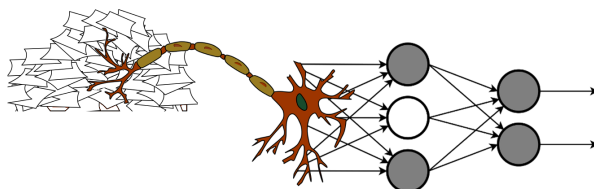
txakur 0.0214 0.2331 -0.5431 0.0022 -0.3411 ...

3.1 atalean aipatutako *word2vec*ek M matrizea ez du modu esplizituan erabiltzen, inplizituan inplizituan baizik.

2.2 Hezkuntzari lotutako HPa

Hezkuntzari lotutako HP (*Educational NLP*) betidanik interes handia piztu duen ikerketa-lerroa da. Ataza bere osotasunean ebaztea batere tribiala izan ez arren, aspalditik da komunitate zientifikoa arazo zehatz batzuei aurre egiteko metodoen eta estrategien bila. Esate baterako, 2000. urteaz geroztik adin desberdinetako ikasleek galdera laburrei emandako erantzunak automatikoki ebaluatzeko atazak pil-pilean egon dira. Leacock eta Chodorow; Nielsen *et al.* autoreek lan aipagarriak egin zituzten arlo honetan 2003; 2008 urteetan, hurrenez hurren. Esalditik testura salto egiten badugu, Zechner *et al.* autoreen 2015. urteko lana eta McNamara *et al.* autoreen 2015. urteko lana aipatzea ezinbestekoa da. Lan hauetan guztietan ikasleen idazlan laburrak interpretatzeko eta ebaluatzeko gai diren sistema automatikoak deskribatzen dira. Ikerketa hauen ondorio nagusia hurrengo da: zenbat eta informazio gehiago txertatu sisteman orduan eta hobekiago interpretatu daitekeela testua. Hau dela eta, hasiera batean azaleko sintaxitik zein testutik zuzenean erauzitako ezaugarri sinpleak erabiltzen baziren ere; geroz eta arkitektura konplexuagoak erabiltzen hasiak dira ikertzaileak. Gaur egun, *Semantika distribuzionalaren* eta EBen arrakastarekin bat eginez neurona sareetan oinarritzen diren arkitektura konplexuak erabiltzen dira gehienbat (ikusi 2 irudia).

2 Irudia: Neurona-sareetan oinarritutako sistemek sarrera testua prozesatzen dute (*EB*ak erabiliz) eta atazaren arabera irteera bat ematen ikasten dute: esaldien arteko antzekotasunak eta desberdintasunak, kalifikazio bat, etab



Neurona-sareetan oinarritutako sistema konplexuen arazo nagusienetako bat da izugarritzko datu pila prozesatu behar dituztela beren emaitzak zehatzak izateko. Hori dela eta, ikasketarako datu-baseak ezinbesteko sarrera iturri bilakatu dira. Behar honi erantzuteko asmoz hainbat nazioarteko ataza sortu dira urteetan zehar, horien artean *Semeval workshop*ean 2013. urtean izandakoa. Bertan Dzikovska *et al.*

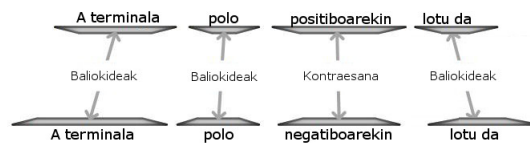
autoreek aurrerapauso handia eman zuten irakaskuntzaren domeinuko ataza bat komunitate zientifikoan zabaldu baitzuten. Ataza honek ikasleen eta irakasleen anotazioak biltzen zituen datu-base erraldoi bat atzigarri uzten zuen ikerketarako, eta ikerketa zentro askok erabaki zuten bertan parte hartzea beraien sistema propioak garatuz. Ataza honekin batera, eta lehen aldiz, autoreek *RTE/NLI* azpiataza bat ere proposatu zuten. Azpiataza honetan sistemak gai izan behar ziren erreferentziazko esaldiko kontzeptuak eta ikasleen erantzunetako kontzeptuak automatikoki lotzeko, eta loturen (ingelez *mapping* deritzona) araberrako kalifikazio bat esleitzeko (ikusi 3 irudia).

3 Irudia: Semeval 2013. RTE/NLI atazako adibide bat (euskaratua). Bertan sistemek ikasleek emandako erantzunak kalifikatu behar dituzte erreferentzia esaldi batekiko.

[Galdera:] Zergatik neurtu da 4,5 volteko tentsio-erorketa A eta B terminalen artean?	
[Erreferentzia 1:]	A terminala polo positiboarekin lotu delako.
[Erreferentzia 2:]	B terminala polo negatiboarekin lotu delako.
[Ikaslearen erantzuna 1:]	Ez dakit. (kalifikazioa: Domeinuz kanpo.)
[Ikaslearen erantzuna 2:]	A eta B terminalak polo berriein lotu direlako. (kalifikazioa: Osatu gabea.)
[Ikaslearen erantzuna 3:]	A terminala polo negatiboarekin lotu ez delako. (kalifikazioa: Zuzena.)
[Ikaslearen erantzuna 4:]	A terminala polo negatiboarekin lotu delako (kalifikazioa: Kontraesana.)

Beste ikuspuntu batetik, esaldi pare baten antzekotasun maila identifikatzeko gai diren sistemak garatzeko asmoz Agirre *et al.* autoreek *STS* ataza plazaratu zuten (ingelesez *Semantic Textual Similarity*). Ataza hau aktibo egon da 2012. urtetik gaur egunera arte, eta komunitate zientifikoan interes handia piztu du. Ataza hau *hezkuntzarekin lotutako HP* arekin ere zeharo lotuta dago, gainera, autoreek ataza horren aldaera bat sortu zuten *iSTS* izeneko (ingelesez *Interpretable Semantic Textual Similarity*). Azken ataza honetan, antzekotasun balioa ez ezik, esaldi parearen erlazioak ere identifikatu behar dira (Agirre *et al.*, 2016). 4 irudian *iSTS* atazaren egin beharrekoak eskematikoki azaltzen dira. Esaldi parearen erlazioak identifikatu eta sailkatu ondoren, sistemek posible dute antzekotasun eta desberdintasun hauekin osatutako berrelikadura lagungarria bueltatzea ikasleari. (Lopez-Gazpio *et al.*, 2016) lanean autoreak hasi dira *iSTS* ren eragina hezkuntzan aztertzen.

4 Irudia: *iSTS* atazan antzekotasun balioa ez ezik, esaldi parearen arteko loturak ere identifikatu eta sailkatu behar dituzte sistemek.



Gaur egun, pil-pilean dagoen beste datu-base batek *SNLI* du izena (ingelesez *Stanford Natural Language Inference*). Stanford unibertsitateak plazaratutako datu-base erraldoi bat da, esaldi pareak eta dagozkien loturen anotazioak biltzen dituena. Hain zuzen ere, artikulu honetan *SNLI* datu-basea erabiltzen duen neurona-sare konplexu bat aztertuko dugu (ikusi 3.2 atala). Honetaz gain, berau sortzeko motibazioa azaldu, inplementazioan sakondu eta *EB* desberdinak erabiliz lortzen ditugun emaitzak eztabaidatuko ditugu, hauek artearen egoeran lortu diren emaitzekin alderatuz. 5 irudian *SNLI* datu-basearen adibide bat ikus daiteke.

5 Irudia: *SNLI* datu-basearen itxurako adibide bat. *SNLI* datu-baseak esaldi pareak lotura mota batekin erlazionatzen ditu.

[Erreferentzia 1:]	A terminala polo positiboarekin lotu da.
[Erreferentzia 2:]	A terminala polo negatiboarekin lotu da.
[Lotura motak aukeran:]	Kontraesana, baliokidetasuna edo ez bata eta ez bestea.

3 Ikerketaren muina

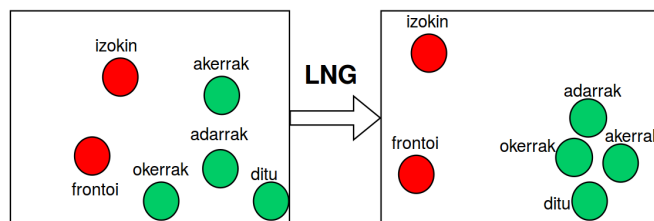
3.1 Bektore-espazio konbinaketak eta antzekotasun ataza

Aipatutako neurona-sareek hitz bakoitzari bi bektore esleitu dizkio; hitz moduan dituen ezaugarri semantikoak gordetzen dituena (W espazioan), eta testuinguruko hitz moduan dituen ezaugarriak dituena (C espazioan). 1 ataleko nomenklaturari jarraiki, bi espazioak $V \times d$ tamainakoak dira. Gauzak horrela,

word2vec corpus bat jasotzen du, eta bere xedea w hitz *EB*en eta c azken horien testuinguru *EB*ak hurbiltzea da.

*Word2vec*ek esaldiak irakurri ahala eguneratuko ditu hitzen *EB*ak; hots, hitz baten esanahia bere momentuko testuinguruaren arabera eguneratzen joango da. Demagun *word2vec* corpora prozesatzen dabilela “*akerrak adarrak okerrak ditu*” esaldia jasotzen duela, eta momentu horretan *adarrak* hitzaren esanahia kalkulatu behar duela. Bada, alde batetik, *adarrak* hitzak W n daukan *EB*a eta bere testuinguruko hitzek (*akerrak*, *okerrak* eta *ditu*) C n duten *EB*ak hurbildu (berdez 6 irudian); bestetik, testuinguru horretan agertzen ez diren ausazko k lagin hartuko ditu W espaziotik (*izokin* eta *frontoi*, esaterako) eta urrundu (gorriz 6 irudian) egingo ditu. Azken teknika horri laginketa negatiboa (LNG) deritzo, eta optimizazioa azkartzeko modu oso efektiboa da. Hala, *akerrak* hitza corpusean berriro agertzerakoan, momentuko testuinguruko hitzekin eta lagin negatiboekin eguneratuko du. W eta C bereizita daude, eta M matrizea modu implizituan erabiltzen da.

6 Irudia: Hitzen eta testuinguruaren esanahien eguneraketa *word2vec*-en



Bada, *word2vec*en jatorrizko bertsioak testu corpusak soilik prozesatzen dituz, eta, ondorioz, erauzitako *EB*en esanahia testuko informazio semantikoaren izaerak determinatzen du. Hala ere, ezagutza-baseetako eta testu corpusetako informazio semantikoa osagarria dela jakinik, bi iturriak konbinatu daitezke. Hala, hainbat ikerlarik testu corpuseko *EB*ak ezagutza-baseetako informazioarekin aberastu dituzte ((Bollegala *et al.*, 2015), (Faruqui *et al.*, 2015)), eta antzekotasun-atzetan testu hutsarekin baino emaitza nahiko hobekak lortu. Teknika horiek aberaste-metodo legez izendatuko ditugu.

Aberaste-metodoekin alderatuta, testu eta ezagutza-base espazio bereizien konbinaketekin ((Goikoetxea *et al.*, 2016)) emaitzak ikaragarri hobetu dira antzekotasun atazan. Bada, Goikoetxea *et al.* autoreek hainbat bektore-espazio konbinaketa sinple egin, eta ingelesezko zazpi antzekotasun urre-patroitan ebaluatu zituzten: RG Rubenstein eta Goodenough (1965), SimLex999 (SL) Hill *et al.* (2014), MTURK287 (MTU) Radinsky *et al.* (2011), MEN Bruni *et al.* (2014) eta WordSim353 (WS) Gabrilovich eta Markovitch (2007). Bada, RTE atazarako Goikoetxea *et al.* autoreen espazioen konbinaketetatik bi soilik erabiliko ditugu: testu corpusen eta ezagutza-baseetako pseudo-corpusen (Goikoetxea *et al.*, 2015) konbinaketa (COR), eta testu corpusen eta WordNet *EB*en kateaketa (KAT).

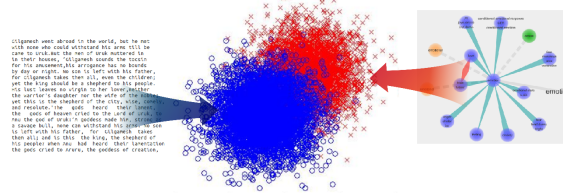
WordNet pseudo-corpus deritzoguna, WordNet (Miller, 1995) ezagutza-basean ausazko ibilbideak aplikatuta sortutako corpora da, eta azken horren *EB*ek WordNeten erlazioak kodetzen dituzte. Hori horrela, COR konbinaketak testu hutsa eta WordNet pseudo-corpusak nahasten ditu, eta bere *EB*ak *word2vec* bidez erauzten. KATen, ordea, testu corpus eta WordNet pseudo-corpus bereizietatik erauzitako *EB*ak kateatzen dira. 1 taulan COR eta KAT Faruqui *et al.* autoreen metodoarekin (FAR) alderatzen dira.

1 Taula: FAR metodoaren, eta COR eta CAT konbinaketen Spearman korrelazioak, zazpi antzekotasun urre-patroitan

	RG	SL	MTU	MEN	WS
FAR	79.8	51.1	69.3	65.4	63.7
COR	83.0	47.9	67.9	80.5	75.3
KAT	84.2	52.5	71.7	78.7	71.4

1 taulako emaitzei so, KAT eta COR konbinaketak FAR metodoari alde handiagatik gailentzen zaiela ikusten da. Gauzak horrela, espazio bereizien konbinaketek aberasketa-metodoak baino *EB* osoagoak lortzen dituztela frogatzen da, eta, horregatik, hain zuzen, artikuluko honetako RTE atazan KAT eta COR *EB*ak erabiliko ditugu sistemako sarrera legez.

7 Irudia: Testu eta WordNet bektore-espazio bereizien kobinaketak

3.2 Testu-loturen azterketa *EBak* oinarri hartuz

Hezkuntzarekin lotutako *HPri* heltzeko, Parikh *et al.* autoreek garatutako sistema batean oinarrituko gara. Sistema honek 2.2 atalean deskribaturiko *SNLI* datu-basearekin lan egiten du (ikusi 5. irudia). Sistemaren motibazioa oso sinplea, baina aldi berean sendoa da: esaldi luze eta konplexuen arteko lotura logikoak identifikatzeko esaldi pareko segmentuen loturei erreparatzen baitie lehenbizi; eta, ondoren, lotura partzial hauen arabera kalifikazioa itzultzen du. Nolabait, 2.2 atalean deskribaturiko *iSTS* ataza inplizituki egikaritzen du (ikusi 4. irudia).

Sistema hiru azpiataletan antolatuta dagoen neurona-sare konplexuen konbinazioan oinarritzen da, jarraian deskribatzen ditugu atal hauek guztiak: lehen azpiatalean, *atentzioa* deritzona, sarrerako esaldi parean irakurtzen da eta hitz bakoitza dagokion *EBarekin* lotzen da. Ondoren, hitzen *EBak* konbinatu egiten dira *neural attention* delako teknika baten bitartez (eragiketa aljebraikoetan oinarrituta). Honen bitartez, esaldi parean dauden hitz guztiak parekatzen dira antzekotasunaren arabera 8. irudian ikus daitekeen itxurako matrize bat eratuz.

8 Irudia: Operazio aljebraikoak erabiliz hitzen *EBak* konbinatu egiten dira esaldi parearen antzekotasunak esplizitu eginez.



Behin antzekotasun matrize hau daukagula esaldi batek beste esaldiko segmentuengan duen eragina aztertu daiteke. Bertan, bigarren esaldiak (lerroen baturak) lehen esaldiko hitzekiko (zutabeetan dauden hitzekiko) lotura aztertzen da, eta, baita, lehen esaldiak bigarren esaldiaren hitzekiko lotura ere. Lan honi esaldi batek bestearekiko duen *proiekzioa* deritzo, eta erauzitako informazioa sistemaren bigarren atalak erabiliko du: *Konparatu* azpiatalak.

Bigarren azpiatalak, alde batetik, erauzitako proiektzio guztiak, eta, bestetik, jatorrizko hitzen *EBak* konparatu egiten ditu neurona-sare bat erabiliz. Era honetan, bi esaldien artean dauden loturak kuantifikatu egiten ditu, loturaren indarra kontuan hartuz: lotura garrantzitsuei indar gehiago ematen ikasten du, eta, aldiz, lotura ahulei indar txikiagoa.

Sistemaren azken atalean, *batu* deritzona, esaldi parearen lotura guztiak bildu egiten dira, eta bukaerako emaitza itzultzen da. Bukaerako emaitza hau itzultzeko ere beste neurona-sare bat erabiltzen da. Sare honek adieraziko du esaldi parearen artean lotura, aurkakotasuna edo ez bata eta ez bestea antzeman duen. Sistema osoak *SNLI* datu-basean entrenatzeko egunak har ditzake, milaka eta milaka esaldi pare baitaude bertan. 2. taulan deskribatutako sistema erabilita lorturiko emaitzak plazaratzen ditugu. 2. taulan ikus daitekeen modura zehaztasun maila altua lortzen dugu sistema honen eta 3.1 atalean deskribatutako *EBen* bitartez. Hala eta guztiz ere, badira beste autore batzuk emaitza hobeak lortu dituztenak arkitektura konplexuagoak erabilita. Kasu, Wang *et al.* autoreek lan honi esaldien egitura

2 Taula: Hitz *EB* desberdinak erabilia *SNLI* datu-basean lorturiko emaitzak. Emaitzek datu-basearen gaineko zehaztasuna islatzen dute ehunekotan, honela: kalifikazio zuzena esleitu zaien pare kopurua pare kopuru osoarekin zatituta.

	Ikasketa-multzoa	Ebaluazio-multzoa
3.1 ataleko <i>COR EB</i> ekin	%89.5	%84.4
3.1 ataleko <i>KAT EB</i> ekin	%85.2	%83.4

sintaktikoa ere kontuan hartzen duen neurona-sare gehigarri bat txertatu zioten %93 eta %89 ko zehaztasuna lortuz ikasketa-multzo eta ebaluazio-multzoan hurrenez hurren¹.

4 Ondorioak

Artikulu honetan bi ikerketa-lerro jorratu ditugu: alde batetik, semantika distribuzionala eta bektore espazioen konbinaketak, eta, bestetik, testu-loturak eta hauen aplikazioa hezkuntzan. Hasieran, hitzak *EB*tan kodetzeko prozedurak aztertu ditugu eta espazio desberdinen konbinaketak emaitzak hobetzera eramaten gaituela ikusi dugu. Gainera, hitzak *EB*tan kodetuta izateak ematen dizkigun abantailak aipatu ditugu. Izan ere, *EB*ekin marko matematiko batean lan egin dezakegu, eta, era honetan, adimen artifizialeko teknikak erabili hitzak konbinatzeko eta esaldi mailara salto egiteko. Esaldi mailara salto egitean, beste mota bateko atazak ere burutu ditzakegula ikusi dugu, hala nola: esaldien antzekotasuna edota testu-loturen analisia. Azken hau egikaritzen duen sistema bat ere deskribatu dugu eta bere emaitzak plazaratu ditugu. Oro har, semantika distribuzionala eta hezkuntzari lotutako *HP* pil-pilean dauden atazak dira egun, eta, artearen egoera oso azkar aldatzen ari da uneoro.

5 Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Ezagutza-baseen eta testu corpusen informazio semantikoaren osagarritasuna hainbat modutan konbinatu baditugu ere, artikulu honetako esperimentu oro ingelesez soilik egin dira. Hala, aipatutako bektore-espazioen konbinaketez gain, ezagutza-baseen hizkuntzarteko informazioa ustiatzeak potentzial handia dauka. Izan ere, ezagutza-base batzuetan (*WordNet* eta *Wikipedia*, esaterako) kontzeptuak hizkuntzen independenteak dira, eta kontzeptu horiek hizkuntzen arteko zubi legez erabili daitezke (*txakur* eta *dog* hitzek, esaterako, kontzeptu bera partekatzen dute), eta hizkuntzarteko lotura horiek oso baliagarriak izan daitezke, *SNLI*n zein beste hainbat atazatan (itzulpen automatikoan, sentimenduen analisisan, antzekotasunean...).

*HP*an azpimarratu daitekeen beste ondorioetako bat ondorengoa da: zenbat eta teknika gehiago modu eraginkorrean konbinatu, are eta emaitza hobeak lortu ohi direla. Hori dela eta, argi dago 3.1 eta 3.2 ataletan deskribatutako sistemei teknika gehigarriak integratzeko estrategia berrien bila jarraitu behar dugula lanean.

Erreferentziak

- AGIRRE, ENEKO, DANIEL CER, MONA DIAB, eta AITOR GONZALEZ-AGIRRE. 2012. Semeval-2012 task 6: A pilot on semantic textual similarity. In **SEM 2012: The First Joint Conference on Lexical and Computational Semantics – Volume 1: Proceedings of the main conference and the shared task, and Volume 2: Proceedings of the Sixth International Workshop on Semantic Evaluation (SemEval 2012)*, 385–393, Montréal, Canada. Association for Computational Linguistics.
- , AITOR GONZALEZ-AGIRRE, INIGO LOPEZ-GAZPIO, MONTSE MARITXALAR, GERMAN RIGAU, eta LARRAITZ URIA. 2016. Semeval-2016 task 2: Interpretable semantic textual similarity. *Proceedings of SemEval* 512–524.
- BOLLEGALA, DANUSHKA, ALSUHAIBANI MOHAMMED, TAKANORI MAEHARA, eta KEN-ICHI KAWARABAYASHI. 2015. Joint word representation learning using a corpus and a semantic lexicon. *arXiv preprint arXiv:1511.06438*.
- BRUNI, ELIA, NAM-KHANH TRAN, eta MARCO BARONI. 2014. Multimodal distributional semantics. *JAIR* 49.1–47.

¹<http://nlp.stanford.edu/projects/snli/> webgunean *SNLI*n ebaluatu diren sistema guztiak atzitu daitezke. n ebaluatu diren sistema guztiak atzitu daitezke.

- DZIKOVSKA, MYROSLAVA, RODNEY NIELSEN, CHRIS BREW, CLAUDIA LEACOCK, DANILO GIAMPICCOLO, LUISA BENTIVOGLI, PETER CLARK, IDO DAGAN, eta HOA TRANG DANG. 2013. Semeval-2013 task 7: The joint student response analysis and 8th recognizing textual entailment challenge. In *Second Joint Conference on Lexical and Computational Semantics (*SEM), Volume 2: Proceedings of the Seventh International Workshop on Semantic Evaluation (SemEval 2013)*, 263–274, Atlanta, Georgia, USA. Association for Computational Linguistics.
- FARUQUI, MANAAL, JESSE DODGE, SUJAY KUMAR JAUHAR, CHRIS DYER, EDUARD HOVY, eta NOAH A. SMITH. 2015. Retrofitting word vectors to semantic lexicons. In *Proceedings of NAACL-HLT*, 1606–1615.
- GABRILOVICH, EVGENIY, eta SHAUL MARKOVITCH. 2007. Computing Semantic Relatedness Using Wikipedia-based Explicit Semantic Analysis. In *IJCAI*, volume 7, 1606–1611.
- GOIKOETXEA, JOSU, ENEKO AGIRRE, eta AITOR SOROA. 2016. Single or multiple? combining word representations independently learned from text and wordnet. In *AAAI*, 2608–2614.
- , AITOR SOROA, eta ENEKO AGIRRE. 2015. Random Walks and Neural Network Language Models on Knowledge Bases. In *Proceedings of NAACL-HLT*, 1434–1439.
- HARRIS, ZELLIG S. 1954. Distributional structure. *Word* .
- HILL, FELIX, ROI REICHART, eta ANNA KORHONEN. 2014. Simlex-999: Evaluating semantic models with (genuine) similarity estimation. *arXiv preprint arXiv:1408.3456* .
- LEACOCK, CLAUDIA, eta MARTIN CHODOROW. 2003. C-rater: Automated scoring of short-answer questions. *Computers and the Humanities* 37.389–405.
- LOPEZ-GAZPIO, I, M MARITXALAR, A GONZALEZ-AGIRRE, G RIGAU, L URIA, eta E AGIRRE. 2016. Interpretable semantic textual similarity: Finding and explaining differences between sentences. *Knowledge-Based Systems* .
- MCMANARA, DANIELLE S, SCOTT A CROSSLEY, ROD D ROSCOE, LAURA K ALLEN, eta JIANMIN DAI. 2015. A hierarchical classification approach to automated essay scoring. *Assessing Writing* 23.35–59.
- MIKOLOV, TOMAS, KAI CHEN, GREG CORRADO, eta JEFFREY DEAN. 2013. Efficient estimation of word representations in vector space. *arXiv preprint arXiv:1301.3781* .
- MILLER, GEORGE A. 1995. Wordnet: a lexical database for english. *Communications of the ACM* 38.39–41.
- NIELSEN, RODNEY D, WAYNE H WARD, eta JAMES H MARTIN. 2008. Learning to assess low-level conceptual understanding. In *Flairs conference*, 427–432.
- PARIKH, ANKUR, OSCAR TÄCKSTRÖM, DIPANJAN DAS, eta JAKOB USZKOREIT. 2016. A decomposable attention model for natural language inference. In *Proceedings of the 2016 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, 2249–2255, Austin, Texas. Association for Computational Linguistics.
- RADINSKY, KIRA, EUGENE AGICHTEIN, EVGENIY GABRILOVICH, eta SHAUL MARKOVITCH. 2011. A word at a time: computing word relatedness using temporal semantic analysis. In *Proceedings of WWW*, 337–346.
- RUBENSTEIN, HERBERT, eta JOHN B GOODENOUGH. 1965. Contextual correlates of synonymy. *Communications of the ACM* 8.627–633.
- WANG, ZHIGUO, WAEEL HAMZA, eta RADU FLORIAN. 2017. Bilateral multi-perspective matching for natural language sentences. *arXiv preprint arXiv:1702.03814* .
- ZECHNER, KLAUS, KEELAN EVANINI, LEI CHEN, SHASHA XIE, WENTING XIONG, FEI HUANG, JANA SUKKARIEH, eta MIAO CHEN, 2015. Computer-implemented systems and methods for content scoring of spoken responses. US Patent 9,218,339.

6 Eskerrak eta oharrak

Josu Goikoetxearen eta Iñigo Lopez-Gazpioren lanak garatzen ari diren doktoretza-tesietan oinarrituta daude. Aipatutako tesiak burutzeko Josuk UPV/EHU Euskara Errektoreordetzako beka dauka, eta, Iñigok ministerioak emandako FPU beka. Azkenik, IXA taldea eskertu nahiko genuke artikulu hau aurrera eramateko baliabideengatik.

Arnasketa eta bihotz-maiztasunaren monitorizazioa burmuineko oximetria seinaleak erabiliz

Isasi, Iraia ; Irusta, Unai ; Aramendi, Elisabete

Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU). Komunikazio Ingenieritza Saila.
Bilboko Ingeniaritza Goi Eskola Teknikoa, Urkixo zumarkalea z/b, 48013, Bilbo.

Laburpena

Infragorri Hurbileko Espektroskopia (NIRS, Near InfraRed Spectroscopy) burmuineko oxigenazioa neurtzeko erabili ohi da, neurketak 2-4 segunduro eginez. Burmuineko oxyhemoglobina (O_2Hb) kontzentrazioa laginketa maiztasun handiagoz neurtzeak arnasketa eta bihotz-maiztasunen monitorizazioa ahalbidetu dezake. Hipotesi hori frogatzeko, 39 subjektu hartu eta 40 min-ko grabaketa saioak egin dira, kopetan kokatutako NIRS sentsoeen bidez O_2Hb seinalea 50Hz-etako maiztasunarekin eskuratzeko. Algoritmoak garatu dira, lehenik, bihotz-taupadak, eta gero, arnasketa eta bihotz-maiztasunak automatikoki neurtzeko. Lan honetan frogatu da burmuineko NIRS sentsoeen bidez posible dela arnasketa eta bihotz-maiztasunak zehaztasunez monitorizatzea.

Hitz gakoak: NIRS, bihotz-maiztasuna, arnasketa maiztasuna, OKBBG, BBB

Abstract

Near InfraRed Spectroscopy (NIRS) is used to measure brain oxygen saturation, and measurements are taken every 2-4s. Measuring brain oxyhemoglobin (O_2Hb) concentration at higher sampling rates may allow monitoring cardiac and respiration rates. A total of 39 subjects were enrolled in 40min recording sessions in which NIRS sensors located in the forehead were used to acquire O_2Hb signals at a sampling rate of 50Hz. Algorithms were developed to automatically detect heart beats, and cardiac and respiration rates. This study showed that NIRS technology can be applied to accurately monitor cardiac and respiratory rates.

Keywords: NIRS, cardiac rate, respiration rate, OHCA, CPR

1 Sarrera eta motibazioa

Osptalez kanpoko bihotz biriketako geldialdia (OKBBG) osasun publikoko arazo larria da. Izan ere, urtero Euskal Autonomia Erkidegoan 900 kasu inguru ematen dira, biziraupen-tasa %10 inguru delarik (Ibarguren *et al.*, 2015). OKBBGaren biziraupen-tasak hobetze asmoz, European Resuscitation Council erakundeak berpizte-gidak argitaratzen ditu bost urtero. Gidek ebidentzietan oinarritutako OKBBGaren tratamenduari buruzko azken gomendioak biltzen dituzte (Soar *et al.*, 2015). Pazientearen biziraupenerako bi ekintza/tratamendu dira gako: bihotz-biriketako berpiztea (BBB) eta desfibrilatzea. Desfibrilatzearen helburua bihotza berpiztea da, pazienteak berezko pultsua berreskuratzeko, hain zuzen. BBBaren helburua odol-oxigenazio maila minimoa mantentzea da desfibrilagailua heldu bitartean, bular sakaden eta aireztapenen bidez, hain zuzen. Horretarako, berpizte-gidek kalitatezko BBBaren ezaugarriak finkatu dituzte, bular sakaden maiztasun eta sakontasun balio optimoak zehaztuz. Hainbat gailu ere garatu dira, suspertzailearen sakadak balio horietara atxikitzeko, baina ez dago ebidentziarik gailu horien erabilerak biziraupen-tasak handitzen dutenik. Izan ere, zehaztutako BBBaren balio optimoak orokorrak dira, eta ez dituzte pazientearen ezaugarri fisiologikoak kontutan hartzen. Horregatik, 2015eko berpizte gidek BBBak pazientearen erantzun fisiologikoan duen eragina monitorizatzearen alde egiten dute (Soar *et al.*, 2015).

Emergentzia egoeretan, sistema kardiobaskularrak bihotzaren eta garunaren oxigenazioa lehenesten ditu, biziraupenerako ezinbestekoak baitira. Gaur egun, zenbait agertoki mediku kritikoetan, kirurgia kardiobaskularra edo zaintza intentsiboan, adibidez, infragorri hurbileko espektroskopia (NIRS, Near InfraRed Spectroscopy) erabiltzen da garunaren oxigenazioa monitorizatzeko (Ghosh *et al.*, 2012). Izan

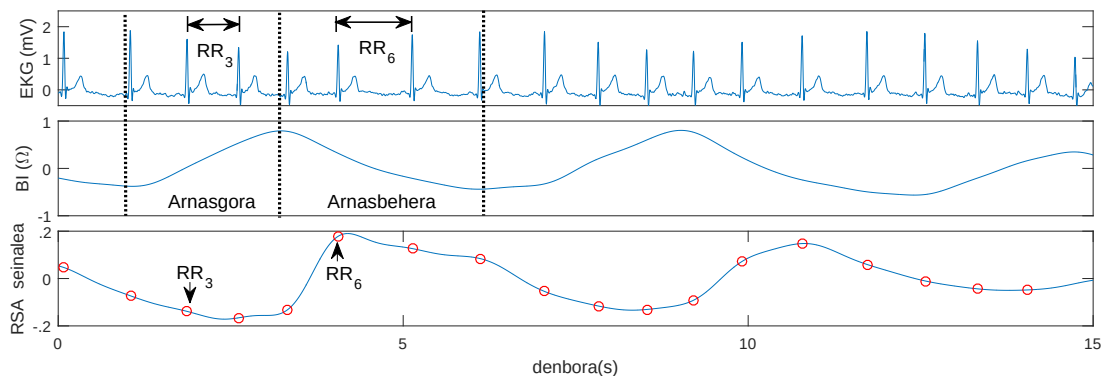
ere, azken berpizte-gidek NIRSa aipatzen dute BBBaren eragina monitorizatzeko etorkizuneko teknika bezela (Soar *et al.*, 2015). Ildo horretatik, lan honetan NIRS seinaleen gaitasuna aztertzen da aldagai fisiologikoak neurtzeko, arnasketa eta bihotz-maiztasuna hain zuzen ere.

2 Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Azken urteotan, lehen ikerketak burutu dira NIRSaren balioa OKBBGaren esparruan aztertzeko, paziente gutxiarekin (< 100) izan badira ere. Horrela frogatu da, besteak beste, burmuin oxigenazioa pulsurik gabeko pazienteetan neurtu daitekeela BBBan zehar (Meex *et al.*, 2013), oxigenazio maila handitu egiten dela BBBaren ondorioz (Kämäräinen *et al.*, 2012), eta berpiztearen ondorioz pulstua berreskuratzen duten pazienteek oxigenazio maila altuagoak dituztela (Genbrugge *et al.*, 2015; Sanfilippo *et al.*, 2015). Are gehiago, OKBBGko pazienteari ospitaleratzekoan neurtutako oxigenazio maila eta pazientearen biziraupena lotuta daudela frogatu da (Ito *et al.*, 2014; Nishiyama *et al.*, 2015).

Gaur egun, NIRS ekipoek burmuineko saturazioa 2-4 segunduro jasotzen dute, bereizmen hori nahikoa baita pazientearen garun-oxigenazioa monitorizatzeko. Pulsioximetroek, aldiz, oxigenazioa gorputz adarretan (atzamarretan, adibidez) neurtzen dute, beti ere, pertsona hemodinamikoki egonkorra badago, hots, BBGan ez badago. Pulsioximetroek oxigenazio maila erakustez gain odol bolumenaren aldiuneko aldaketak erakusten dituen photoplethysmografia (PPG) seinalea ere jasotzen dute. PPG seinalearen laginketa-maiztasuna NIRS ekipoena baino handiagoa izan ohi da (>100 Hz), eta PPG seinalean bihotz taupadekin bat datozen bolumen aldaketak ikus daitezke. Horrela PPGa zirkulazioa monitorizatzeko erabili daiteke (Reisner *et al.*, 2008), bihotz-maiztasuna neurtuz adibidez. Gainera, bihotz-maiztasuna eta arnasketa erlaxionatuta daude, arnasgoran bihotz maiztasuna handitu eta arnasbeheran txikitu egiten baita. Fenomeno horri arnasketa arritmia sinusala (RSA, Respiratory Sinus Arrhythmia) deritzo (Yasuma eta Hayano, 2004), eta 1. irudian ikus daiteke bihotz erritmoa elektrokardiograma (EKG) seinalean aztertuta. Ondorioz, PPG seinalea bihotz eta arnasketa maiztasun monitore gisa erabiltzeko metodoak eta algoritmoak proposatu dira (Lázaro *et al.*, 2013; Garde *et al.*, 2014).

1 Irudia: Arnasketak bihotz erritmoan duen eragina, goitik behera: elektrokardiograma (EKG), arnasketa neurtzeko bular inpendantzia (BI), eta EKGtik lortutako RSA seinalea. EKGan taupaden arteko tarteak (RR-tarteak) ikus daitezke, RSA seinalea kalkulatzeko erabili direnak. Bai BI bai RSA seinalean arnasketak antzeman daitezke.



Ikerketaren helburuak

Gaur egungo zenbait NIRS sistemek garun-oxigenazioa 2-4 segunduro neurtzeaz gain, odol hemoglobina mailak laginketa maiztasun handiarekin neurtu eta gordetzen dituzte. Ikerketa lan honen helburua da, beraz, arnasketa eta bihotz-maiztasunak monitorizatzeko algoritmoak garatzea, horretarako NIRS ekipo batek laginketa maiztasun altuaz burmuinean neurtutako oxyhemoglobina (O_2Hb) kontzentrazio seinalea erabiliz.

3 Ikerketaren muina

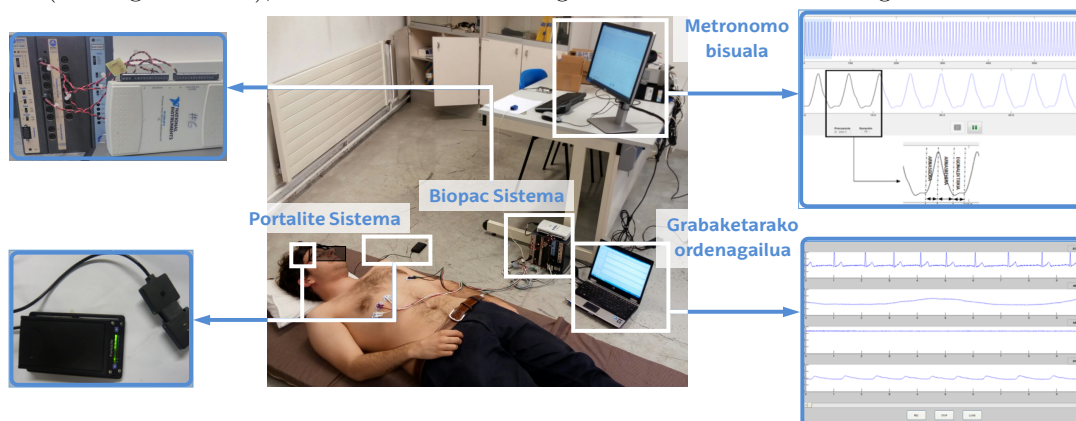
3.1 Materialak

Ikerketa lan hau burutzeko hainbat seinale grabatu ziren hainbat subjektu osasuntsurekin. Grabaketetarako neurketa protokolo bat finkatu zen, lau agertokiz (arnasketa moduz) osatua: arnasketa libre, geldoa (9 min^{-1}), normala (12 min^{-1}) eta azkarra (18 min^{-1}). Agertoki bakoitzean 10 min-ko saioak grabatu ziren subjektuak ahoz-gora zeudela, agertokien arteko 5-10 min-ko atsedeen tartearekin. Arnasketa maiztasuna kontrolatzeko subjektuek metronomo bisual bat jarraitu zuten pantaila batetan, 2. irudian ikusten den moduan. Saioan honako seinaleak grabatu ziren: EKG (bihotz taupadak ageri dituen), BI (arnasketak ageri dituen) eta NIRS sentsoretik lortutakoak. EKG eta BI eskuratzeko elektrodoak aurre-albo posizioan jarri ziren (desfibrilagailuetan bezela) eta NIRS sentsoarea, kopetaren ezker aldean, buruaren ezker hemisferiotik hurbil. Ikerketak UPV/EHU-ko etika batzordearen onospena jaso zuen hasi aurretik.

Seinaleak eskuratzeko ordenadore bakarrarekin kontrolatutako bi sistema independente erabili ziren. Batetik, Portalite NIRS sentsoare esperimentalak (Artinirs BV), hemoglobina kontzentrazioak 50 Hz-etako laginketa-maiztasunarekin grabatzen zituen. Bestetik, Biopac sistema eta digitalizazio-txartela (NI-6211, National Instruments), EKG eta BI seinaleak 250 Hz-etako laginketa-maiztasunarekin eskuratzeko erabiltzen zituztenak. Sistemetatik jasotako seinaleak sinkronizatzeko fitxategietan denbora markak jarri ziren. Sistema osoaren eta bere azpiatalen argazkiak 2. irudian ikus daitezke.

Guztira, 39 subjektu (26 emakumezko) bildu dira ikerketan. Subjektuen batez-besteko adina, pisua eta altuera, 23 urte (23-28), 65 kg (58-71.5) eta 168 cm (163-174.5) izan ziren, hurrenez hurren. EKGan benetako bihotz taupaden markak jarri ziren *wqrs* (Zong *et al.*, 2003) taupada-detektorea erabiliz. Ondoren, markak eskuz berrikusi eta ikuskatu ziren. Arnasketa uneak, aldiz, BI seinalean markatu ziren eskuz. Seinaleak eta ikuskatutako marken adibidea 3. irudian ikus daitezke. Taupada eta arnasketa marka horiek benetako bihotz eta arnasketa maiztasunak kalkulatzeko erabili ziren, erreferentzia-neurriak izango direnak, gero O_2Hb seinaletik lortutako balioekin alderatzeko.

2. irudia: Grabaketa sistema osoa. Bere osagaiak: Biopac Sistema (EKG eta BI grabatzeko), Portalite Sistema (NIRS grabatzeko), metronomo bisuala eta guztia kontrolatzeko ordenagailua.



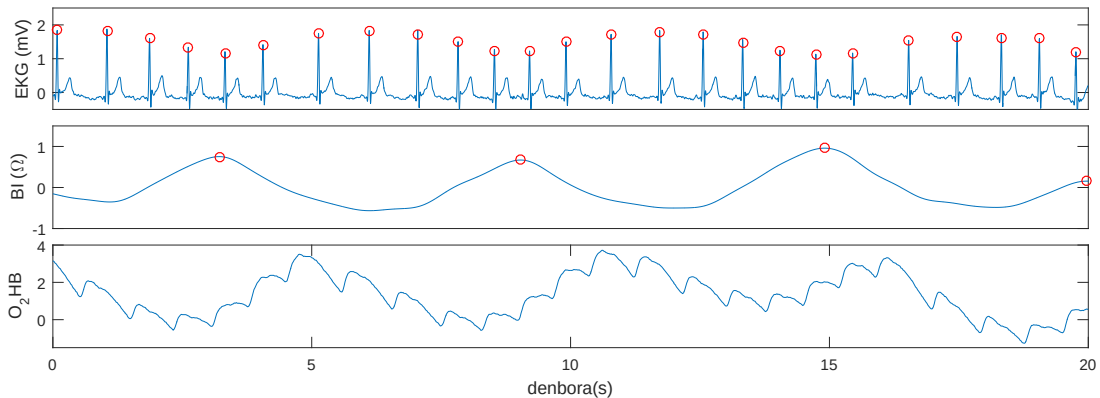
3.2 Metodoak

O_2Hb seinaletik bihotz-maiztasuna eta arnasketa maiztasuna kalkulatzeko, lehenik, bihotz-taupadak automatikoki detektatu dira, taupada bakoitzeko O_2Hb seinalean gorabehera bat gertatzen baita (ikusi 3. irudia).

Taupada detektorea

Taupada detektorearen bloke diagrama, O_2Hb seinalearekin egindako prozesaketa azaltzen duena, 4. irudian erakusten da. Taupadak detektatu aurretik O_2Hb seinalea bandapasa iragazi da, behe-maiztasuneko artefaktoak (arnasketa, mugimendua) eta goi-maiztasuneko zarata garbitzeko.

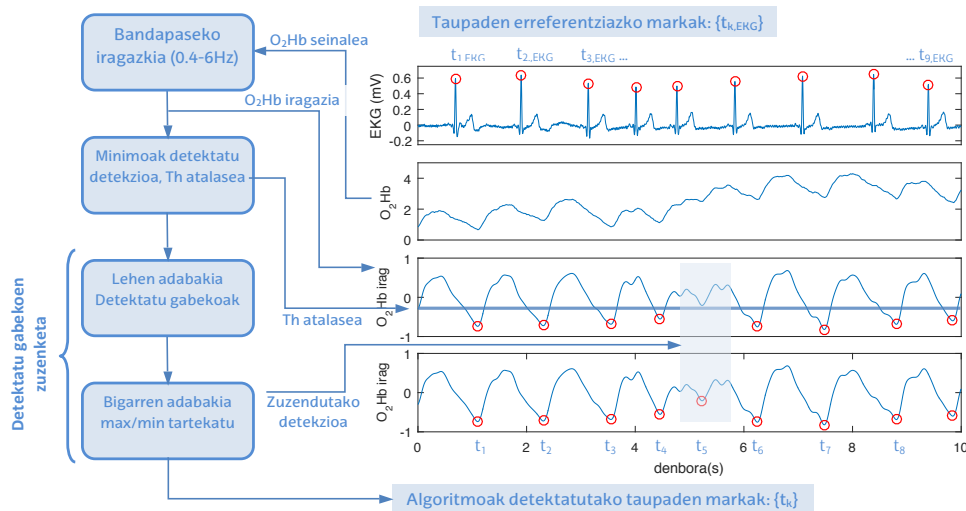
3 Irudia: Goitik behera: EKG (benetako bihotz-taupadak markatuta), BI (benetako arnasketak markatuta) eta O_2Hb seinalea.



Horretarako 8. mailako iragazki eliptikoa erabili da 0.4–6 Hz-eko paseko banda eta 1/40 dB-ko atenuazioa duena paseko eta ezabatutako bandetan, hurrenez hurren. Ondoren, minimo eta maximo lokalak detektatu dira 20 s-tako seinale tartekak (leihoak) erabiliz.

Seinalearen minimoak atalase baten azpitik dauden tontor negatiboak dira, atalasea aurreko leihoak minimoen medianaren %10ean hartuz. Minimoen anplitudeak oso aldakorrek direnez minimo batzuk ez dira detektatzen. Kasu horiek zuzentzeko adabaki bat gehitu zaio algoritmoari, elkarren segidako minimoen tartea 2 s-tik gorakoa denean detektatugabeak detektatzeko (bihotz-maiztasuna $> 30 \text{ min}^{-1}$). Bi minimo horien arteko tartean seinale tontor negatiboa bilatzen da, atalasea minimo horien balioaren batez bestekoaren %50-ean jarrita. Bukatzeko, bigarren adabaki bat gehitu zaio, elkarren segidako bi minimoen artean minimo bakarra dagoela bermatzeko. Prozesu osoan bermatu da elkarren segidako minimoen arteko gutxienezko tartea 0.45 s-takoa dela (bihotz maiztasuna $< 130 \text{ min}^{-1}$). Minimo lokalen unek, $\{t_k\}_{k=1,\dots,N}$ zenbaki segida osatzen dute, non k azpiindizeak detektatutako k . taupada adierazten duen, eta guztira N taupada detektatu diren. 4. irudian ikus daitezke O_2Hb seinalean algoritmoak detektatutako minimoak, $\{t_k\}$, lehen hurbilketan (hirugarren grafikoa) eta adabakiak aplikatu eta gero (laugarren grafikoa).

4 Irudia: Taupada detektorearen bloke diagrama eta jarraitutako pausuen eragina O_2Hb seinalean.



Arnasketa eta bihotz-maiztasunaren kalkulua

Behin $\{t_k\}$ taupada uneen segida kalkulatu da bihotz eta arnasketa maiztasuna kalkulatu daitezke. Maiztasun hauek kalkulatzeko analisi-tartea (t_a) eta berrelikatze-tartea (t_b) definitzen dira. Analisi-tartea da maiztasun balio bakoitza kalkulatzeko erabiltzen den denbora tartea, gure kasuan bihotz eta arnasketarako aukeratutako analisi tartea $t_a = 10$ s eta $t_a = 60$ s izan dira, hurrenez hurren. Horrela bermatzen da analisi-tartean taupada edota arnasketa kopuru nahiko hartzen direla maiztasuna kalkulatzeko, 10 taupada, bihotz-maiztasuna 60 min^{-1} bada, eta 10 arnasketa, arnasketa maiztasuna 10 min^{-1} bada. Berrelikatze-tartea definitzen du zenbatero eguneratzen den maiztasunaren balioa medikuak jarraipena egiteko duen monitorean. Gure kasuan bihotz eta arnasketarako aukeratutako tartea $t_b = 5$ s eta $t_b = 15$ s izan dira, hurrenez hurren. Hori lortzeko, denbora tartea gainjarri egiten dira (%50 bihotz-maiztasunerako eta %75 arnasketa maiztasunerako).

Bihotz-maiztasuna kalkulatzeko taupaden arteko denbora-tartea kalkulatu dira:

$$\Delta t_k = t_{k+1} - t_k, \quad k = 1, \dots, N - 1 \quad (1)$$

eta denbora analisi tarte bakoitzeko bihotz-maiztasuna (HR, Heart Rate) honela kalkulatu da:

$$\text{HR}(\text{min}^{-1}) = \frac{60}{\widetilde{\Delta t_k}(\text{s})}, \quad t_i < t_k \leq t_i + t_a \quad (2)$$

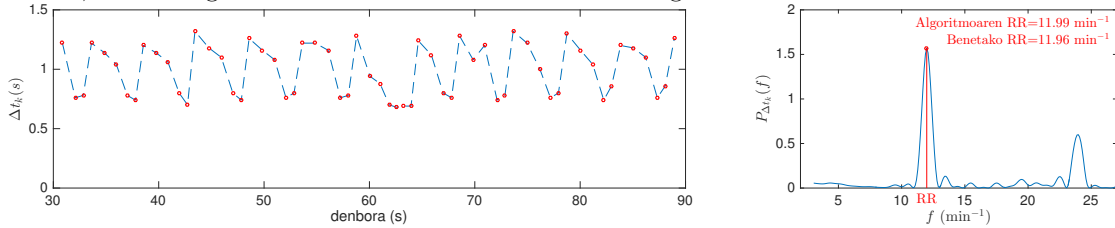
non $\widetilde{\Delta t_k}$ analisi-tarteko taupaden iraupenen mediana den.

Arnasketa maiztasunaren kalkulua RSAn oinarritzen da. 5. irudian RSA seinalea ageri da, non $\{t_k, \Delta t_k\}_{k=1, \dots, N}$ balioek arnasketek eragindako oszilazioak azaltzen dituzten. Seinalearen potentzia-dentsitatearen espektroak, $P_{\Delta t_k}(f)$, potentzia maiztasunean nola banatzen den adierazten du, 5. irudiko eskuin aldean ageri den bezala. Espektroaren tontorrak arnasketa maiztasuna erakusten du (RR, Respiration Rate) eta honela kalkulatu da:

$$\text{RR}(\text{min}^{-1}) = 60 \cdot \arg \max_{0.1 < f(\text{Hz}) < 0.5} \{P_{\Delta t_k}(f)\} \quad (3)$$

non balio maximoa $5\text{-}25 \text{ min}^{-1}$ tartean bilatzen den (Hz -etik min^{-1} pasatzeko 60-ko faktorea aplikatzen da). Bihotz-taupadek iraupen berdina ez dutenez, $\{t_k, \Delta t_k\}$ seinalea ez dago uniformeki lagindua, horregatik espektro-analisia egiterakoan Lomb-Scargle-ren (Scargle, 1982) metodoa erabili da.

5 Irudia: Ezkerrean, RSA seinalearen minutuko tartea irudikatu da, 12 arnasketekin. Eskuinean, $P_{\Delta t_k}(f)$ espektroa, tontor nagusia $\text{RR} = 11.96 \text{ min}^{-1}$ maiztasunean ageri duena.



3.3 Ebaluaketa

O_2Hb seinalean oinarritutako taupada detektorea ebaluatzeko $\{t_k\}$ uneak EKGan ikuskatutako markekin alderatu dira. Horrela taupada bakoitzeko detekzio bat badago benetako positiboa da (TP), bat baino gehiago dagoenean bat TP da eta besteak faltsu positiboak (FP), eta detekzioz ez dagoenean faltsu negatiboa (FN). Horrela 10 min-ko saio bakoitzeko lortutako TP, FP eta FNak hartuta saio horretan detektorearen duen sentsibilitate (SE) eta auresate balio positiboa (PPV, Positive Predictive Value) kalkulatu dira:

$$\text{SE}(\%) = 100 \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}} \quad \text{PPV}(\%) = 100 \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FP}} \quad (4)$$

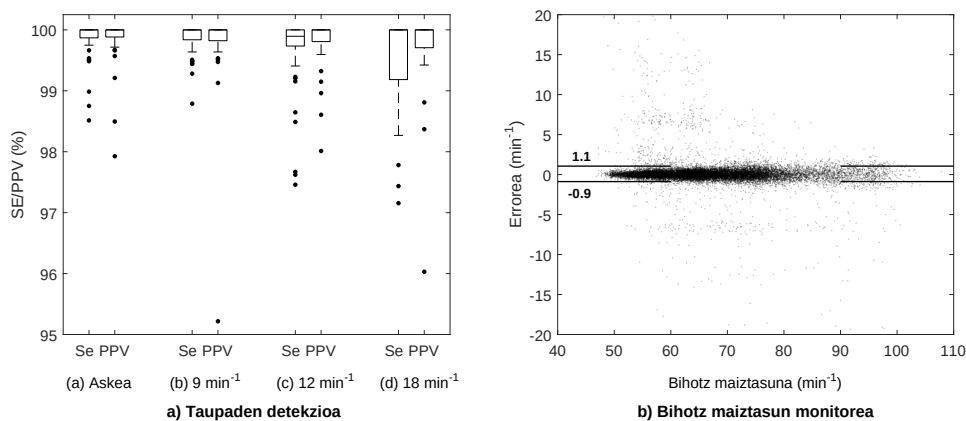
SE-ak benetako taupadetatik zenbat topatu diren neurtzen du, eta PPVak, berriz, detektoreak topatutako taupadetatik zenbat diren benetakoak.

Algoritmoak kalkulaturako bihotz eta arnasketa maiztasunak EKGtik eta BITik kalkulaturako erreferentzia balioekin konparatu dira. Horretarako, Bland-Altman grafikoak erabili dira, non abszisa ardatzean benetako balioa jartzen den eta ordenatuen ardatzean errorea. Grafika hauetan %90-eko akordio maila tartek ere kalkulatu dira, hau da, aztertutako kalkuluen %90en erroreek gaitzen ez dituzten mailak.

3.4 Emaizak

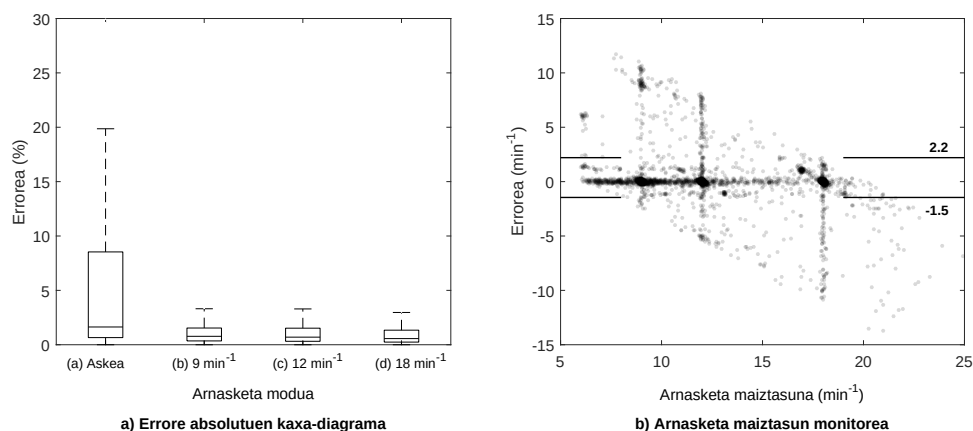
Taupaden detekzioarako algoritmoa 39 subjektuetatik jasotako 104746 taupadekin ebaluatu da eta SE eta PPV balioak %99.7 eta %99.85 dira. Subjektu bakoitzeko (600 bat taupada dituen) lortzen diren SE eta PPVak kaxa-diagramen bidez aztertu dira, 6. irudian ageri dira arnasketa moduaren arabera sailkatuta. Ikusten denez, SE eta PPV balioak oso onak dira kasu guztietan, gehinetan %99-tik gora baitaude. Bihotz-maiztasunaren analisia Bland Altman bidez egiterakoan (6 (b) irudia) ere oso akordio maila onak lortu dira, %90 kasuetan errorea 1 min^{-1} baita.

6 Irudia: Taupada detektorearen subjektuko SE/PPV balioen kaxa-diagramak (a), eta Bland-Altman grafika (b).



Arnasketa maiztasuna kalkulatzeko algoritmoari dagokionez, berriz, ohikoak diren maiztasun tartean, $5\text{-}25 \text{ min}^{-1}$ tartean, %90 akordio maila $(-1.4, 2) \text{ min}^{-1}$ da, 7 (b) irudian ikusten denez. Kontutan izan behar da arnasketa maiztasunak bihotz-maiztasunak baino 5-6 aldiz txikiagoak izan ohi direla, beraz,

7 Irudia: Arnasketa monitorearen errorea erreferentzia fidagarriekin konparatuta (a), eta Bland-Altman grafika (b).



akordio maila tartea bihotz maiztasunerako lortu denaren magnitude ordena bat handiagoa da. Erroreen banaketa estatistikoa, aldiz, 7 (a) irudian aztertzen da. Errore absolutuen balio erlatiboa irudikatu da kaxa-diagramen bidez, eta arnasketa librean erroreen mediana adibidez, %1.6 da, eta 75- perzentila %8.5 da. Arnasketa librea da errore erlatiborik handiena eman duena.

4 Ondorioak

Ikerketa lan honetan frogatu da burmuineko O_2Hb kontzentrazio seinaletik abiatuta posible dela bihotz eta arnasketa maiztasunak lortzea. Horretarako ezinbestekoa da NIRS sentsoreek laginketa maiztasun handia izatea (50 Hz gure azterketan), egun oximetro komertzialek ematen duten laginketa maiztasuna baino handiagoa. Bihotz-taupadak eta bihotz-maiztasuna oso zehaztasun handiarekin detektatu dira, arnasketa maiztasunerako lortutako maiztasuna, berriz, magnitude ordena bat txarragoa izan da. Arnasketa maiztasunaren estimazioa ez da zuzeneko izan, RSA seinalean oinarritzen da, eta horretarako Δt_k tarteen detekzioak oso zehatza izan behar du. Gainera, arnasketa kontrolatuan emaitzak hobeak izan dira, arnasketa librean aldakortasun handiagoa baitago eta zenbait kasutan minutuko tartean arnasketa modu desberdinetan gerta daiteke. Azkenik, aipatu, ikerketa hau subjektu gazteekin egin dela, eta kasu horiek direla gure algoritmoentzat egokienak, RSA fenomeno nabarmenagoa baita gaztetan.

5 Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Etorkizunerako nire ikerketaren helburua da laginketa-maiztasun handiko NIRS sistemak berpiztearen eremuan erabiltzea. Frogatu dugunez laginketa maiztasunak handituz posible da hainbat gertaera ikustea, 2-4 segunduro lortutako saturazio mailetan ikusten ez direnak. Horrela, BBBan gerta daiteke bular sakadak eraginkorrak direnean O_2Hb seinalean gorabeherak ikustea (Koyama *et al.*, 2013). Bestetik ikusi dugu berezko zirkulazioa dagoenean, subjektu osasuntzuetan behintzat, O_2Hb seinaleak taupaden ondorioz sortutako gorabeherak ere badituela. Beraz, burmuinean neurtutako O_2Hb seinalea erabilgarria izan daiteke gaur egun ondo ulertzen ez diren bi galdera hauei erantzuteko: (1) nola neurtu eta monitorizatu BBB suspertze-masajearen eraginkortasuna, eta (2) noiz berreskuratzen du OKBBGko pazienteak berezko zirkulazioa.

Erreferentziak

- GARDE, AINARA, WALTER KARLEN, J MARK ANSERMINO, eta GUY A DUMONT. 2014. Estimating respiratory and heart rates from the correntropy spectral density of the photoplethysmogram. *PLoS one* 9.e86427.
- GENBRUGGE, CORNELIA, INGRID MEEUX, WILLEM BOER, FRANK JANS, RENÉ HEYLEN, BERT FERDINANDE, JO DENS, eta CATHY DE DEYNE. 2015. Increase in cerebral oxygenation during advanced life support in out-of-hospital patients is associated with return of spontaneous circulation. *Crit Care* 19.112.
- GHOSH, ARNAB, CLARE ELWELL, eta MARTIN SMITH. 2012. Review article: cerebral near-infrared spectroscopy in adults: a work in progress. *Anesth Analg* 115.1373–83.
- IBARGUREN, KARLOS, JOSE MARÍA UNANUE, DANIEL ALONSO, ITSASO VAQUERIZA, UNAI IRUSTA, ELISABETE ARAMENDI, eta BEATRIZ CHICOTE. 2015. Difference in survival from pre-hospital cardiac arrest between cities and villages in the basque autonomous community. *Resuscitation* 96 (S1).114.
- ITO, NORITOSHI, KEI NISHIYAMA, CLIFTON W CALLAWAY, TOMOHIKO ORITA, KEI HAYASHIDA, HIDEKI ARIMOTO, MITSURU ABE, TOMOYUKI ENDO, AKIRA MURAI, KEN ISHIKURA, NORIYUKI YAMADA, MASAHIRO MIZOBUCHI, HIDEKI ANAN, KAZUO OKUCHI, HIDETO YASUDA, TOSHIYUKI MOCHIZUKI, YUKA TSUJIMURA, TAKEO NAKAYAMA, TETSUO HATANAKA, KEN NAGAO, eta J-POP REGISTRY INVESTIGATORS. 2014. Noninvasive regional cerebral oxygen saturation for neurological prognostication of patients with out-of-hospital cardiac arrest: a prospective multicenter observational study. *Resuscitation* 85.778–84.
- KÄMÄRÄINEN, ANTTI, MARKO SAINIO, KLAUS T OLKKOLA, HEINI HUHTALA, JYRKI TENHUNEN, eta SANNA HOPPU. 2012. Quality controlled manual chest compressions and cerebral oxygenation during in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 83.138–42.

- KOYAMA, YASUAKI, TAKAFUMI WADA, BRANDON D LOHMAN, YUKA TAKAMATSU, JUNICHI MATSUMOTO, SHIGEKI FUJITANI, eta YASUHIKO TAIRA. 2013. A new method to detect cerebral blood flow waveform in synchrony with chest compression by near-infrared spectroscopy during cpr. *Am J Emerg Med* 31.1504–8.
- LÁZARO, JESÚS, EDUARDO GIL, RAQUEL BAILÓN, ANA MINCHOLÉ, eta PABLO LAGUNA. 2013. Deriving respiration from photoplethysmographic pulse width. *Med Biol Eng Comput* 51.233–42.
- MEEH, INGRID, CATHY DE DEYNE, JO DENS, SIMON SCHEYLTJENS, KEVIN LATHOUWERS, WILLEM BOER, GUY VUNDELINCKX, RENÉ HEYLEN, eta FRANK JANS. 2013. Feasibility of absolute cerebral tissue oxygen saturation during cardiopulmonary resuscitation. *Crit Care* 17.R36.
- NISHIYAMA, KEI, NORITOSHI ITO, TOMOHIKO ORITA, KEI HAYASHIDA, HIDEKI ARIMOTO, SATORU BEPPU, MITSURU ABE, TAKASHI UNOKI, TOMOYUKI ENDO, AKIRA MURAI, TAKESHI HATADA, NORIAKI YAMADA, MASAHIRO MIZOBUCHI, HIDEO HIMENO, KAZUO OKUCHI, HIDETO YASUDA, TOSHIKI MOCHIZUKI, KAZUHIRO SHIGA, MIGAKU KIKUCHI, YUKA TSUJIMURA, TETSUO HATANAKA, KEN NAGAO, eta J-POP REGISTRY INVESTIGATORS. 2015. Regional cerebral oxygen saturation monitoring for predicting interventional outcomes in patients following out-of-hospital cardiac arrest of presumed cardiac cause: A prospective, observational, multicentre study. *Resuscitation* 96.135–41.
- REISNER, ANDREW, PHILLIP A SHALTIS, DEVIN MCCOMBIE, eta H HARRY ASADA. 2008. Utility of the photoplethysmogram in circulatory monitoring. *Anesthesiology* 108.950–8.
- SANFILIPPO, FILIPPO, GIOVANNI SERENA, CARLOS CORREDOR, UMBERTO BENEDETTO, MARC O MAYBAUER, NAWAF AL-SUBAIE, BRENDAN MADDEN, MAURO ODDO, eta MAURIZIO CECCONI. 2015. Cerebral oximetry and return of spontaneous circulation after cardiac arrest: A systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 94.67–72.
- SCARGLE, JEFFREY D. 1982. Studies in astronomical time series analysis. ii. statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data. *Astrophysical Journal* 263.835–853.
- SOAR, JASMEET, JERRY P NOLAN, BERND W BÖTTIGER, GAVIN D PERKINS, CARSTEN LOTT, PIERRE CARLI, TOMMASO PELLIS, CLAUDIO SANDRONI, MARKUS B SKRIFVARS, GARY B SMITH, KJETIL SUNDE, CHARLES D DEAKIN, eta ADULT ADVANCED LIFE SUPPORT SECTION COLLABORATORS. 2015. European resuscitation council guidelines for resuscitation 2015: Section 3. adult advanced life support. *Resuscitation* 95.100–47.
- YASUMA, FUMIHIKO, eta JUN-ICHIRO HAYANO. 2004. Respiratory sinus arrhythmia: why does the heartbeat synchronize with respiratory rhythm? *Chest* 125.683–90.
- ZONG, W, GB MOODY, eta D JIANG. 2003. A robust open-source algorithm to detect onset and duration of QRS complexes. In *Computing in Cardiology*, volume 30, 737–740.

6 Eskerrak

Lan hau posible izan da Eusko Jaurlaritzak eskainitako PRE-2016-1-0012 bekari eta honako diru-laguntzei esker: UPV/EHU-ko EA15/01 proiektua (UFI11/16 unitatearen bitartez), Eskualdeen Garapenerako Europako Funtsa (FEDER, gaztelaniaz) eta TEC2015-64678-R proiektua.

Gibeleko erradioenbolizazioa: CFD simulazioetan oinarritutako hemodinamikaren eta mikroesferen garraioaren analisisia

Aramburu, Jorge¹; Antón, Raúl^{1,2}; Rivas, Alejandro¹; Ramos, Juan Carlos¹; Sangro, Bruno^{2,3,4}; Bilbao, José Ignacio^{2,3}

¹Universidad de Navarra, TECNUN Escuela de Ingenieros, ²IdiSNA (Instituto de Investigación Sanitaria de Navarra), ³Clínica Universidad de Navarra, ⁴CIBEREHD (Centro de Investigación Biomédica en Red de Enfermedades Hepáticas y Digestivas)
jaramburu@tecnun.es

Laburpena

Erradioenbolizazioak gibeledako minbiziari egiten dio aurre. Arterian kokatutako kateterraren bitartez, mikroesfera erradioaktiboak injektatzen dira odol-fluxuan, eta partikula horiek tumoreak odolez hornitzen dituzten arterioletan itsasten dira. Tratamendu segurua eta eraginkorra izan arren, konplikazioak sor daitezke partikulak gibelean modu desegokian banatzen badira. Artikulu honek bi lan berraztertzen ditu, simulazioen bitartez fluidoaren mekanikarekin zerikusia duten hainbat parametroen eragina aztertzen duten bi lan; injekzioa adarkadura batetik gertu edo urruti egitearen eragina berraztertzen du, hain zuzen. Emaitzek erakutsi dute partikulen banaketak odol-fluxuarenaren itxura hartzen duela, injekzio-puntutik adarkadurainoko zatia nahikoa luze eta bihurria bada.

Hitz gakoak: erradioenbolizazioa, gibeledako minbizia, arteria hepaticoa, adarkadura

Abstract

Radioembolization is a treatment option for combating liver cancer. It consists of administering radioactive microspheres via an intraarterially placed catheter with the aim of lodging these particles in the tumoral bed. Even though it is a safe and effective treatment, some complications may arise due to nontarget radiation. This paper re-analyzes two studies published by the authors in which the influence of several fluid mechanics-related parameters is analyzed via computer simulations. Specifically, the influence of injecting near a bifurcation is re-analyzed. Results re-indicate that particle distribution tends to match blood-flow split if the distance from the injection point to bifurcation is long enough.

Keywords: radioembolization, liver cancer, hepatic artery, bifurcation

1. Sarrera eta motibazioa

Espezialisten elkarlana ezinbestekoa da gaixotasun larrienei aurre egiteko. Beharrezkoa da, behinik behin, gibeledako erradioenbolizazioan. Minbiziaren aurkako tratamendu horretan, erradiologo interbentzionistek, erradiologo onkologoei, hepatologoei eta bestelako adituek hartzen dute parte, lankidetzan. Beste modurik ez dago mikroesfera erradioaktiboak arteria hepaticoan xiringatu eta tumoreak (soilik tumoreak) erasotzeko. Tratamendu konplexua da zinez; hain, ezen, maiz, eztabaidak sortzen baitiuen medikuen artean.

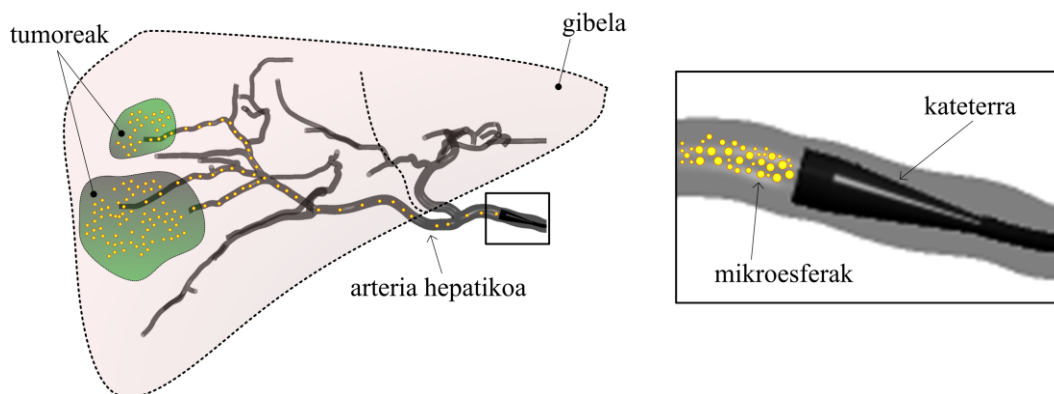
Ika-mika horiei irtenbidea emateko-edo, fluidoaren dinamikaren zenbakizko simulazioak (*computational fluid dynamics*, CFD) egin dira Fluent® 15.0 software komertzialarekin (ANSYS® Inc., Canonsburg, PA, USA). Horrela, odolak mikroesferak nola garraiatzen dituen aztertu da. Beraz, lan honen motibazio nagusia izan da frogatzea ingeniarietarako aterabidea eman diezaiekeela eztabaida horiei eta medikuei plazaratutako kezkei.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Gibeledako minbiziak 745.500 heriotza inguru eragin zituen 2012an; minbizien artean, hilgarrienetan bigarrena izan zen (Torre et al., 2015). Horrek kezka sortu zuen, noski, adituen artean. Zorionez, badira hainbat tratamendu eraginkorrak direnak. Horien artean, erradioenbolizazioa ari da nagusitzen azken urteotan. Metodo horretan, mikroesfera erradioaktiboak injektatzen dira arteria hepaticoan, kateter batekin, odol-fluxuak tumoreetara

garraia ditzan partikulak (1. irudia). Kateterraren kokapena eta partikulen injekzio-abiadura aurretratamenduan erabakitzen dira. Prozesu horretan, albumina makroitsatsi inerteak injektatzen dira kalteak gutxitzeko, eta horien jomuga aztertzen da. Asumitzen da makroitsatsiek aurretratamenduan hartutako bidea hartuko dutela mikroesfera erradioaktiboek tratamenduan (Kennedy et al., 2007).

1. irudia: gibleko erradioenbolizazioa, eskematikoki



Nahiz eta tratamendu segurua eta eraginkorra izan, hainbat albo-ondorio eragin ditzake erradioenbolizazioak (Bilbao eta Reiser, 2014). Haatik, badira arazo horiek gutxitzeko edota, kasurik onenean, desagerrarazteko helburuarekin egindako ikerlan itxaropentsuak. Hiru multzotan sailka daitezke: lehenengo multzoan, aurretratamenduaren balioari buruzko saiakuntza klinikoak (Jiang et al., 2012) eta simulazio bidezko ikerlanak (Aramburu et al., 2017); bigarrenean, kateterraren diseinuaren ingurukoak (Rose et al., 2013); eta hirugarrenean, azkenengoan, tratamenduaren simulazioen ingurukoak. Azken multzo horretako ikerketetan, fluidoaren mekanikarekin zerikusia duten hainbat parametro aztertu izan dira; batzuetan, tratamendua bera diseinatzeko (Basciano et al., 2010; Kleinstreuer et al., 2014), eta, besteetan, aztertzeko kasu errealistetan nola eragiten duten (Aramburu et al., 2016b, 2016c).

Artikulu honetan, Aramburu et al. (2016b) lanean ondorioztatutakoa aztertuko da Aramburu et al. (2016c, 2017) lanetan izan duen eraginaren arabera, ondorio garrantzitsua baita ikuspegi medikotik. Aramburu et al. (2016b) lanean ondorioztatzen dena hau da: partikulek ibilbideko lehen adarkadura topatu aurretik nahikoa luze eta bihurria den arteria zatia zeharkatzen badute, horiek odol-fluxuarekin lerrotatuko dira eta azken hau banatzen den bezala banatuko.

3. Ikerketaren muina

3.1 Ikerketaren deskribapena

Aipatutako ikerketa oinarri duten lanetan (Aramburu et al. 2016b, 2016c, 2017), hainbat parametro aztertu dira, erradioenbolizazioaren emaitzan eragina izan dezaketelakoan. Aldagaiak partikulen banaketan nola eragiten duten aztertuz egin da hori. Aramburu et al. (2017) lanak, adibidez, aurretratamenduaren inguruan dihardu eta honako aldagaiak ditu aztergai: minbiziaren egoera, partikula mota, kateterraren muturraren posizioa (adarkadurarekiko) eta muturraren posizio longitudinala; Aramburu et al. (2016b) lanak, aldiz, honakoak: minbiziaren egoera, kateter mota eta kateterraren muturraren posizioa (adarkadurarekiko); azkenik, Aramburu et al. (2016c) lanak, hauek: injekzio-abiadura eta kateterraren norabide distala. Gainera, aurreko atalean esan bezala, Aramburu et al. (2016c, 2017) lanetako simulazioen emaitzak aztertu dira, Aramburu et al. (2016b) lanean ondorioztatutakoa betetzen den frogatzeko.

3.2 Eredu matematikoa eta simulazioak

Arteria hepaticoko hemodinamika eta partikulen garraioa aztertu dira lan honetan. Hemodinamikaren ereduari dagokionez, odola fluido isoterma, konprimaezina eta ez-

newtondarra dela asumitu da, eta odol-fluxua Navier–Stokes-en ekuazioek (Batchelor, 2000) definitzen dutela fluxu laminarrean. Partikulen garraioari dagokionez, onartu da Newtonen bigarren legeak definitzen duela haien mugimendua. Grabitatearen indarra, presio-gradientearen indarra, herrestatze-indarra eta masa birtualaren indarra hartu dira kontuan (Aramburu et al., 2017). Basciano et al. (2010) lanean, antzeko eredu bat erabili zen, eta Richards et al. (2012) lanak baliozkotu egin zuen.

Arteriaren geometria tridimentsionala eta muga-baldintzak ezagutu behar dira CFD simulazioak egin ahal izateko, odol-fluxua eta partikulen garraioa deskribatzen dituen eredu matematikoz gain. Geometria tridimentsionala bolumen txikietan zatitu behar da (diskretizazio prozesua) eta muga-baldintzak definitu behar dira; hau da, odol-fluxuak eta partikulek geometriaren mugetan dituzten ezaugarriak (abiadura edota presioa). Horrela, CFD simulazioetan, Navier–Stokes-en ekuazio diferentzialak ekuazio algebrako bihurtzen dira garapen matematikoen bitartez, eta diskretizatutako geometriako bolumen txikietan ebazten dira ordenagailu bidez. Aramburu et al. (2015) lanean deskribatzen da lan honetan erabili den arteria hepaticoren geometria (1. irudian ikus daiteke aurretiko bista). Muga-baldintzak definitzerako orduan, Aramburu et al. (2016a) lanean deskribatutako metodologia erabili da.

Berraztertu diren simulazioen ezaugarriak 1. taulak laburbiltzen ditu. Aramburu et al. (2017) laneako simulazioak 1.01-tik 1.12-ra doazenak dira eta Aramburu et al. (2016c) laneako simulazioak 2.01-tik 2.12-ra doazenak. Minbiziren egoerari buruz: 1 egoeran, gibealeko %10 koloneko minbizitza metastasiz osatuta dago; 2 egoeran, gibealeko %30. Partikulei dagokionez: makroitsatsiak (aurretratamenduko partikulak) eta mikroesferak (tratamenduko partikulak) erabili dira. Erabili diren injekzio-abiadurak 5 mL/min eta 18,5 mL/min dira. Muturraren kokapenari dagokionez, adarkaduratik gertu edo urrun kokatu da eta, gainera, 5 mm-ko mugimendua aplikatu da kasu batzuetan. Azkenik, Aramburu et al. (2016c) lanaren arabera definitu da kateterraren norabide distala. Taularen helburua da simulazio guztiak desberdinak direla erakustea eta bakoitzaren ezaugarriak laburbiltzea.

3.3 Emaizak eta emaitzen ezaugarria

Azalduko diren emaitzak kualitatiboki aztertuko dira. Eskuineko lobulura iristen diren odol-fluxua eta partikula kopurua aztertuko dira. Couinaud-en arabera (1992), gibelak zortzi segmentuz dago osatuta, eta eskuineko lobulua 5, 6, 7 eta 8 segmentuek (S5, S6, S7 eta S8) osatzen dute. Fluxuaren banaketa eta partikulen banaketa aztertuko dira bertan.

Emaizak hauen azterketaren helburua hau da: ikustea ea eskuineko arteria hepaticoa nahikoa luze eta bihurria den zera eragiteko, partikulak odol-fluxuarekin lerrokatu eta berau bezala banatzea. Horixe ikusi da Aramburu et al. (2016b) lanean, eta horri esker jakin ahal izan da ikertutako gainerako aldagaiek (minbiziaren egoera eta kateter mota) ez dutela eraginik partikulen banaketan. Eta ez hori bakarrik; ikusi da partikulek joera dutela odol-fluxua banatzen den bezala banatzeko.

2. irudian, 1.01–1.12 simulazioen emaitzak ageri dira (a) eta (b) grafikoetan, eta 2.01–2.12 simulazioenak (c) grafikoan. Minbiziren egoeraren arabera zatitu dira 1.01–1.12 simulazioak (a) eta (b) grafikoetan, odol-fluxua aldatu egiten baita aldagai horren arabera. 2. irudia aztertuz gero, argi ikus daiteke partikulen banaketak odol-fluxuaren antza hartzeko joera duela.

Hala ere, desberdintasun nabariak ikus daitezke: 1.01–1.12 simulazioak aztertuz gero, 2. irudiko (a) grafikoan ikusten da (minbiziaren 1 egoera) 1.01, 1.02 eta 1.09 simulazioetan %20 inguruko aldea dagoela S6 eta S8 segmentuetara iristen den partikulen ehunekoaren eta odol-fluxuaren ehunekoaren artean. 2. irudiko (b) grafikoan (minbiziaren 2 egoera) aldiz, ikusten da txikiagoa dela partikulen ehunekoaren eta odol-fluxuaren ehunekoaren artean dagoen aldea. Minbiziaren egoera da horren arrazoi nagusia. Minbiziaren 2 egoeran odol-fluxua handiagoa da eta, ondorioz, partikulak garraiatzeko gaitasuna ere bai. 2. irudiko (c) grafikoan ikus daiteke aldakortasun handiagoa dagoela partikulen banaketan odol-fluxuaren banaketarekiko. Hala ere, ezin uka partikulak odol-fluxua bezala banatzen direla orokorrean.

1. taula: Aramburu et al. (2017) eta Aramburu et al. (2016c) lanetako simulazioen ezaugarriak

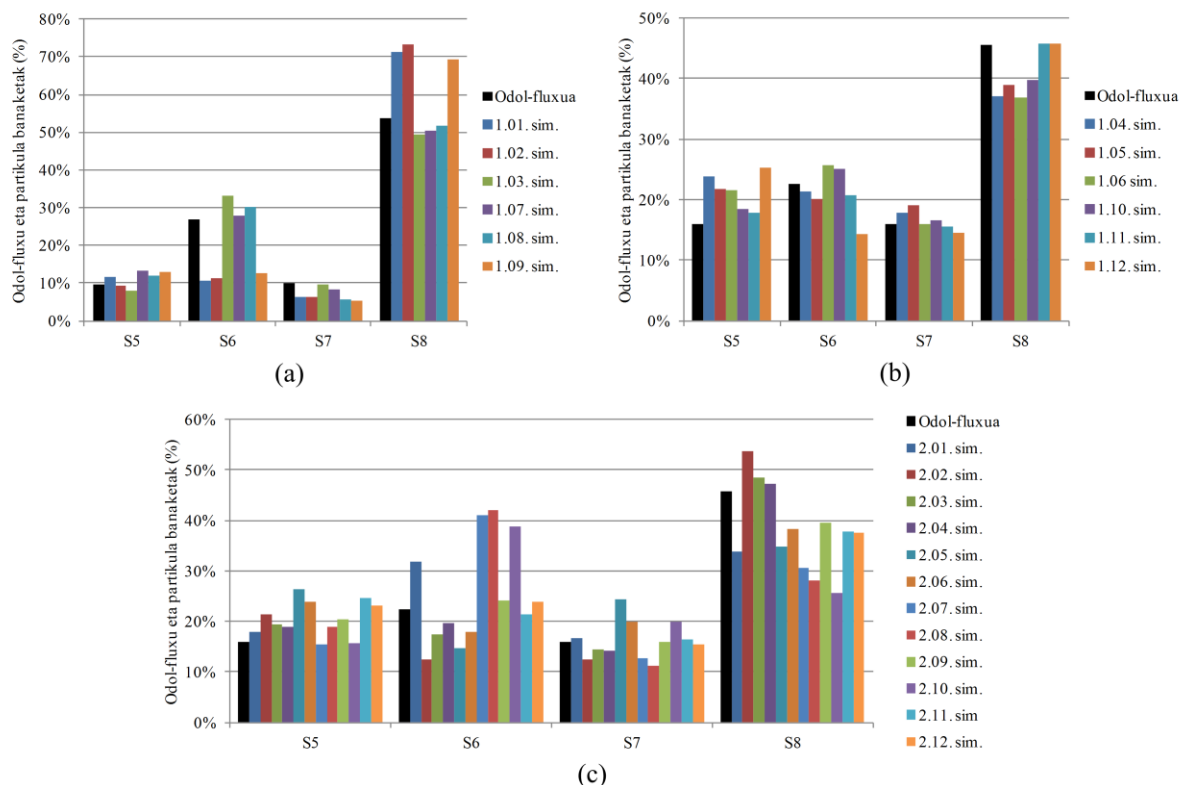
Sim.	Minbizi egoera	Partikula mota	Injekzio abiadura (mL/min)	Muturra adarkaduratik urrun ala gertu	Kateter norabidea
1.01	1 egoera	Makroitsatsiak	18.5	Urrun	O-O
1.02	1 egoera	Mikroesferak	18.5	Urrun	O-O
1.03	1 egoera	Mikroesferak	18.5	Urrun (-5 mm)	O-O
1.04	2 egoera	Makroitsatsiak	18.5	Urrun	O-O
1.05	2 egoera	Mikroesferak	18.5	Urrun	O-O
1.06	2 egoera	Mikroesferak	18.5	Urrun (-5 mm)	O-O
1.07	1 egoera	Makroitsatsiak	18.5	Gertu	O-O
1.08	1 egoera	Mikroesferak	18.5	Gertu	O-O
1.09	1 egoera	Mikroesferak	18.5	Gertu (-5 mm)	O-O
1.10	2 egoera	Makroitsatsiak	18.5	Gertu	O-O
1.11	2 egoera	Mikroesferak	18.5	Gertu	O-O
1.12	2 egoera	Mikroesferak	18.5	Gertu (-5 mm)	O-O
2.01	2 egoera	Mikroesferak	18.5	Gertu	N-S
2.02	2 egoera	Mikroesferak	18.5	Gertu	E-S
2.03	2 egoera	Mikroesferak	18.5	Gertu	E-W
2.04	2 egoera	Mikroesferak	18.5	Gertu	W-W
2.05	2 egoera	Mikroesferak	18.5	Gertu	E-E
2.06	2 egoera	Mikroesferak	18.5	Gertu	W-E
2.07	2 egoera	Mikroesferak	5.0	Gertu	N-S
2.08	2 egoera	Mikroesferak	5.0	Gertu	E-S
2.09	2 egoera	Mikroesferak	5.0	Gertu	E-W
2.10	2 egoera	Mikroesferak	5.0	Gertu	W-W
2.11	2 egoera	Mikroesferak	5.0	Gertu	E-E
2.12	2 egoera	Mikroesferak	5.0	Gertu	W-E

4. Ondorioak

Artikulu honek autoreen emaitzak berraztertu ditu. Zehazki, Aramburu et al. (2016b) lanean ondorioztatutakoa berrikusi eta berretsi da, hau da, arteria zati jakinera bideratutako partikulak odol-fluxuarekin lerrokatuko direla eta odol-fluxuaren banaketa hartuko dutela, arteria zatia nahikoa luze eta bihurria bada. Hori gertatzen da, behinik behin, eskuineko arteria hepaticora iristen diren partikulekin (eskuineko lobulura bideratzen direnekin); odol-fluxuaren arabera banatzen dira.

Nabarmena da ondorio horrek medikuen eguneroko lanean izan dezakeen garrantzia. Gibela tumoreez josita duen paziente bat tratatzeko, partikulek odol-fluxuaren banaketa izatea komeni da, partikulak tumoreetara iris daitezen; horregatik, injekzioa adarkaduratik urrun egin behar da, modu horretan lortuko baita partikulak odol-fluxuarekin lerrokatzea eta, ondorioz, partikulak odol-fluxua banatzen den bezala banatzea.

2. irudia: (a) Aramburu et al. (2017) laneko simulazioak minbiziaren 1 egoeran, (b) Aramburu et al. (2017) laneko simulazioak minbiziaren 2 egoeran (c) Aramburu et al. (2016c) laneko simulazioak



5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Etorkizunerako erronka nagusia da paziente bakoitzari egokitutako tratamendua diseinatu ahal izatea. Simulazioen bidez egindako tratamenduaren diseinuak denbora asko behar du gaur-gaurkoz; kateter mota erabaki behar da, kateterraren kokapena, partikulen injekzio-abiadura eta abar. Aproposena zera litzateke, prozesu guztia ordu gutxiren buruan egin ahal izatea, hots, gaixoaren gibelaren egoeraren irudi medikoa lortzetik tratamendua diseinatzera arteko denbora tartea laburra izatea. Horretarako, ordenagailuen memoria eta prozesadoreen abiadura handitu behar dira.

Bestalde, lan honetatik abiatuta planteatzen den bideetako bat da kualitatiboki ikusi dena kuantitatiboki aztertzea. Hau da, “urruti” eta “gertu” bezalakoak alde batera utzi eta neur daitezkeen parametroen arabera azterketa egitea. Proposatzen den beste ikerketa-lerroa da egun merkatuan dauden kateterren ezaugarriak hobetuko dituen kateterra diseinatzeko saiatzea.

Amaitzeko, aipatu Sznitman eta Steinman-ek (2016) CFDaren garrantzia azpimarratu zutela. Ingeniaritza biomedikoaren garapenean izango duen garrantzia, hain zuzen. Dena den, fenomeno fisikoak deskribatzen dituzten eredu matematikoak baliozkotu behar dira, simulazioen bidez egindako aurkikuntzak medikuek gaixoekin aplikatu aurretik (Ballyk, 2015).

6. Erreferentziak

Aramburu, J., Antón, R., Bernal, N., Rivas, A., Ramos, J. C., Sangro, B., Bilbao J. I. (2015): Physiological outflow boundary conditions methodology for small arteries with multiple outlets: a patient-specific hepatic artery haemodynamics case study. *Proc. Inst. Mech. Eng. H*, 229, 291-306.

- Aramburu, J., Antón, R., Rivas, A., Ramos, J. C., Sangro, B., Bilbao J. I. (2016a): Liver cancer arterial perfusion modelling and CFD boundary conditions methodology: a case study of the haemodynamics of a patient-specific hepatic artery in literature-based healthy and tumour-bearing liver scenarios. *Int. J. Numer. Method. Biomed. Eng.*, 32, e02764.
- , (2016b): Computational assessment of the effects of the catheter type on particle-hemodynamics during liver radioembolization. *J. Biomech.*, 49, 3705-3713.
- , (2016c): Numerical investigation of liver radioembolization via computational particle-hemodynamics: the role of the microcatheter distal direction and microsphere injection point and velocity. *J. Biomech.*, 49, 3714-3721.
- , (2017): Computational particle-haemodynamics analysis of liver radioembolization pretreatment as an actual treatment surrogate. *Int. J. Numer. Method. Biomed. Eng.*, 33, e02791.
- Ballyk, P. D. (2015): Numerical/experimental synergy: more than just a reality check. *J. Vasc. Interv. Radiol.*, 26, 259-261.
- Basciano, C. A., Kleinstreuer, C., Kennedy, A. S., Dezarn, W. A., Childress, E. (2010): Computer modeling of controlled microsphere release and targeting in a representative hepatic artery system. *Ann. Biomed. Eng.*, 38, 1862-1879.
- Batchelor, G. K. (2000): *An Introduction to Fluid Dynamics*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Bilbao, J. I. eta Reiser M. F. (2014): *Liver Radioembolization with 90Y Microspheres*, Springer, Berlin.
- Couinaud, C. (1992): The anatomy of the liver. *Ann. Ital. Chir.*, 63, 693-697.
- Jiang, M., Fischman, A., Nowakowski, F. S., Heiba, S., Zhang, Z., Knesaurek, K., Weintraub, J., Machac, J. (2012): Segmental perfusion differences on paired Tc-99m macroaggregated albumin (MAA) hepatic perfusion imaging and yttrium-90 (Y-90) bremsstrahlung imaging studies in SIR-sphere radioembolization: Associations with angiography. *J. Nucl. Med. Radiat. Ther.*, 3.
- Kennedy, A., Nag, S., Salem, R., Murthy, R., McEwan, A. J., Nutting, C., Benson, A., Espat, J., Bilbao, J. I., Sharma, R. A., Thomas, J. P., Coldwell, D. (2007): Recommendations for radioembolization of hepatic malignancies using yttrium-90 microsphere brachytherapy: A consensus panel report from the Radioembolization Brachytherapy Oncology Consortium. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 68, 13-23.
- Kleinstreuer, C., Feng, Y., Childress, E. (2014): Drug-targeting methodologies with applications: A review. *World J. Clin. Cases*, 2, 742-756.
- Richards, A. L., Kleinstreuer, C., Kennedy, A. S., Childress, E., Buckner, G. D. (2012): Experimental microsphere targeting in a representative hepatic artery system. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 59, 198-204.
- Rose, S. C., Kikolski, S. G., Chomas, J. E. (2013): Downstream hepatic arterial blood pressure changes caused by deployment of the Surefire antireflux expandable tip. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.*, 36, 1262-1269.
- Sznitman, J. eta Steinman, D. A. (2016): Relevance and challenges of computational fluid dynamics in the biomedical sciences. *J. Biomech.*, 49, 2101.
- Torre, L. A., Bray, F., Siegel, R. L., Ferlay, J., Lortet-Tieulent, J., Jemal, A. (2015): Global cancer statistics, 2012. *CA. Cancer J. Clin.*, 65, 87-108.

7. Eskerrak eta oharrak

Lan hau oinarri duen proiektua Espainiako Gobernuako Ministerio de Economía y Competitividad-en finantzaketarekin burutu da, DPI2012-35277 proiektuaren bitartez. Fundación Antonio Aranzábal-Universidad de Navarra-ren laguntza ere ezinbestekoa izan da. Iker Iñigo “Antxus”-en laguntza ere eskertu nahiko genuke euskararen zuzentasuna berrikustegatik.

Zuntz optikoan oinarritutako sentsoreen prestazioen muga-efektu berria, egituren egoera monitorizatzea helburu

Haritz Iribas, eta Jon Mariñelarena, eta Alayn Loayssa

Nafarroako Unibertsitate Publikoa, Arrosadiako Kanpusa z/g, 31006 Iruñea
haritz.iribas@unavarra.es

Laburpena

Brillouin denbora-eremu optikoaren analisisian (BOTDA) oinarritutako sentsoreak estruktura handien (120 km luzerako estruktura) deformazioa eta tenperatura neurtzeko gaitasuna dute, metro bateko bereizmen espazialarekin. Lan honetan, sentsorearen merkatu-prezioa handitu gabe bereizmen espazial txikiagoa lortzeko beharrezkoa litzatekeen teknika erabiltzeak dituen efektu kaltegarriak aztertu egin dira. Izan ere, pultsu azkar bat sortzeko beharrezkoak diren Mach-Zehnder modulagailu elektrooptikoek iraungitze-ratio (ER) txikia dute. Horiek horrela, aztertu egin da pulsatutako seinalea sortzeko sorgailuak duen ERaren eragina BOTDA sentsoreen prestazioetan, akats handiak sortzen direla ondorioztatuz.

Hitz gakoak: Zuntz optikoko sentsoreak, Brillouin denbora-eremu optikoaren analisisa (BOTDA).

Abstract

Distributed Brillouin optical time domain analysis (BOTDA) sensors can provide high precision distributed measurements of the strain and temperature profile over extremely large structures (structures of 120 km) with a meter spatial resolution. In this work, we present the detrimental effect that would imply the use of the necessary technique to achieve a lower spatial resolution, without increasing the price of the sensor. Since the Mach-Zehnder electro-optical modulators that are required to perform a fast pulse have a low extinction ratio (ER). Therefore, we have studied the consequences of using a pulse generator device with a low ER on BOTDA sensors, concluding that it generates large errors.

Keywords: Fiber optics sensors, Brillouin optical time domain analysis (BOTDA).

1 Sarrera eta motibazioa

Azken hamarkadetan, industria-sektore ezberdinetarako dituzten ezaugarriak direla medio, zuntz optikoan oinarritutako sentsoreen ikerkuntzak interes handia piztu du. Sentsore mota ezberdinen artean, Brillouin efektuan oinarritzen direnak interes berezia sortu dute, luzera handiko estruktura tenperatura eta deformazioa monitorizatzeko duten gaitasuna dela-eta. Horietatik, Brillouinen denbora-eremu optikoaren analisisaren (BOTDA) teknika erabiltzen dutenak erabilitakoen artean daude.

BOTDA sistema batean, aztertu nahi den estruktura gainean jarriko den zuntz optikoan kontrako norabidean hedatzen dira bi uhin optiko, eta beraien elkar-eragintza ondoz Brillouin prozesua sortzen da. Kontrako norabidean hedatzen diren uhin optiko horiek, pulsatutako-uhina (potentzia optikoa denbora laburrean baino ez du, pultsu baten forma hartuz) eta uhin-jarraia (potentzia optiko konstantea du) izenarekin ezagutzen dira. Modu honetan, uhin-jarriak pultsuarekin elkar-eragiten duen momentuan, uhin-jarraia zuntz optikoaren puntu zehatz horretako ezaugarriekin anplifikatua izango da. Kontuan izanda pultsuak zuntz optiko osoan zehar uhin-jarriarekin elkar-eragiten duela, sistemaren bereizmen espaziala, hau da, zenbateko distantzia-zehaztasunarekin neurtu daitekeen, pultsuaren luzerarekin loturik dago. Adibide gisa 10 ns-ko pultsu batekin metro bateko bereizmena lortu egiten da. Horrela, zuntz optiko osoan zehar metro bakoitzeko neurketa bat eskuratu egingo da, informazio guztia aldi berean lortuz.

Beste alde batetik, azpimarratzekoa ere bada bi uhin optiko horiek maiztasun alde zehatz bat izan behar dutela beraien artean, zeina zuntz optikoaren Brillouinen desplazamendu-maiztasuna (BFS) izango den gutxi gora behera, zuntz optiko konbentzionalean 10,8 GHz ingurukoa dena. Modu honetan, uhin-jarraia anplifikatua izango da maiztasun zehatz horren arabera. Bi uhin optikoen arteko maiztasun

aldea aldatuz gero (aldaketa txikiak egiten dira, 2 MHz ingurukoak), Brillouin espektroaren bestelako maiztasun bati dagokion amplifikazioa lortuko litzateke, zeina zertxobait ezberdina den aurrekoarekin alderatuta. Bi uhinetako baten maiztasuna aldatzen joanez zuntz optikoaren Brillouinen irabazi-espektroa (BGS) lortu egiten da zuntz optikoan aztertu diren puntu guztietan. Hau da, erabilitako maiztasun ezberdin bakoitzeko uhin-jarraiak amplifikazio ezberdina jasoko du. Zuntz optikoan neurtutako puntu bakoitzaren BFS izango da puntu horretan amplifikazio gehien eman dion maiztasuna. Aztertua dago BFSren aldaketak lotura zuzena duela tenperatura eta deformazioaren aldaketarekin. Zehazki, MHz bateko aldaketa batek gradu zentigradu bateko aldaketa suposatzen du. Beraz, modu jarraitu batean zuntzaren BFS neurtuz edozein momentuan tenperatura aldaketa bat neurtzeko aukera dago.

BOTDA sentsoreak, bereizmen espazial txikian (metro bat) luzera handiko (120 km inguru) estrukturen deformazio eta tenperatura profilarren zehaztasun handiko neurketak emateko gai dira. Horregatik, erakargarritasun handia piztu dute zenbait industri sektoretan, hala nola, sare elektrikoaren goi-tentsioko lineen kontrolean, olio eta gas hodian monitorizazioan, trenbidearen egoeraren azterketan eta bestelako estrukturen osasunaren monitorizazioa egiten duten aplikazioetan. Testuinguru honetan, aunitz dira BOTDA sentsoreen gaitasunak zabaltzeko lanetan diharduten ikerkuntza talde eta korporazioak. Duten neurketa bereizmena hobetzen (Floch *et al.*, 2015a), sistemaren sinplifikazioa bilatzen (Iribas *et al.*, 2016) edo luzera handiagoetarako neurketak lortzeko prestatzen (Floch *et al.*, 2015b) besteak beste.

Bestalde, kontuan izanda BOTDA sistemek beharrezkoak dituzten uhin optiko ezberdinak sortzeko garestiak diren osagaiak erabiltzen dituztela, hala nola, mikrouhin sorgailuak edo erdieroale amplifikadore optikoak (SOA), sentsore hauen erabilgarritasuna zenbait industri sektoretara mugatua dago, zeinetan sentsorearen prezioa arazoa ez den. Horretaz gain, bereizmen espazial txikia izateko beharrezkoa den pultsu azkarren sorrerak sistemaren prezioa eta sinplifikazioa zailtzen du, izan ere, normalean erabiltzen diren SOAk pultsuaren igoera motela aurkeztzen baitute. Horregatik, merkeagoak diren beste teknologiek lehiatzeko, ekonomikoki bideragarria den produktu komertziala lortzeko garrantzia handia du.

2 Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

BOTDA sentsoreen inguruan gaur egun dauden ikerkuntza-lerroak bi multzo nagusitan banandu daitezke. Sentsorearen mugak aztertu eta prestazioak hobetze aldera egiten direnak alde batetik eta sentsorearen teknikaren sinplifikazioa eta hortaz prezioaren murrizketa bilatzen dutenak bestetik.

Luzera handiko neurketak egin ahal izateko BOTDA sentsoreek duten muga nagusia seinale/zarata ratioa (SNR) da. Izan ere, fotodetektagailuan jasoko den seinalea modu egokian neurtu ahal izateko beharrezkoa izango litzatekeen bi seinale optikoen potentzia limitatua baitago zuntz optikoan azaltzen diren efektu ez-lineal ezberdinengatik. Horrela, zuntz optikoan sar daitekeen pultsuaren potentzia optikoa mugatua dago modulazio aldakortasunaren (Alem *et al.*, 2015) efektua dela medio, eta uhin-jarraiarena, aldiz, mugatua dago efektu ez-lokalak (Thévenaz *et al.*, 2013) izenarekin ezagunak diren efektuengatik.

Limitazio horiek gainditu eta BOTDA sentsoreen prestazioak hobetze aldera, hainbat dira egindako ikerkuntza lanak. Hala nola, modulazio aldakortasunaren muga gailentzeko polarizazio ortogonalako pultsuen teknikan (Urricelqui *et al.*, 2015) oinarritutakoa. Efektu ez-lokalak gainditu edo arintzeko maiztasun modulatu duen uhin-jarraian oinarritutako sistema (Ruiz-Lombera *et al.*, 2015). Eta baita SNR hobetzeko coding teknikak (Floch *et al.*, 2015b) erabiltzen dituzten sistemak aztertuak izan dira.

Bereizmen espaziala hobetzeak hainbat ikerketa esfortzu bereganatu izan ditu azken garaian baita ere. Izan ere, sistema ezberdinek ahalik eta neurketa tarte txikienak eskatzen dituzten bitartean, BOTDA eskema konbentzionalekin metro bateko bereizmena lor liteke gehienez. Hau hobetzeko, iraupen akustikoaren limitearen inguruko bereizmenak proposatu izan dira. Azken hau, uhin akustikoaren aurre-eszitazioak BGSren efektua gainditu dezakeenaren printzipioan oinarritzen da. Uhin akustikoaren aurre-eszitazioa hobetzeko azalpen fisiko baten garapenak, BOTDA eskema optimizatuagoa ekarri du, intentsitate pultsu optikoak erabili beharrean fase optikoaren desplazamenduaren erabilera eginik (Foaleng *et al.*, 2010) edo luzera ezberdineko bi pultsuen arteko diferentziaz baliatuz (Floch *et al.*, 2015a).

Bestalde, BOTDA sistemaren sinplifikazioa eta hortaz prezioaren merkatzea bilatze aldera, hainbat dira aurkitzen ahal diren ekarpenak. DFB laser merkeak erabiliz injekzio-blokeo bidez pultsua zein uhin-jarraia sortzen dituzten eskemak erabiltzea (Thevenaz *et al.*, 2004), edo seinale optiko guztiak iturri optiko bakar batez sortzean dautzatenak (Iribas *et al.*, 2016).

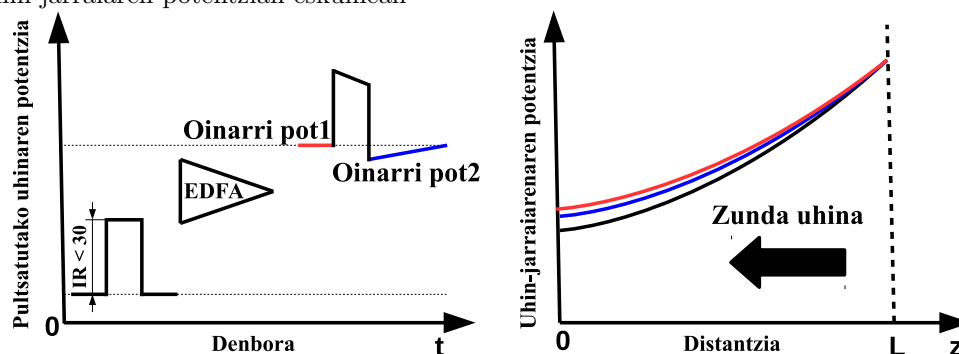
Lan honetan, orain arte aztertu ez den muga berri bat aurkeztuko da, zehazki pultsua sortzeko erabiltzen den sorgailuak daukan iraungitze-ratioak (ER) duen eragina BOTDA sentsoreen prestazioetan. Zeinak garrantzia berezia hartzen duen bereizmen espazial txikiko sistema ekonomikoak sortzerako garaian. Hauek lortzeko modurik sinple eta merkeena pulsatutako uhina Mach-Zehnder modulagailu elektrooptiko (MZ-EOM) baten bidez egitean datza-eta, zeinak ER baxua baitu SOA batekin alderatuta. Aldiz, SOA batekin bereizmen espazial txikia lortzeko ezintasun teknikoa dago, MZ-EOMarekin ez bezala.

3 Ikerketaren muina

BOTDA sentsoreetan, aipatu den bezala, bi uhin optiko kontrako norantzan hedatzen dira, jarraitua den uhin-jarraia eta pulsatuta dagoen pulsatutako-uhina. Hiru dira sistema honek lan egiteko dituen moduak, uhin-jarraia nolakoa den kontuan izanda. Uhin bakarraz osatua dagoenean sistemak irabazian edo galeran lan egin dezake (uhin-jarraiaren maiztasuna pultsuarena baino txikiagoa edo handiagoa izanik hurrenez hurren). Baina baita bi uhin-jarraiak aldi berean erabiltzen dituzten sentsoreak ere badaude, zeinek BOTDA sistemak dituzten desabantail gehienak arintzen dituzten. Guztietan pultsuaren eta uhin-jarraiaren arteko elkar-eragintzatik kalkulatu egiten da puntu horretan zuntz optikoaren tenperatura zein den. Zehazki, pultsuak uhin-jarraiari emandako amplifikaziotik kalkulatu da, zeina ezberdina izango den bi uhinen maiztasun diferentziaren arabera.

Pulsatutako seinalea modu ideal batean pulsu bat baino ez litzateke izango, ordea, pultsua sortzeko erabiltzen diren sorgailu guztiek ER bat dute eta horren arabera pulsu hori jarraitua den oinarrizko potentzia baten gainean izango da, 1. irudian aurkeztzen den bezala. SOA batek 45-50 dB-eko ER daukan bitartean, MZ-EOM batek normalean 20-30 dB artekoa izaten du. Beraz, kontuan izanda zuntz optikoan gehienez sar daitekeen pultsuaren potentzia 20 dBm ingurukoa dela, pultsua sortzeko MZ-EOM bat erabilia gerta liteke kasurik okerrean pultsua 0 dBm-ko potentzia duen uhin optiko baten gainean egotea. Gauzak horrela, aurretik aztertuta dagoen moduan (Zornoza *et al.*, 2010), uhin-jarraiak pultsuak ematen dion amplifikazioa jasotzeaz aparte, oinarriaren potentziarena ere jasotzen du, zeinak modu jarraitu batean amplifikatuko duen uhin-jarraia. Honek neurketari arazo bat ekar diezaiokeen arren, aztertu egin zen arazo hau konpentsatu daitekeela bukaeran jasotzen den seinaleari pulsurik gabe iristen dena kenduta. Lan honetan, lehendik aztertuta ez dagoen ER baxu batek BOTDA sentsoreen prestazioen okertzean duen eragina aztertuko da. Zehazki bi kausa direla-eta: pultsuen potentziaren hustutzeagatik suertatuko dena eta pultsua amplifikatzeko erabiltzen diren EDFA amplifikadoreek duten erantzun iragankorragatik.

1 Irudia: Azalpen teorikoa: ER baxu bateko pultsua EDFA batek amplifikatua ezkerrean eta honen eragina uhin-jarraiaren potentzian eskuinean



3.1 Oinarri teorikoak

Irabazian funtzionatzen duen sistema batean pulsuak uhin-jarraia amplifikatzen duen bezala uhin-jarraiak pultsua potentziaz hustutzen du ere bai. Aztertu egin zen (Thévenaz *et al.*, 2013) pultsua %20 hustu ezkerro neurketan gradu bateko akatsa eragiten dela, eta pulsuaren hustutzea zuntz optikoaren propietateekin eta uhin-jarraiaren potentziarekin erlazionatua dagoela.

Beraz, kontuan izanda pulsatutako-uhinaren oinarri potentziak uhin-jarraia amplifikatzen duela pul-

tsuaren hustutzea areagotu egingo da. Horiek horrela ez da bakarrik kontuan hartu beharko sarrerako potentzia baizik eta zenbat aldatuko den uhin-jarraia pulsatutako-uhinaren oinarriaren eraginez. Hor-taz, honek suposatzen du zuntz optikoaren hasieran uhin-jarrai potentzia gutxiago sartzen ahalko dela, eta, beraz, sentsorearen SNR okertuko dela. 1. taulan aurkezten da erabiltzen den sistemaren arabera (irabazian, galeran edo bi uhin-jarrai dituen sistema) zenbatekoa den sar daitekeen uhin-jarrai poten-tzia ER balio ezberdinetarako, zuntz optiko estandarraren balioak erabilia ($g_B = 1.65 \times 10^{-11} \text{ m/W}$, $A_{eff} = 80 \times 10^{-12} \text{ m}^2$, $\alpha^{-1} = 22 \times 10^3 \text{ m}$).

1 Taula: Uhin-jarrai potentzia erabilitako sistemaren eta ERren arabera.

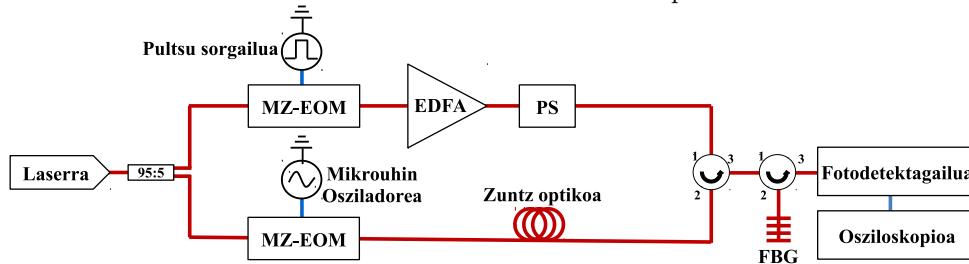
	ER= ∞	ER=30	ER=25	ER=20
Irabazian dagoen sistema	50 μW	50 μW	49 μW	43 μW
Galeran dagoen sistema	50 μW	40 μW	41 μW	43 μW
Bi uhin-jarrai sistema	616 μW	260 μW	115 μW	30 μW

Beste alde batetik, kontuan hartu beharrekoa ere bada 20 dBm-ko potentzia pulstua lortu ahal izateko beharrezkoa dela EDFA amplifikadore bat erabiltzea, eta EDFA guztiek erantzun iragankor bat aurkezten dutela pulstuak amplifikatzerako garaian (Sun *et al.*, 1997). Gauzak horrela, 1. irudian aurkezten den mo-duan, EDFaren eragina dela medio pulstuaren aurretik dagoen pulsatutako-uhinaren oinarri potentzia eta pulstua eta gero dagoena ezberdinak izango dira. Potentzia ezberdintasun honek amplifikazio ezber-dina emango dio uhin-jarraiari, eta, beraz, jasoko den Brillouin traza desitxuratua azalduko da. Honek sentsoreak duen zehastasunean eragingo du erabiltzen den EDFaren arabera akats ezberdina sortuz.

3.2 Emaizta esperimentalak

Azaldutako efektuek BOTDA sentsore batean duten eragina aztertu ahal izateko, 2. irudian aurkezten den eskema esperimentala muntatu egin zen. Iturri optiko moduan 1559.6 nm-ko DFB laser bat erabili zen, zeinaren irteera, beharrezkoak diren bi uhin optikoak sortzeko, hargune anitzeko fotoakoplagailu baten bidez bitan banatu zen. Goiko bidetik, pulsatutako-uhina sortzeko 20-30 dB-eko ER duen MZ-EOM bat erabili zen, zeina pulstu sorgailu baten seinalearekin gidatua zegoen. Behin pulsatua izan beharrezkoa den 20 dBm-ko potentzia pulstua izateko seinalea amplifikatua izan zen EDFA bat erabiliz. Pulsatutako-uhina azterketarako erabili zen 25 km-ko zuntz optikora iritsi aurretik polarizazio scrambler (PS) baten bidez ausazko balioa eman zitzaion, polarizazio aldaketak sor ditzakeen seinalearen gorabeherak ekidin aldera.

2 Irudia: BOTDA sentsorearen eskema esperimentala

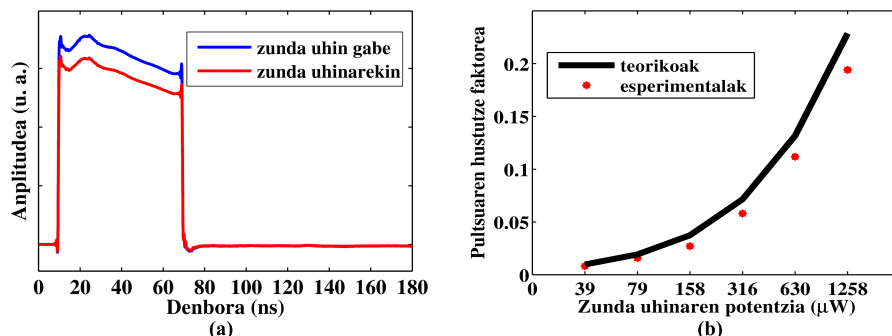


Beheko aldetik, beste MZ-EOM bat erabili zen uhin-jarraia sortzeko, zeina mirouhin sorgailu baten bidez modulagailua BFS mazitasunaren inguruan modulaturaz lortu zen. Bi uhin-jarraiko sistema erabili zenez, modulaziotik ateratako bi alboko bandak erabili ziren, baina irabazian zein galeran lan egiten duen sistema erabiltzeko aski litzateke bi bandetako bat iragaztearekin. Horren ostean, eta zuntz optikoan sartu aurretik, atenuadore optiko aldakor bat erabili zen uhin-jarraiaren potentzia kontrolatzeko. Bukatzeko, uhin-jarraia banda estuko iragazki (FBG) baten bidez iragazia izan zen 125 MHz-ko fotodetekttagailu baten bidez detektatuta izan aurretik. Zehazki galerako uhin-jarraia iragazia izan zen irabaziko sistema aztertu ahal izateko.

ERk zer nolako eragina duen pulstuaren potentzia hustutzean aztertzeko, bai ERren balioa zein uhin-jarraiaren potentzia aldatuz neurketa ezberdinak egin ziren, 60 ns-ko eta 20 dBm-ko potentzia

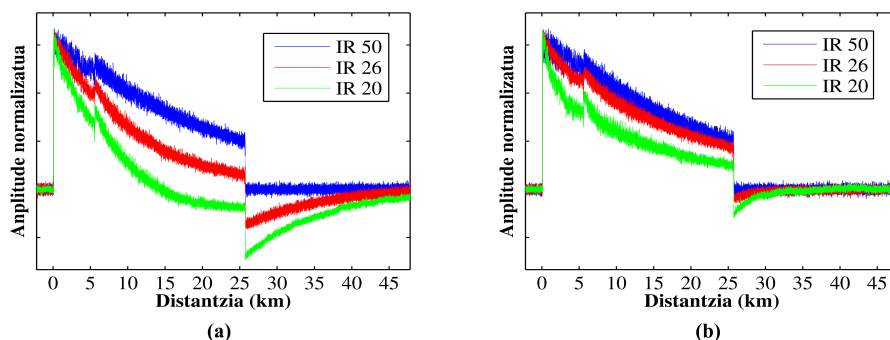
pultsua mantenduz. Pultsuaren hustutzea neurtzeko, zuntzaren irteeran pultsuak beste fotodetektagailu batekin jaso ziren, zehazki 11 GHz-ko fotodetektagailu batekin, eta gero hustutze ehunekoa kalkulatu zen. 3. irudiaren (a) atalean bi pultsu erakusten dira, uhin-jarririk gabe iritsiko zen pultsua (hau da, soilik zuntzaren atenuazioa jasango zuena) eta ER 25 baliorako eta uhin-jarraia -13 dBm-ko potentzia duenaren pultsua. Argiki ikus daiteke pultsuak jasandako potentzia galera, zeina kalkulatuta %10ekoa den. 3. irudiaren (b) atalean, aldiz, ER 25 baliorako pultsuak jasaten duen hustutze faktorea erakusten da uhin-jarrai potentzia ezberdinentzako, zeinak kalkulaturako balio teorikoekin (zuntzaren $g_B = 0.63 \times 10^{-11} \text{ m/W}$ balioa) nahikoa parekotasuna aurkezten duten. Emaiza aldea teorikoki zuntz optikoaren BFSa lautzat hartu izanaren eta benetako zuntzek horrelakorik ez izatean argudiatu daiteke.

3 Irudia: (a) Jasotako pultsua hustutzerik gabe eta ER 25eko balioak ematen dion hustutzearekin eta (b) ER 25rentzako hustutze faktorea uhin-jarrairen potentziaren arabera.



Bukatzeko, EDFaren eragina aztertu ahal izateko, bi EDFA ezberdin erabili ziren ER ezberdinentzako uhin-jarrai potentzia berdina mantenduz (-18.5 dBm). 60 ns-ko eta 20 dBm-ko potentzia zeun pultsua erabili zen oraingoan ere eta ER altua izateko 50 dB-eko ER duen SOA bat erabili zen (zeina erreferentziatzko baliozat har daitekeen). 4. irudian ER ezberdinak erabilita jasotako BOTDA trazak erakusten dira, (a) atalean 2 etapako EDFA bat erabiliz eta (b) atalean, ordea, 3 etapako EDFA batekoak erakusten dira. Lortutako traza ezberdinetan argiki ikusten da ER txikitzen joan ahala handiagoa dela trazaren deformazioa. Eta baita EDFA bakoitzak eragin ezberdina duela ere. Deformazio honek egindako neurketan zer nolako akatsa sortzen duen aztertzeko zuntzaren azken 20 metroak ganbera klimatiko batean sartu eta laborategiko tenperatura baino 10° C gehiagoko tenperaturaren jarri ziren lehenengo EDFarentzako. ER 20ko kasuan neurtzerik ezin zen (13. km-tik aurrera ezin baitzen neurtu) eta ER 26-ko kasuan 7° C -koa zen sortutako akatsa.

4 Irudia: BOTDA trazak ER balio ezberdinetarako: (a) bi etapako EDFA erabiliz eta (b) 3 etapakoa.



4 Ondorioak

BOTDA sentsoreetan pultsatutako-uhinaren oinarri potentziak duen eragina aztertu egin da lehendabiziko aldiz, eta ikusi ahal izan da pultsuaren potentzia hustiapena azkartzen dela, hortaz, mugatu egiten

dela zuntz optikora sar daitekeen uhin-jarraiaren potentzia. Horrekin batera, EDFAk duten erantzun iragankorra dela-eta zer nolako eragina duen aztertu egin da. Ikusi da kalkulaturako trazetan eragin handia duela, ER zenbat eta txikiagoa izanda orduan eta akats handiagoa sortuz. Bukatzeko, tenperatura azterketa batean zer nolako akatsa sortzen den aztertu egin da ondorioztatuz EDFA bakoitzaren arabera eta ERren arabera akatsa handiagoa bilakatzen dela, zenbait kasutan neurketa egitea ezinezkoa bilakatuz.

5 Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Behin pulsatutako uhinaren ERk dakartzan mugak aztertuta, hurrengo urratsa muga hau gainditzeko teknika ezberdinen azterketa izango da. BOTDA sentsoreen bereizmen espaziala hobetzeko moduekin batera sentsorearen prezioa murrizteko aukera gauzatuz. Horrela, BOTDA sentsoreek gaur egun sarbidea ez duten eremu eta aplikazio industrialetara iritsi ahal izateko. Lehenengo urratsa, aurkeztutako mugaren modelo teorikoa egitea izango da, egoera ezberdinetan sentsorearen errendimenduan izango duen eragina egoki aztertu ahal izateko. Hori eginda, hurrengo urratsa pulsatutako-uhinaren oinarri potentziaren eragina lehunduko duten teknika ezberdinak aztertzea izango da.

Erreferentziak

- ALEM, M., M. A. SOTO, eta L. THÉVENAZ. 2015. Analytical model and experimental verification of the critical power for modulation instability in optical fibers. *Optics Express* 23.29514–29532.
- FLOCH, S. L., Z. YANG, F. SAUSER, M. A. SOTO, eta L. THÉVENAZ. 2015a. Differential chirped-pulse pair for sub-meter spatial resolution Brillouin distributed fiber sensing. In *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, volume 9634.
- FLOCH, SÉBASTIEN LE, FLORIAN SAUSER, MIGUEL LLERA, eta ETIENNE ROCHAT. 2015b. Novel Brillouin Optical Time-Domain Analyzer for Extreme Sensing Range Using High-Power Flat Frequency-Coded Pump Pulses. *J. Lightwave Technol.* 33.2623–2627.
- FOALENG, S. M., M. TUR, J. BEUGNOT, eta L. THÉVENAZ. 2010. High spatial and spectral resolution long-range sensing using Brillouin echoes. *Journal of Lightwave Technology* 28.2993–3003.
- IRIBAS, H., J. URRICELQUI, J. MARÍÑELARENA, M. SAGUES, eta A. LOAYSSA. 2016. Cost-Effective Brillouin Optical Time-Domain Analysis Sensor Using a Single Optical Source and Passive Optical Filtering. *Journal of Sensors* 2016.
- RUIZ-LOMBERA, R., J. URRICELQUI, M. SAGUES, J. MIRAPEIX, J. M. LÓPEZ-HIGUERA, eta A. LOAYSSA. 2015. Overcoming Nonlocal Effects and Brillouin Threshold Limitations in Brillouin Optical Time-Domain Sensors. *IEEE Photonics Journal* 7.
- SUN, Y., J. L. ZYSKIND, eta A. K. SRIVASTAVA. 1997. Average inversion level, modeling, and physics of Erbium-Doped Fiber Amplifiers. *IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics* 3.991–1007.
- THEVENAZ, L., S. LE FLOCH, D. ALASIA, eta J. TROGER. 2004. Novel schemes for optical signal generation using laser injection locking with application to Brillouin sensing. *Measurement Science and Technology* 15.1519–1524.
- THÉVENAZ, L., S. F. MAFANG, eta J. LIN. 2013. Effect of pulse depletion in a Brillouin optical time-domain analysis system. *Optics Express* 21.14017–14035.
- URRICELQUI, J., M. ALEM, M. SAGUES, L. THÉVENAZ, A. LOAYSSA, eta M. A. SOTO. 2015. Mitigation of modulation instability in Brillouin distributed fiber sensors by using orthogonal polarization pulses. In *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, volume 9634.
- ZORNOZA, A., D. OLIER, M. SAGUES, eta A. LOAYSSA. 2010. Brillouin distributed sensor using RF shaping of pump pulses. *Measurement Science and Technology* 21.

6 Eskerrak eta oharrak

Lan honen egileek eskerrak eman nahi dizkiete Espainiako Zientzia eta Berrikuntza Ministerioari (TEC2013-47264-C2-2-R proiektuaren bitartez), EEGF funtsei eta Nafarroako Unibertsitate Publikoari emandako laguntza ekonomikoengatik.

Gorputz-anitzeko sistemen modelizazioa operadore errekurtsibo eta espresioen atomizazioaren bidez.

Aitor Plaza Puértolas eta Javier Ros Ganuza

Xabier Iriarte Goi eta Jokin Aginaga Garcia¹

Nafarroako Unibertsitate Publikoa. Arrosadia Kanpusa z/g, 31006 Iruñea

Laburpena

Artikulu honetan laburtzen da artikulu honen egile baten tesiaren zati bat. Tesia gorputz-anitzeko sistemen dinamikaren arloan kokatzen da, hain zuzen ere modelizazio sinbolikoan eta bertan deskribatzen dira kontuan hartu beharreko teknika batzuk nahi bada “kalitatezko” modeloak lortzea. Azkenen helburua da modelo hauek denbora-erleko aplikazioetan erabiltzea. Artikulu honetan deskribatzen dira modu eskematiko batean zeintzuk diren teknika horiek eta zein den haien garrantzia modeloaren kalitatean.

Hitz gakoak: gorputz-anitzeko sistemak, modelizazio sinbolikoa, denbora-erreal

Abstract

In this paper one of the author summarizes a part of his PhD. thesis. This thesis is focused on the Multibody Systems Dynamics field, specially on symbolic modeling task. In the thesis are described some techniques and algorithms that should be used if quality multibody models are desired. The main target is use these models in real-time applications. In this paper these techniques and their influence in good symbolic models will be described in a schematic way.

Keywords: multibody systems, symbolic modeling, real-time

1. Sarrera eta motibazioa

Denbora-erreal kontzeptua arlo ezberdinetan oso erabilia izan da, batez ere arlo teknikoetan. Batez ere, gorputz-anitzeko sistemen dinamikaren (GSD) arloan erraten da kalkulu bat denbora-errelean egin ahal dela sistemaren estatua momentu batean aitzineko beste momentu batetik kalkulatzen bada bi momentu horien denbora diferentzia baino azkarrago.

Egun, GSDren arloan denbora-errealeko modeloak ezinbesteko tresna bat bilakatu dira hainbat aplikazioetan: simulazioa, kontrol prediktiboa, “Hardware in the Loop”, estimazio errekurtsiboa (Kalman iragazketa) eta abar. Denbora-errealeko funtzionamendua nahi bada, besteak beste hiru osagai hauek kontuan hartu behar dira (De Jalon eta Bayo, 2012) konputazio-sistema, integrazio metodoak eta modelo deskribatzen duten funtzioen “kalitatea”. Alde batetik, modeloek konputazio-sistema batean funtzionatu dute eta hauek izan behar dira ahalik eta azkarrenak. Beste aldetik, integrazio metodo ezberdinak (inplizitua, esplizitua, pausu-anitzekoa, ...) egonkorak eta karga konputazional gutxikoak izan behar dira, kalkuluak ere ahalik eta azkarren egiteko. Azkenik, modeloen “kalitatea” ona izan behar da, hau da, modelo deskribatzen duten funtzioen (konputazio-sisteman erabiltzeko kodea) ebaluazio numerikoak¹ kalkulu kopuru optimo (minimo) bat izan behar du.

GSDren simulazio numerikoetan agertzen diren funtzio tipikoak (Jacobtararak, masa matrizea, indar orokortuen bektorea eta abar...) modelizazio sinboliko zein numerikoaren bidez lortzen ahal dira. Hainbat autorek (Fisette eta Samin, 2003; Schmitke eta Goossens, 2011; Gil, 2005) erakutsi duten moduan, metodo sinbolikoak² oso eraginkorra den kodea sortzeko balio du eta, gehienetan, bere eraginkortasunak kode ez-sinbolikoarena (numerikoa) gainditzen du. Honi gehitu behar zaio modelo numerikoetan ez bezala (simulazio pausu bakoitzean modelo sortu behar da) modelo sinbolikoak bakarrik behin sortu behar direla eta honek simulazioari arintasuna ematen dio.

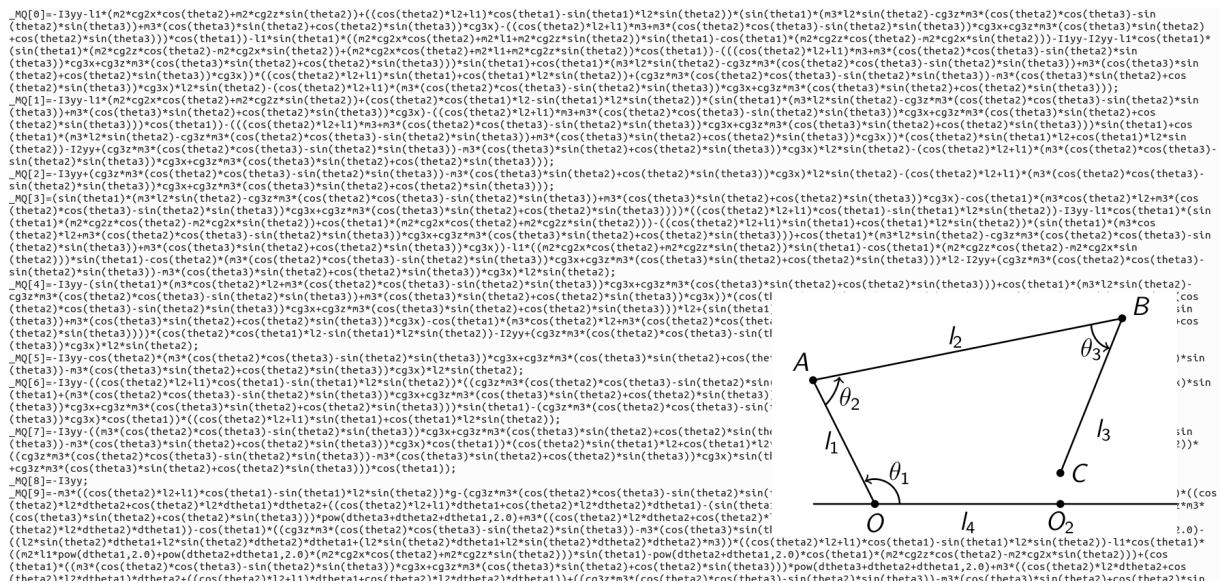
¹Ebaluazio numerikoa deitzen zaio funtzioetan kodearen aldagaiak bere zenbakizko balioekin ordezkatzeari eta datu horiek operatzeari.

²Metodo sinbolikoek kalkuluak egiten dituzte sinboloen bidez, hau da, letrak eta zenbakien bidez. Adibidez: $a + 2a = 3a$

Hala eta guztiz ere, sistemaren funtzioak modu sinboliko batez sortzea konplexutasun handiko lan bat izaten ahal da, batez ere, sistemak konplexuak (eta ez hain konplexu) direnean. Hau da, zalantzarik gabe, modelizazio sinbolikoaren botila-lepoa. Lan zama handi honek bi arrazoi nagusi ditu. Alde batetik, existitzen da ongi ezaguna den “espresio sinbolikoen ezteandaren” arazoa non espresio sinbolikoaren tamaina erraldoia bilakatzen den ezinezkoa bilakatuz haiekin lan egitea. Eta beste aldetik, hainbat espresio sinboliko ezberdinetan agertzen ahal direlako errepikatzen diren azpi-espresioak³. Ez da komenigarria espresio bera bi aldiz (edo gehiago) ebaluatzea beraz espresio hauek bilatu eta identifikatu egin behar dira erraldoia izaten ahal den espresio multzo batean eta honek ere izugarritzko karga konputazional eskatzen du.

1 irudiak erakusten du aski ezaguna den “lauki artikulatua” mekanismoa eta bere masa matrizea gehi indar orokortua bektorea. Matrize (funtzio) honen tamaina 3×4 da eta ikusten ahal denez, bere ebaluazio numerikoa gauzatzeko operazio aunitz egin behar dira, 2326 operazio hain zuzen ere.

1 Irudia: Lauki artikulatu baten masa matrizea eta indar orokortuen bektorea.



Irudi honek laburbiltzen du lan honen motibazioa zein izen den, hau da, modelo simple baten kodeak horrelako itxura baldin badu, nolako izanen da modelo askoz handiago batena?

2 Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Modelizazio sinbolikoa beti errobotikaren munduarekin oso lotuta izan da (Kircanski *et al.*, 1993) eta esparru honetan 80ko hamarkadan garatu ziren lehendabiziko formulazio errekursiboak (Featherstone, 1983) zeinek optimoa zen kodea sortzea zuten helburu. Garai hartako konputazio-sistemak oso mugatuak zirez garrantzi handia eman zion kode optimoa lortzeari. Geroztik, konputazio sistemen potentzia haztearekin batera, modelizazio sinbolikoa erori zen modelizazio numerikoaren alde.

Hala ere, azken urte hauetan goraka bat izan du batez ere errobotikaren esparruaren kanpo, denbora-erreal kontzeptua beste arlo batzuetan sartu izan delako, batez ere aplikazio aunitzetan ingeniaritzaren esparruan. Abiabidez, makinak ingurune birtual batean kontroladore erreal batekin simulatzeko (Ros *et al.*, 2013), trenetan gupila eta karrilaren arteko kontaktu puntua aurkitzeko (Falomi *et al.*, 2011) edota gidari baten portaera simulazio batean testatzeko (Shiiba, 2007).

Gaur egun existitzen dira GSDren simulazioetarako kodea sortzeko software pakete sinboliko ezberdin

³ Adibidez hurrengo espresioak, $a = l \sin(\theta)k + 2(m \cos(\theta) + l \sin(\theta))^2$, errepikatzen den azpi-espresio bat, $l \sin(\theta)$, du.

batzuk (Robotran⁴, MapleSim⁵, Neweul-M²⁶, Wolfram SystemModeler⁷ besteak beste). Bakoitzak aurreko atalean aipatutako bi arazo horiek modu ezberdin batean tratatzen ditu, arrakasta maila ezberdinak lortuz. Hala ere, programa hauek badituzte indarguneak zein desabantailak.

Adibidez, programa batzuek lortzen dute ezagunak diren formulazio errekurtsiboak eta koordinatu erlatiboak erabiliz. Horrela saihesten dute errepikatzen diren azpi-espresioen bilaketa, karga konputazionala txikiagotuz (hau da Robotran-en indargune bat). Honek, nolabait, konprometitzen du software-n orokortasuna, erabiltzailea formulazio zehatz bat erabiltzera behartuta baitago, beste formulazioen abantailak alde batera utziz. Pentsa dezagun, abidinez, Lagrange-n formulazioa batean koordinatu absolutuekin.

Arrazoi honengatik, gorputz-anitzeko sistemen modelizazioa gauzatzeko kode sinbolikoaren pakete orokorrak (MAPLE⁸, MATLAB Sybolic Toolbox⁹ edota Sympy¹⁰) erabili izan dira. Adibidez, programa batzuek aurreko pakete sinbolikoetan oinarrituta daude, MapleSim (MAPLE) eta Neweul-M² (MATLAB Sybolic Toolbox). Baina, pakete sinboliko hauek orokorrak izateagatik, ez dira gai gorputz-anitzeko sistemen optimizazio guztiak gauzatzeko, optimoa ez den kodea sortuz.

Lan honek helburu ezberdin batzuk ditu eta haiei aurre egiteko oinarritzko teknika eta algoritmo ezberdin batzuk deskribatzen dira. Hauen xedea, alde batetik, GSDren ekuazioak (eta beharreko kode funtzioak) kalitatezkoak sortzekoa da, denbora-errealeko aplikazioetan erabil daitezzen. Beste aldetik, modelizazioa modu eraginkor batean egin beharko da, modelizazio sinbolikoa aipatutako botila-lepoa izan ez dadin. Azkenik, hauek baliagarriak izan behar dira edozein formulazio eta edozein koordinatu mota erabili nahi bada, erabiltzaileak erosoago sentiarazten duen teknika erabil dezan. Hau da, gai izan behar dira gorputz-anitzeko sistemen duen topologiatik abantaila guztia ateratzeko, formulazio eta koordinatu menpekoak izan gabe.

Teknika eta algoritmo hauek LIB3D-MEC-GiNaC (J. Ros, 2007) GSDrako programa-liburutegia sinbolikoan programatuak izan dira.

3 Ikerketaren muina

Sekzio honetan deskribatzen dira ikerketan honen ondorio diren teknika eta algoritmo sinbolikoak. Hauek sakondu nahi bada, artikulua honen tesian (Plaza, 2016) aurkitzen ahal dira.

3.1 Atomizazioa

Arlo honetan “Atomizazioa” deitzen diogu espresio sinboliko multzo batean errepikatzen diren azpi-espresioak kudeatzen dituen teknikari. Atomizazioak azpi-espresio hauek bilatzen ditu eta aldagai balioak batengatik ordezkatzen ditu. Kontzeptu hau lan honetan oinarritzkoa izan denez, hurrengo adibideak lagunduko du hobeki ulertzeko.

Izan dadila hurrengo bektore sinbolikoa, bi espresio sinbolikoek osatuta:

$$\delta = \begin{bmatrix} -F_b + \sin(-\theta) l_p m_p \dot{\theta}^2 c_{vis} \dot{x} \\ M_p + (\theta - \theta_0) k - \sin(-\theta) l_p g m_p \end{bmatrix} \quad (1)$$

Multzo honetan badago errepikatzen ari den azpi-espresio bat: $\sin(-\theta) l_p m_p$, hain zuzen ere.

Beraz, hau aldagai laguntzaileen, α_1 y α_2 , bidez izaten ahal da ordezkatuta¹¹:

⁴Web orria: www.robotran.be/

⁵Web orria: www.maplesoft.com/products/maplesim/index.aspx

⁶Web orria: www.itm.uni-stuttgart.de/research/neweul/neweul_en.php

⁷Web orria: www.wolfram.com/system-modeler/

⁸Web orria: www.maplesoft.com

⁹Web orria: mathworks.com/products/symbolic.html

¹⁰Web orria: www.sympy.org/

¹¹Ikusi hau ez dela aukera bakarra

$$\begin{aligned}
\alpha_1 &= l_p \ m_p \\
\alpha_2 &= \sin(-\theta) \ \alpha_1 \\
\delta &= \begin{bmatrix} -F_b + \alpha_2 \ \dot{\theta}^2 \ c_{vis} \ \dot{x} \\ M_p + (\theta - \theta_0) \ k - \alpha_2 \ g \end{bmatrix}
\end{aligned} \tag{2}$$

δ bektorea ebaluazio numerikoa gauzatzean, azpi-espresio ber-ebaluazioa saihesten da, $\sin(-\theta) \ l_p \ m_p$ espresioa bakarrik behin ebaluatu behar baita α_2 balio numerikoa lortuz. Gero $\alpha_2 \ \delta$ bektorean agertzen den tokian ordezkutzen da. Kasu sinple honetan, honek lau operazio (hiru biderketa eta sinu bat) aurretzen ditu eta gainera espresioaren errepresentazioa txikiagoa da 1 ekuazioan baino.

Arlo honetan aldagai baliokide horiei “atomoak” deitzen zaizkie. Garrantzitsua ikustea atomo bakoitzak jadanik partzialki atomizatuta izan den azpi-espresio bat adierazten ahal duela, adibidean gertatzen den bezala. Atomizazioaren kontrako prozedurari des-atomizazioa deitu zaio, hau da, atomizatua den espresio batetik jatorrizko espresioa lortzeari.

3.1.1 Sortu ahaleko atomizazioa

Atomizazioak erraldoia izaten ahal den espresio multzo batean errepikatzen diren azpi-espresio guztiak bilatzea eta ea errepikatzen diren ikustea eskatzen du. Lan hau, konputazionalki oso pisutsua da konbinazioa kopurua ere erraldoia izaten ahal baita. Horregatik atomizazio prozesua arintzeko lan honetan “sortu ahaleko atomizazioa” asmatua izan zen.

Idea ea da konplikaturia, operazio aljebraiko bat (batuketa/kenketa eta biderketa/zatiketa) edo funtzio matematiko (sin edo cos) bat egiten den aldi guztietan atomo bat sortzen da.

Atomizazio teknika aplikatzen bada 1 irudiak erakusten duen sisteman funtzio bera optimizatua lortzen da. Kasu honetan bakarrik ebaluazio numerikoak 285 operazio behar ditu. Adibide gisa, hurrengo kode zerrendak erakusten du zein den funtzio honen itxura.

Zerrenda 1: Lauki artikulatu baten masa matrizea eta indar orokortuen bektorea. Atomizatua

```

atom15 = sin(theta1);
atom101 = -l2*atom27;
atom26 = cos(theta2);
atom100 = atom26*12;
atom14 = cos(theta1);
atom102 = l1+atom100;
atom193 = -atom15*atom101;
atom1 = sin(theta3);
atom0 = cos(theta3);
atom127 = -atom1*atom27+atom26*atom0;
atom43 = cg3z*m3;
atom42 = cg3x*m3;
atom130 = atom1*atom26+atom27*atom0;
atom137 = -atom42*atom130+atom127*atom43;
atom514 = -atom101*m3-atom137;
atom134 = atom43*atom130+atom127*atom42;
atom517 = atom134+atom102*m3;
atom521 = -atom514*atom15;
atom195 = atom193-atom14*atom102;
atom523 = atom521+atom14*atom517;
atom190 = atom14*atom101;
atom515 = atom514*atom14;
atom192 = atom190-atom15*atom102;
atom519 = atom15*atom517+atom515;
atom24 = m2*cg2x;
atom25 = cg2z*m2;
atom75 = atom24*atom26+atom27*atom25;
atom501 = atom75+l1*m2;
atom78 = -atom24*atom27+atom26*atom25;
atom499 = -atom14*atom78;
atom186 = -l1*atom15;
atom505 = atom78*atom15;
atom187 = -l1*atom14;
atom511 = -l2yy-l1*atom75;
atom526 = atom101*atom137;
atom529 = -atom526-atom134*atom102-l3yy;
atom540 = atom134+atom100*m3;
atom545 = atom14*atom540+atom521;
atom542 = atom540*atom15+atom515;
atom550 = -atom526-atom100*atom134-l3yy;
atom554 = -atom14*atom137+atom134*atom15;
atom558 = atom15*atom137+atom14*atom134;
atom99 = l2*dtheta2;
atom106 = -atom26*atom99;
atom585 = dtheta1*(atom106-dtheta1*atom102)
          +(atom106-atom100*dtheta1)*dtheta2;
atom107 = -atom27*atom99+dtheta1*atom101;

atom124 = dtheta3+dtheta2+dtheta1;
atom591 = -atom589*m3+(atom124*atom124)*atom137;
atom587 = -atom585*m3+(atom124*atom124)*atom134;
atom593 = atom15*atom591+atom14*atom587;
atom597 = -atom15*atom587+atom14*atom591;
atom71 = dtheta2+dtheta1;
atom70 = -l1*(dtheta1*dtheta1);
atom574 = (atom71*atom71)*atom75-atom70*m2;
atom82 = (atom71*atom71)*atom78;
atom57 = -g*m3;
atom30 = -atom27*atom15+atom26*atom14;
atom33 = atom14*atom27+atom26*atom15;
atom46 = atom30*atom0-atom33*atom1;
atom49 = atom1*atom30+atom33*atom0;
atom40 = g*(atom24*atom30+atom33*atom25);
atom56 = g*(atom46*atom42+atom49*atom43);
atom92 = atom70*atom78;
atom602 = -atom589*atom134+atom585*atom137;
atom253 = atom46*Fz3-atom49*Fz3;
atom250 = Fx3*atom46+atom49*Fz3;
atom200 = atom193-atom100*atom14;
atom198 = atom190-atom100*atom15;

MQ[0] = -l1yy+atom511+(atom501*atom15+atom499)
        *atom186+atom195*atom523+atom187*(atom501
        *atom14+atom505)+atom529+atom192*atom519;
MQ[1] = atom523*atom200+atom511+atom198*atom519+atom529;
MQ[2] = atom529;
MQ[3] = (atom75*atom15+atom499)*atom186+atom192*
        atom542+atom550-l2yy+atom195*atom545+atom187
        *(atom505+atom14*atom75);
MQ[4] = atom545*atom200+atom198*atom542+atom550-l2yy;
MQ[5] = atom550;
MQ[6] = atom554*atom192+atom195*atom558-l3yy;
MQ[7] = atom200*atom558+atom198*atom554-l3yy;
MQ[8] = -l3yy*(atom574*atom15-atom82*atom14)*atom187-
        -atom192*atom593+atom92-atom195*atom597+
        (atom574*atom15-atom82*atom14)*atom187-
        g*(m1*atom15*cg1z+cg1x*atom14*m1)-My2-
        atom40+atom602-atom195*atom57-(Fx2*atom30+
        atom33*Fz2)*atom186+g*m2*atom187-atom250*atom192-
        My3+(Fx2*atom33-Fz2*atom30)*atom187-(atom82*
        atom15+atom14*atom574)*atom186-atom195*atom253
        -atom56;
MQ[10] = -atom250*atom198+atom92-atom198*atom593-My2-
        atom40-atom253*atom200+atom602-My3-atom597*atom200
        -atom56-atom57*atom200;
MQ[11] = atom602-My3-atom56;

```

3.2 Operazio sinbolikoak

Espresio sinbolikoekin lan egitean ohikoa da, batez ere GSDren arloan, deribazio eta ordezkatzeko operazioak ere gauzatu behar izatea. Lan honetan operazio hauek optimizatuak izan dira ez dadin derrigorrezkoa izan espresioa des-atomizatzea operazio bera gauzatzeko. Hortaz aparte, emaitza (espresio bat atomizatua) modu optimoan atomizatua lortzen da.

Horrelako operadore bereziekin lan egiteak nagusiki bi abantaila ditu, alde batetik, ez da denbora galtzen des-atomizazio→deribazio/ordezkatze→atomizazio prozesuan eta, beste aldetik, jatorrizko atomizazioa mantentzen da (azpi-espresio berdinak berdin atomizatuta daude).

Hau dela eta, lan honetan espresio baten deribazio eta ordezkatzeko operazioak gauzatzeko bi algoritmo errekurtsibo garatu dira. Hauek funtzionatzen dute espresio atomizatuak, partzialki atomizatuak eta ez atomizatuak modu berdinean. Algoritmo hauek lan honen autorearen tesian aurkitzen ahal dira.

3.3 Kodearen sorkuntza

Erran den bezala, azken helburua GSDren simulazioak gauzatzeko kode optimoa sortzearena da. Hau da, hainbat funtzio¹² lortu behar dira.

Helburu honekin hurrengo prozedura segitzea gomendatzen da lan honetan:

1. Sinbolikoki funtzioa lortu GSDren printzipioak eta sortu ahalako atomizazioa erabiliz. Funtzio bakoitza espresio sinboliko multzo batek osatzen du.
2. Funtzio hori atomo multzo baten menpekota izan behar da. Atomo hauek identifikatu behar dira. Kontuan izan behar da atomo bat beste atomoen menpekota izaten ahal dela, beraz prozedura errekurtsibo bat behar da.
3. Funtzioa osatzen duten espresioetan atomo errepikatuak egoten ahal dira. Hauek identifikatu behar dira eta eliminatu.
4. Azkenik, kodea optimizatu asmoz, bakarrik behin agertzen diren atomoak¹³ bere espresioengatik ordezkatzeko gerta daiteke atomo batzuk bakarrik behin agertzea,

Autorearen tesian prozedura hau segitzeko algoritmo multzo bat proposatzen da.

3.4 Gorputz-anitzeko sistemen topologia: Operadore errekurtsiboak

Orain arte deskribatu diren teknika eta algoritmo guztiak orokorrak izan dira, hau da, GSDren arloan zentratuta badaude ere, beste arlo batean aplikagarriak dira, konputazio sinbolikoa egin behar denean.

Aurkeztutako teknikak (eta batez ere atomizazioa) oraindik osatzen ahal dira GSDren munduak dituen ezaugarriekin. Hain zuzen ere, sistemen topologiari erreparatzen bada ikusten da bere baitan dagoen “errekurtsibitatea” sortu ahalako atomizazioarekin batera kode optimoa lortzeko laguntzen duela.

Helburu honekin proposatzen da ohiko gorpuz-anitzeko sistemen zuhaitz-estruktura (gorputzez edota erreferentziaz osatua. Irudia 2a) bitan zatitzea. Hau dela eta, bi zuhaitz-estruktura definitzen dira, bata puntuz osatua (Irudia 2c) eta bestea basez(orientazioz. Irudia 2b) osatua.

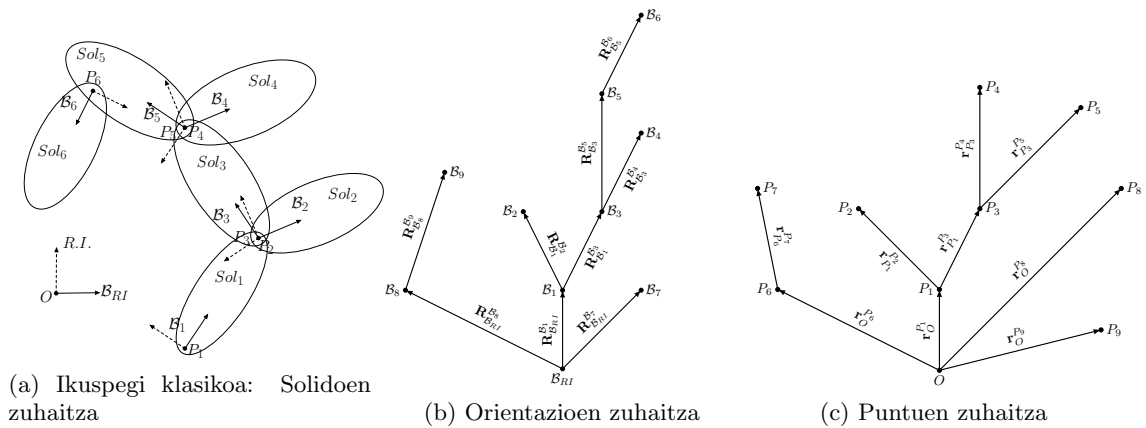
GSDren agertzen diren operazio tipikoak (posizio bektorea, errotazio-matrizeak, abiatura bektoreak eta azelerazio bektoreak) konputatzeko bi estruktura berri hauek erabiltzen diren operadore errekurtsibo multzo bat definitu da. Operadore hauek gai dira sistemak duen “errekurtsibitate” ateratzeko optimizazio guztiak, kontuan hartu gabe zein den erabiltzen ari den formulazioa.

Bi zuhaitzen zatiketaren esker eta aurreko operadoreak erabiliz operazio sinboliko guztiak modu berdinean egiten direla ziurtatzen da. Honek ondorio garrantzitsu bat du, atomoak modu berdinean sortu direla eta, beraz, atomoen “birziklapena” maximizatuko dela. Azken honek lotura zuzena du sortutako kodearen kalitatearekin.

¹² Arlo honetan tipikoak dira hurrengo funtzioak: $\mathbf{M}(\mathbf{q}), \delta(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}), \Phi(\mathbf{q}), \dot{\Phi}(\mathbf{q}), \beta(\mathbf{q}), \gamma(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$

¹³ Sortu ahalako atomizazioak atomo aunitz sortzen ditu. Gerta daiteke batuk espresio sinbolikoetan bakarrik behin agertzea.

2 Irudia: Gorputz anitzeko sistemak

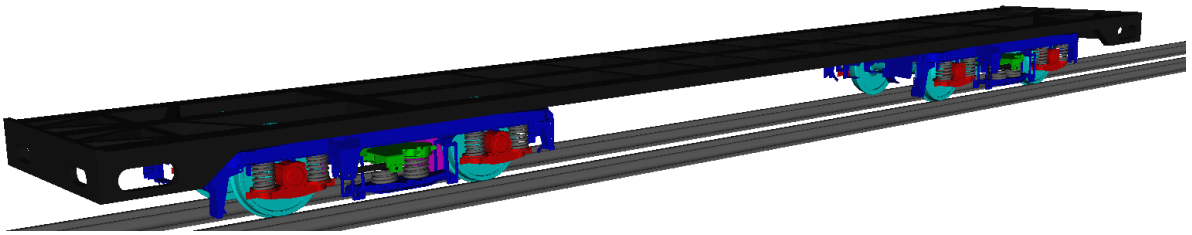


Kontuan hartzen bada sistemaren topologia, 1 irudiak erakusten duen funtzioaren ebaluazio numerikoak orain 264 operazio behar izanen luke. Hasierako modeloarekin konparatuta, kasu hotenean operazio kopurua gutxi gorabehera %11-ra jausti da.

3.5 Beste adibide bat. Lokomotora bat

Sekzio honetan, beste modelo konplexuago bat aztertzeen da, hain zuzen ere 3 irudiak erakusten duen lokomotora (J. Ros eta Iriarte, 2016). Hau 21 gorputzez osatuta dago 76 koordinatu erlatiboen bidez.

3 Irudia: Lokomotora baten gorputz-anitzeko modeloa.



Kasu honetan, hasierako modeloaren (aurreko teknikak aplikatu gabe) masa matrizea gehi indar oro-kortuen bektorearen ebaluazioak 19899139 operazio behar ditu. Atomizazioa erabiliz operazio kopurua 636695 operaziotara pasatzen da. Eta gainera, sistemak duen topologia kontuan hartzen bada operazio kopurua jausten da 36695 operaziotara, hau da, %0.2 txikiagoa hasierakoarekin konparatuta. Honek lotura zuzena du konputazio-sistemak ebaluazio numerikoa gauzatzeko beharko duen denborarekin. Haiz zuenen ere, ebaluazioak beharko du hasierako modeloarendako beharko lukeenaren, gutxi gorabehera, denboraren %0.2. Modu berdinean, kodearen fitxategiaren tamaina askoz txikiago da. Hasierako motelaren fitxategiak gutxi gorabehera 250MB okupatzen ditu eta optimizatuak 656kB. Aipagarria da konpiladoreak¹⁴ 250MB-tako fitxategia ezin izan du kapitulatu, honek ere justifikatzen du lan honetan aurkeztutako teknikak.

4 Ondorioak

Lan honen ondorioak aunitz izan badira ere, nagusiak hauxek dira:

- Atomizazio prozesua aplikatu beharreko teknika da nahi bada kode optimoa lortzea. Kode honek, optimoa izateagatik, operazio matematiko minimo bat beharko du ebaluazio numerikoa gauza-

¹⁴gcc 4.9.2 konpilatzailea

tzean. Ikusi denez, honek lotura du ebaluazio gauzatzeko beharreko denborarekin eta beraz, denbora-errealean funtzionatzearekin.

- Atomizazioa optimoa izaten ahal da, baldin eta sortu ahalako atomizazioa egiten bada. Baina honek, kodea optimoa sortzeko, behar ditu prozedura bereziak errepikatzen diren atomoak eliminatzeko.
- Atomizatu edo partzialki atomizatuta dauden espresioekin lan egiteko prozedura bereziak behar dira ohikoak diren operazioak (deribazioa eta ordezkatzeta) gauzatzeko, batez ere nahi bada bere abantaila guztiekin lan egitea.
- Sistemaren topologiak garrantzia du, honetan baitago gorputz-anitzeko sistemaren errekurtsibitatea. Bakarrik hau kontuan hartuz lortuko da arlo honetan kode optimizatuta.
- Hemen aurkitzen diren teknika guztiak formulazio eta koordenatu motaren independenteak dira. Beraz, erabiltzaile batek nahi dituen (ezagutzen dituen edota erosoago dagoen) formulazio eta koordenatua erabiltzen ahal ditu eta, hala eta guztiz ere, sistemaren mami guztia aterako du kode optimoa sortuz.

5 Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Teknika hauek guztiak probatuak izan dira LIB3D-MEC-GiNaC GSDrako programa-liburutegia sinbolikoan eta espero bezala funtzionatzen dute. Hala ere ikusi izan dira egiten ahal diren hobekuntza batzuk:

- GSDan espresioek trigonometrikoki sinplifikatuak¹⁵ izateko aukera dute. Autoreak bere tesian hau ere analizatu egin du eta metodo bat proposatzen du sinplifikazio trigonometriko posible hauek ez agertzeko. Lan hau momentuz teorikoa da eta garatuta badagoen ere, ez da programa-liburutegia inplementatu.
- Autoreak berak ere ikusi du formulazio batzuekin lortzen den kodea pixka bat optimoagoa dela beste batzuekin baino. Etorkizunean ikertu nahi du horren zergatia eta posible bada soluzio orokor bat bilatzea.

Erreferentziak

- DE JALON, JAVIER GARCIA, eta EDUARDO BAYO. 2012. *Kinematic and dynamic simulation of multibody systems: the real-time challenge*. Springer Science & Business Media.
- FALOMI, STEFANO, MONICA MALVEZZI, eta ENRICO MELI. 2011. Multibody modeling of railway vehicles: Innovative algorithms for the detection of wheelrail contact points. *Wear* 271.453 – 461. Proceedings of the 8th International Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail / Wheel Systems, Florence, 2009.
- FEATHERSTONE, ROY. 1983. The calculation of robot dynamics using articulated-body inertias. *The International Journal of Robotics Research* 2.13–30.
- FISSETTE, PAUL, eta JC SAMIN. 2003. *Symbolic modeling of multibody system*. Kluwer Acad. Pub.
- GIL, J. 2005. *PhD Thesis. Symbolic algebra based preprocessor for multibody dynamics simulation*. Nafarroako Unibertsitate Publikoa.
- J. ROS, A. PLAZA, eta J. P. X. IRIARTE. 2016. Real-time simulation of a locomotive using symbolic multibody methods. *The Third International Conference on Railway Technology: Research, Development and Maintenance. Railways 2016, CIVIL-COMP, CIVIL-COMP, 5-8 April 2016* 2016. .
- J. ROS, L. ARRONDO, J. GIL X. IRIARTE. 2007. Lib3d_mec_ginac, a library for symbolic multibody dynamics. ECCOMAS Multibody Dynamics, Milano.
- KIRĆANSKI, NENAD, MIOMIR VUKOBRATOVIĆ, ALEKSANDAR TIMČENKO, eta MANJA KIRĆANSKI. 1993. Symbolic modeling in robotics: Genesis, application, and future prospects. *Journal of Intelligent & Robotic Systems* 8.1–19.
- PLAZA, A. 2016. *PhD Thesis. Symbolic Multibody Modeling for Real-Time*. Nafarroako Unibertsitate Publikoa.

¹⁵Orokorrean agertzen dira holako azpi-espresioak: $\sin^2(\theta) + \cos^2(\theta)$ eta hau 1-era sinplifikatzen ahal dira. Gauza da ez direla agertzen hain modu esplizituan, baizik eta atomoen artean galduak

- ROS, JAVIER, ROBERTO YOLDI, AITOR PLAZA, eta XABIER IRIARTE. 2013. Real-time hardware-in-the-loop simulation of a hexaglide type parallel manipulator on a real machine controller. In *New Trends in Mechanism and Machine Science*, volume 7 of *Mechanisms and Machine Science*, 587–597. Springer Netherlands.
- SCHMITKE, CHAD, eta PAUL GOOSSENS. 2011. Symbolic computation techniques for multibody model development and code generation. volume 2011.
- SHIIBA, TAICHIAND SUDA, YOSHIHIRO. 2007. Evaluation of drivers behavior with multibody-based driving simulator. *Multibody System Dynamics* 17.195–208.

6 Oharrak

Artikulu honetan laburtzen da autorearen tesiaren zati bat: “Symbolic Multibody Modelling for Real-Time” (Plaza, 2016).

UPV/EHUko eZerbitzu baten modelatzea ikasketa automatikoaren bidez

Yera, Ainhoa; Perona, Iñigo; Arbelaitz, Olatz; Muguerza, Javier.

*Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU). Konputagailuen Arkitektura eta Teknologia saila. Aldapa.
ainhoa.yera@ehu.eus*

Laburpena

Lan honetan UPV/EHUko matrikulazioaren inguruko eZerbitzuko nabigazioa aztertu dugu web-meatzaritzako tekniken bidez, nabigazio-saioen sailkapena era automatikoan egiten saiatu gara. Emaizten arabera, baieztatu dugu maila handi batean definitutako arrakasta / porrota nabigazio-portaerak detektatzeko gai garela. Esaterako, arrakasta gisa etiketatu diren klusterretan dauden saioren % 90etik gora arrakasta motakoak dira eta porroten kasuan % 90 inguru. Gainera, gainbegiraturako ikasketa bidez, bi saio-motak era automatikoan desberdintzeko gai gara % 96ko asmatze-tasa batekin. Beraz, lan hau etorkizunean eZerbitzu hau hobetu ahal izateko oinarri ona dela uste dugu.

Hitz gakoak: eGobernua, eZerbitzuak, web erabilpenaren meatzaritza, nabigazio-ereduak.

Abstract

In this work we have analyzed the enrollment eService navigation of the UPV/EHU and using data mining techniques we have attempted to automatically perform navigation sessions classification. The results show that we are able to detect the defined success and failure navigation behaviours. For example, more than 90 % of the sessions of the clusters labelled as success are of success type and in the failure case, around 90%. Besides, using supervised learning we are able to automatically distinguish the two nabigation types with an accuracy rate of 96 %. Thus, we think that this research is a suitable basis to improve the eService analyzed in a near future.

Keywords: eGovernment, eServices, web usage mining, navigation models.

1. Sarrera eta motibazioa / momentuko egoera

eGobernua lehen mailako joera bilakatu da informazioaren iraultzan eta munduko ia edozein gobernu horren parte izan da (Taylor *et al.* (2007)). eGobernua informazio-teknologia (IT) eta informazio-sistemen berrikuntzaren arlo garrantzitsua da. Horregatik, gobernuak eta instituzioak orokorrean, gobernu prozesuetan eGobernua txertatzen ari dira (Alshehri eta Drew (2010)). eGobernuaren garapena zeregin inportantea da. Ez soilik instituzioek informazioa eta zerbitzuak emateko modua nahiz publikoarekin tratatzeko era azkar aldatzea eragiten duelako, baizik eta haien estrategien parte integrala bilakatzen ari delako (Zhang *et al.* (2014)).

2011ko irailean, Espainia arlo honetan herrialderik aurreratuenen artean zegoen eta bosgarren postuan Europa mailan online motako zerbitzu publikoen erabilgarritasun eta sofistikazio mailan (Spanish Institute of Public Administration (2011)). Espainian, eGobernuaren aurrerapenerako bi faktore nagusi egon dira: batetik, bertako zerbitzu erabiltzaile potentzialek erakutsitako ezagutza eta konpromisorako aurretiko jarrera ona eta bestetik, azken urteetan arlo publikoak egindako lege-arloko planifikazioa eta ahalegin handiak (Gonzalez *et al.* (2007)). 2007ko ekainaren 1ean onartutako Hiritarren Zerbitzu Publikoen Sarbide Elektronikoaren Legeak eGobernuaren inplementaziorako konpromisoa babesten zuen. Lege honen helburu nagusia da "Hiritarrek zerbitzu publiko guztietara sarbidea izatea eta izapide administratibo guztiak internet bidez, edozein tokitatik eta edozein ordutan egiteko ahalmena izatea". Autonomia-erkidegoetako agintarien helburu nagusia lege hori aplikatu ahal izateko, eGobernuko zerbitzuak (eZerbitzuak) hiritar guztientzat eskuragarri egotea izan da (Cegarra-Navarro *et al.* (2012)).

Legezko-ekintzak W3C-k edo Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0 (W3C (2012)) gidak proposatutako irisgarritasun estandarretan oinarritzen dira. Estandar hauek nabigazioa pertsona ororentzat irisgarria izatea dute helburu.

Bestalde, datu-meatzaritza eta modelatze-teknikak erabiltzaileen nabigazio-ereduak lortzeko eta eGobernuaren garapenerako lagungarriak izan daitezke. Izan ere, alde batetik, jokabide interaktiboa iragartzea ahalbidetzen dute eta bestetik, esteka baten edukia, webgune baten informazio-arkitektura eta web orrialde baten diseinuaren egokitasuna ebaluatzeko ere baliagarriak dira (Vigo eta Harper (2013)). Web erabilpenaren meatzaritza (Fujimoto *et al.* (2011)) behatutako ekintzetatik ezagutza erauzteko erabil daiteke, hala nola, erabiltzaileen profilak lortzeko (Schiaffino eta Amandi (2009)). Resource Description Framework (RDF) (Lassila eta Swick (2002)) edo RDF Schema (RDFS) (Brickley eta Guha (2002)) bezalako Web Semantikoko teknologiek aldiz, aukera eskaintzen digute baliabideen domeinua, baliabideak, erabiltzaileak edo estekak modelatu eta adierazteko. Ontologiak gaur egun oso erabiliak dira erabiltzaile-ereduak sortzeko, kontzeptualizazio semantiko komuna eskaintzen dutelako (Dolog eta Nejdl (2007)).

Gure ustez, erabiltzaileen profilak sortzeko aipatu metodoak erabiltzeak eGobernuari bi ekarpen nagusi egiten dizkio (Gugliotta *et al.* (2005)): lehenengoa, eGobernuen zerbitzu desberdinak erabilerrazago bilakatzea erabiltzaile mota anitzentzat eta bigarrena, zerbitzu hauen integrazioa hobetzea.

Artikulu hau gure ikerketa taldea eGobernuen inguruan egiten ari den lanaren parte da. Zentzu honetan, lan hau Euskal Herriko Unibertsitatearekin (UPV/EHU) egindako elkarlanaren emaitza da. Gure helburua, haiek eAdministrazio gisa eskaintzen duten zerbitzua analizatzea izan da, zehazki, matrikulazioari dagokion atala (www.ehu.eus/web/sarrera-acceso).

Zerbitzuak egokitzeko eta irisgarriak egiteko lehenengo urratsa, haien egitura eta uneko erabilera aztertzea da. Beraz, lehenik eta behin, unibertsitatearen webgunearen egitura eta edukia aztertu ditugu, matrikulazioari dagokion zonaldea detektatzeko eta URLen sailkapena egiteko. Bigarrenik, zerbitzarietan metatutako log fitxategiak erabiliz, zonalde horren erabilera aztertu dugu. Erabiltzaile-saioak bi modutan adierazi ditugu: erabiltzaileek saioetan atzitutako URLen sekuentzia moduan eta saioen informazioan oinarritutako atributu mekanikoen bidez. Bi datu-base (DB) hauetan, ikasketa automatikoko teknikak erabili ditugu eta aurretik definitutako bi erabiltzaile mota detektatzeko gai izan gara: saioaren amaieran matrikulazioari buruzko informazio asko duten URLetan interesa adierazi dutenak (arrakasta) eta informazio gutxiko URLetan amaitu duten erabiltzaileak (porrota). Honek bide emango die webgunea kudeatzen dutenei etorkizunean zerbitzua erabiltzaile mota desberdinei egokitzeko eta beraz, eZerbitzu erakargarriago bat eskaintzeko.

2. Ikerketaren helburuak

Ikerketa honek UPV/EHU-k eAdministrazio gisa eskaintzen duen matrikulazio eZerbitzuan erabiltzaile-profilak detektatzea eta haien ezaugarriak ezagutzea du helburu. Horretarako, bertako nabigazioaren log fitxategien informazioa erabili dugu eta web-meatzaritzako tekniken bidez nabigazio-profilak aztertu ditugu. Gure etorkizuneko asmoa da profil hauetan oinarrituz eZerbitzu honen erabiltzaile berriak automatikoki sailkatzeko gai den eta haiei egokitzen zaien sistema sortzea.

Gure esperimentuek aditzera eman dute aztertutako eZerbitzuan erabiltzaile-profil desberdinak era automatikoan detektatu daitezkeela. Zehazki, erabilitako ikasketa automatikoko algoritmo ezagunen emaitzak aintzat hartuz, baieztatu dezakegu eZerbitzu honen erabiltzaile berrien nabigazio-patroiak aurreikusteko bidean gaudela. Horregatik, uste dugu web-meatzaritzako teknikak lagungarriak izango direla zerbitzu honetan erabilgarritasuna, eraginkortasuna edota erabiltzailearen asebetetzea hobetzeko.

eZerbitzuetan, nabigazioaren amaierak erabiltzailearen sailkapena ahalbidetu ohi du. Esaterako, tramite bat burutzeko arazoak izan dituzten erabiltzaileak ez dira eZerbitzuaren amaieraraino iristen. Horregatik, matrikulazio zonaldea eZerbitzu baten moduan modelatu ahal izateko gure sailkapena ere erabiltzaileak saioa amaitu duen moduan oinarritu da. Horren arabera bi saio mota bereizi ditugu, arrakasta / porrota. Hurrengo lana erabiltzaile-saioak

automatikoki sailkatzeko saioak bi modutan adieraztea izan da: lehena, nabigazio-zonaldean (URL sekuentzia) oinarritzen da eta bigarrena, nabigazio-moduan (atributu mekanikoak). Bi adierazpide hauen bidez, portaera desberdinen arabera sailkatu ahal izango ditugu erabiltzaile-saioak.

3. Ikerketaren muina

3.1 Esperimentuaren garapena

Ikerketa honetan, UPV/EHUko webgunean matrikulazioaren inguruko informazioa ematen duen zonaldeko nabigazioa aztertu dugu eZerbitzu ikuspuntutik. Horretarako lehenengo urratsa, webgune osoaren nabigazioari lotutako 49 eguneko log fitxategiaren aurreprozesamendua izan da (2016/02/23-tik 2016/04/12-ra). Osotara, hiru URLtik gorako luzera duten 25.467 saio lortu ditugu matrikulazio zonaldean (www.ehu.eus/web/sarrera-acceso). Luzera minimoa hiru klik izatea erabaki dugu, nabigazioa esanguratsua izan dadin.

Bigarrenik, matrikulazio zonaldea eZerbitzu modura modelatzeko erabiltzaile-saioen sailkapen bat definitu dugu. Horretarako, saioetan ikusitako URLen mota aztertu dugu, bi irizpide aintzat hartuz: URLaren edukia (testua ala estekak nagusi diren) eta URLaren zonaldea (matrikulaziokoa edo beste zonaldekoa den). URLen edukiari dagokionez, testu-fitxategi formatua duten URLak (.pdf / .doc / .docx) edukizko gisa sailkatu ditugu. Beste kasuetan, URLa edukizkoa ala bideratzailea (estekak nagusi dituen) den jakiteko honako heuristikoa (1) definitu dugu:

$$\frac{\text{Hitz erreal kop.}}{\text{Esteka kop.}} = \frac{\text{Hitz kop.} - \text{Esteketako hitz kop.}}{\text{Esteka kop.}} \leq 10 \rightarrow \text{URL bideratzailea} \quad (1)$$

$$> 10 \rightarrow \text{edukizko URL} - a$$

eZerbitzu erreal batean erabiltzaileek helburu edo zeregin zehatzak izan ohi dituzte (tramite bat egin ...) eta erabiltzaile-saioen sailkapena agerikoa da (zeregin hori burutu duen edo ez ...). Gure kasuan ordea, erabiltzaileek ez dute zeregin zehatzik eta beraz, saioen sailkapenerako bestelako irizpideak erabili behar izan ditugu. Gure sailkapena erabiltzaileen nabigazioaren bukaerako orrian oinarritzen da; erabiltzaileek atzitutako azken URLaren motan hain zuzen. Hortaz, erabiltzaileak atzitutako azken URLa bere nabigazioaren lorpenarekin lotu dugu.

Matrikulatzeko helburua duten erabiltzaileengan pentsatuz, matrikulazioari buruzko informazio asko duten URLetan (edukizkoak) amaitzen diren erabiltzaile-saioak arrakastarekin lotu ditugu. Bestalde, informazio gutxiko web orrialdeetan (bideratzaileak) amaitu diren erabiltzaile-saioak porrotarekin lotu ditugu. Hots, arrakasta motako saioak azken URLa edukizkoa (1) eta matrikulazio zonaldekoa dutenak dira. Porrota motako saioetan aldiz, azken URLa bideratzailea (1) eta edozein zonaldekoa da. Lehen hurbilpen honetan, edukizkoa eta matrikulazio zonaldekoa ez den URL batean amaitutako saioak analisitik kanpo utzi ditugu. Izan ere, mota horretako saioak arrakastarekin lotura izan dezakete, baina matrikulaziokoa ez den testuinguruan. Esaterako, beste zonalde bateko informazioa eskuratzea helburu zutenak. 1. Taulan definitutako saioen sailkapena eta saio-mota bakoitzeko kasu kopuruak azaltzen dira. Osotara arrakasta motako 10.734 saio lortu ditugu (% 42,1) eta porrota motako 14.733 saio (% 57,9).

1. taula. EHUko matrikulazio zonaldeko erabiltzaile-saioen sailkapena

Saio mota	Saio kopurua	Saioaren azken URLa	
		Zonaldea	Mota
Arrakasta	10.734 (% 42,1)	Matrikulazioa	Edukizkoa
Porrota	14.733 (% 57,9)	Matrikulazioa	Bideratzailea
		Ez Matrikulazioa	Bideratzailea

Hautatutako saioekin bi datu-base (DB) sortu ditugu: lehenengoan, erabiltzaile-saioak adierazteko erabiltzaileek atzitutako URLen segidak (sekuentziak) erabiltzen dira zuzenean. Bigarrenan,

erabiltzaile-saioak adierazteko, log fitxategietako informazioan oinarrituz, eskuz kalkulaturako atributu mekanikoez osaturako bektorea erabiltzen da. Bigarren DBan, saio bakoitza adierazteko erabilitako atributuak kalkulatzeko denboran, URLen sailkapenean (edukia / zonaldea) edota klik kopuruetan oinarritzen gara. 2.taulan ageri da atributu hauen zerrenda eta deskribapena. Beraz, lehenengo DBak adierazten du erabiltzaileak nondik nora ibili diren eta bigarrenak aldiz, nola egin duten nabigazio hori.

2. taula. Erabiltzaile-saioak adierazteko atributuak

Atributua	Azalpena
Klik kop.	Klik kopurua (saioaren luzera).
% Bid. kop.	Bideratzaile motako URL kopurua / saioaren luzera
% Edu. kop.	Eduki motako URL kopurua / saioaren luzera
% M. kop.	Matrikulazio zonaldeko URL kopurua / saioaren luzera
% Ez-M. kop.	Matrikulazioa ez den zonaldeko URL kopurua / saioaren luzera
% Ind. kop.	Matrikulazioa zonaldeko hasierako orrialdea motako URL kopurua / saioaren luzera
Ref-B. kop	Erreferentzia bilatzailea duten URL kopurua
Sek-T	Saioaren iraupena (s)
Klik-T_mean	Klik baten iraupena batazbeste (s)
Bid.-T_mean	Bideratzaile motako URLa duen klik baten iraupena batazbeste (s)
Edu.-T_mean	Eduki motako URLa duen klik baten iraupena batazbeste (s)
M.-T_mean	Matrikulazio zonaldeko URLa duen klik baten iraupena batazbeste (s)
Ez-M.-T_mean	Matrikulazioa ez den zonaldeko URLa duen klik baten iraupena batazbeste (s)
Ind-T.-mean	Matrikulazio zonaldeko hasierako orrialdea motako URLa duen klik baten iraupena batazbeste (s)
Edu.-Bid. kop.	Eduki - bideratzaile motako URLen arteko trantsizio kopurua
Bid.-Edu. kop	Bideratzaile - eduki motako URLen arteko trantsizio kopurua
M.-Ez-M. kop.	Matrikulazio – matrikulazioa ez den zonaldeko URLen arteko trantsizio kopurua
Ez-M.-M. kop.	Matrikulazioa ez den – matrikulazioa den zonaldeko URLen arteko trantsizio kopuru

Gure ikerketaren helburua ez da soilik saio-mota bakoitza automatikoki detektatzea, hots, bi klaseko (K) sailkatzailea sortzea arrakasta eta porrota desberdintzen dituen. Gure erronka nagusia, eZerbitzu hau hobetzea da eta prozesu horretan erabilgarria izango zaigun ahal bezainbeste informazio eskuratu nahi izan dugu. Esaterako, saio-mota bakoitzaren barruan dauden portaera desberdinak. Helburu horrekin, datu-base bakoitzari ikasketa automatikoko algoritmoak aplikatu dizkiogu. Zehazki, URL sekuentziez osaturako DBako PAM (k-medoids) (Kaufman eta Rousseeuw (1990)) algoritmoa erabili dugu. Izan ere, PAM sekuentziak multzotan biltzea ahalbidetzen duen clustering algoritmoa da. Bestetik, saioen atributu mekanikoez osaturako DBako, atributuak normalizatu ostean (banaketa normala), K-means (Lloyd (1982)) algoritmo ezaguna erabili dugu. Oro har, clustering-ean desiragarria da kluster kopuru txikia aukeratzea, mota bereko ahal bezainbeste kasu biltzen dituzten klusterak lortzeko. Gure kasuan, frogatutako K desberdinek (50, 75, 100 ...) ez dutenez klusterren egituraren eragin gehiegirik izan, frogatutako baliorik txikiena aukeratu dugu bi algoritmoetan (K=50).

Erabiltzaileen portaera desberdinak aztertzeko, arrakasta edo porrotaren %74ko nagusitasuna duten klusterretan zentratu gara. Bi dira arrazoi nagusiak: batetik, kluster horietan dagoen saio kopuru totala

adierazgarria delako (DB osoaren % 42a da) eta bestetik, saio-mota bakoitzaren ordezkartza egokia lortzen delako (% 12 - %14 arrakasta eta % 29 porrota).

Gehigarri moduan, nabigazio-zonaldea eta nabigazio-modua ikuspuntuaren arteko erlazioa aztertzeke, bi bideetatik lortutako partizioak konparatu ditugu Jaccard indizea (Jaccard (1908)) erabiliz. Azkenik, gainbegiratutako ikasketako J-48 sailkapen-zuhaitza erabili dugu atributu mekanikoei gure sailkapena iragartzeko duten ahalmena ikertzeke. Erabilitako J-48 Weka (Hall et al. (2009)) programa barruko C4.5 (Quinlan (2014)) algoritmo ezagunaren inplementazioa da. Hurrengo azpi atalean, deskribatuko dira lortutako emaitzak.

3.2 URL segidarekin sortutako DBko clustering-aren emaitzak

Lehen aipatu moduan, URLez osatutako sekuentzien datu-basean PAM (k-medoids) (Kaufman eta Rousseeuw (1990)) algoritmoa aplikatuz 50 kluster sortu dira. Kluster hauen azterketa egin da haietan metatutako sekuentzia motaren arabera, arrakasta / porrota. Emaitzak aztertuz, hauek lirateke datu aipagarrienak:

- Arrakasta nagusitzen den zortzi kluster lortu dira, arrakasta-saioren proportzioa % 74 baino handiagoa dutenak.
- DB osoko saioren % 12 erabiliz (arrakastari lotutako zortzi klusterrak) arrakasta motako saioren %24a biltzeko gai gara.
- Porrota nagusi duten 17 kluster lortu dira, porrota-saioren proportzioa % 74 baino handiagoa dutenak.
- Saio guztien % 29a hartuz (porrotari lotutako 17 klusterrak) porrota motako saioren % 45a detektatzeko gai gara.

3. taulan, arrakastari lotutako zortzi kluster eta porrota nagusi den 17 klusterren ezaugarriak adierazi ditugu.

3. taula. PAM (K=50) URLen DBaren gainean aplikatu osteko emaitzak

Atributua	Arrakasta-saio kop. > % 74 duten klusterrak	Porrota-saio kop. > % 74 duten klusterrak
Kluster kop.	8	17
Arrakasta-saio kop.	2.551 (% 81,9)	842 (% 11,2)
Porrota-saio kop.	564 (% 18,1)	6.669 (% 88,8)
Saio kop. klusterretan	3.115	7.511
Saio kop. - DB (%)	% 12,2	% 29,5

3. taula aztertuz, esan genezake kluster kopuruaren erdian (25) saio-mota bat edo bestearen nagusitasuna % 74tik gorakoa dela. DB osoan, porrota motako 14.733 erabiltzaile-saio ditugu eta horrela izendatutako klusterretan, porrota motako 6.669 saio daude. Hortaz, DB osoan porrota motako kasuak % 58 izan arren, kluster horietan erortzen direnak probabilitate handiagoa dute porrota izateko, % 89. Era berean, DB osoan arrakasta motako erabiltzaile-saio kopurua % 42 izanik, hautatutako klusterretan % 82ra igotzen da kopuru hau. Honengatik guztiagatik ondoriozta dezakegu nabigazioan zeharkatzen diren zonek (URLak), definitutako arrakasta / porrota sailkapenarekin zerikusia dutela eta clustering-a egitura hori automatikoki lortzeko gai dela. Hortaz, esan genezake UPV/EHUko matrikulazio eZerbitzuko erabiltzaile berrien nabigazioa era automatikoan sailkatzeko aukerak daudela nabigazio berrien nondik norakoei (URLak) erreparatuz gero.

3.3 Nabigazioaren atributu mekanikoei sortutako DBko clustering-aren emaitzak

Era berean, K-means (Lloyd (1982)) algoritmoa atributu mekanikoei (2. taula) osatutako saioren datu-basean aplikatu ostean 50 kluster sortu dira. Hemen, arrakasta motako saioren kopurua % 74tik gora duten sei kluster lortu dira, kluster hauetan dagoen saio kopurua guztira DB osoaren % 14 izanik.

Testuinguru honetan, saio guztien % 14a hartuz, arrakasta motako saioen % 30 biltzeko gai gara Bestalde, porrota-saio kopurua % 74tik gora duten 21 kluster lortu dira, kluster hauetan dagoen erabiltzaile-saio kopurua DB honen % 29 delarik. Horrekin batera, saio guztien % 29a hartuz porrota motako saioen % 46 detektatzeko gai gara. 4. taulan deskribatzen dira emaitza hauek.

4. taula. K-NN (K=50) atributuen DBaren gainean aplikatu osteko emaitzak

Atributua	Arrakasta-saio kop. > % 74 duten klusterrak	Porrota-saio kop. > % 74 duten klusterrak
Kluster kop.	6	21
Arrakasta-saio kop.	3.212 (% 87,7)	544 (% 7,4)
Porrota-saio kop.	451 (% 12,3)	6.842 (% 92,6)
Saio kop.	3.663	7.386
Saio kop. - DB (%)	% 14,4	% 29

Aurreko DBan gertatu bezala, 4. taula aztertuz baieztatu daiteke klusterren erdietan baino gehiagotan guk definitutako bi saio moten nagusitasuna % 74tik gorakoa dela. Kasu honetan, porrota gisa hautatutako klusterretan, porrota motako 6.842 saio daude. Aurreko kasuan bezalaxe, nahiz eta DBaren % 58 porrota izan, aipatu klusterretan eroritako saioek probabilitate handiagoa dute porrota izateko, % 93 hain zuzen ere. Halaber, DB osoan arrakasta motako saio kopurua % 42 izanik, aukeratutako klusterretan nabarmenki igotzen da kopuru hori, % 88ra hain zuzen. Beraz, uste dugu UPV/EHUko webgunearen matrikulazio zonaldeko nabigazioa atributu mekanikoez osatutako saioen bidez adierazi daitezkeela. Hau horrela izanik, eZerbitzu honen erabiltzaile-saio berriak arrakasta / porrota moduan automatikoki sailkatzeko erabiltzaile-saio horien atributu mekanikoak erabil litezke.

3.4 Sortutako bi partizioen arteko konparaketa

Nabigazio-sekuentziekin sortutako DBan erabilitako PAM algoritmoaren emaitzak eta nabigazioaren atributu mekanikoekin sortutako datu-basean erabilitako K-means algoritmoaren emaitzak alderatzeko, multzoak konparatzeko oso ezaguna den Jaccard indizea (Jaccard (1908)) erabili dugu. Bi partizioen konparaketan, indizeak 0.04 balorea eman du eta balore txikia izanik, bi emaitzak oso desberdinak direla adierazi du. Honen aurrean, esan genezake UPV/EHUko matrikulazio eZerbitzuko nabigazioan, zonaldea (URLa) eta atributu mekanikoez deskribatzen duten nabigatzeko modua independenteak direla. Beraz, eZerbitzu honen erabiltzaile berrien nabigazioa arrakasta / porrota bezala sailkatzeko aipatu bi ezaugarriak (zonaldea / mekanikoak) erabilgarriak lirateke eta aztertzeke legoke bi sistemak osagarriak ote diren.

3.5 Atributu mekanikoetan oinarritutako gainbegiraturako ikasketaren emaitzak

Atributu mekanikoen DBan erabilitako gainbegiraturako ikasketako J-48 algoritmoak sortutako sailkapen-zuhaitzak asmatze-tasa handia du: % 95,6koa. Zuhaitzaren arabera, definitutako saio-motak diskriminatzeke garaian honako atributuak lirateke garrantzitsuenak:

- Bideratzaile motako URLa duen klik baten iraupena batazbeste (Bid.-T_mean).
- Eduki motako URLa duen klik baten iraupena batazbeste (Edu.-T_mean).
- Bideratzaile motako URL kopurua saioaren luzerarekiko (% Bid. kop.) .
- Matrikulaziokoa den - matrikulaziokoa ez den zonaldeko URLen arteko trantsizio kopurua (M.-Ez-M. kop.).

Beraz, esan dezakegu atributu mekanikoak baliagarriak direla saioak guk definitutako moduan era automatikoki sailkatzeko, lehen adierazitakoak garrantzi gehiago dutelarik.

4. Ondorioak

Lan honetan UPV/EHUko matrikulazio-eZerbitzua web-meatzaritzako tekniken bidez modelatu da. Lehenik eta behin, eZerbitzu honen nabigazioen amaierari erreparatuz (azken klikaren zonaldea eta eduki mota) bi saio-mota definitu ditugu: arrakasta eta porrota. Arrakasta nabigazio-saioak zehazki, UPV/EHUko matrikulazio-zonaldekoa den eta testua nagusi duen URL batean amaitutakoak lirateke. Bestalde, porrota motako saioak matrikulazioa nahiz beste edozein zonaldekoa den eta bideratzailea den UPV/EHUko URL batean bukatutakoak dira (1. taula). Definizio hauekin eta nabigazio-zonaldea edo nabigatzeko modua aintzat hartuz bi DB sortu ditugu eta hauen gainean PAM eta K-means clustering algoritmoak erabili ditugu. Horren helburua, definitutako nabigazio-motak (arrakasta / porrota) era automatikoki biltzen diren jakitea eta eZerbitzu hau etorkizunean hobetzeko baliagarria zaigun informazioa eskuratzea da.

Bi prozesuetan antzeman dugu sortutako klusterren erdietan gutxienez, definitutako nabigazio-mota bat edo bestearen nagusitasuna % 74tik gorakoa dela. Horrez gain, PAM eta K-means algoritmoak gai dira DB osoko saioen % 29a erabiliz, porrota-saioen % 45 - % 46a detektatzeko. Era berean, bi algoritmoek saioen % 12 - % 14a aztertuz, arrakasta-saioen % 24 - % 30 detektatzeko ahalmena dute. Horregatik, esan dezakegu erabilitako bi adierazpideen partizioek eZerbitzu honetan definitutako bi nabigazio-motak automatikoki detektatzeko bide ematen dutela.

Gehigarri bezala, lortutako bi partizioak konparatu ditugu Jaccard indize ezaguna (Jaccard (1908)) erabiliz. Indize honek 0.04 balioa eman du aipatu bi partizioen konparaketan eta beraz, ondorioztatu dezakegu nabigazio-zonaldea eta modua ez daudela erlazionatuta. Horrek esan nahi du, gerora eZerbitzu honen etorkizuneko erabiltzaileen nabigazioa arrakasta edo porrota gisa sailkatzeko aztertutako bi bideak lagungarriak izango direla. Etorkizunean, nabigazio-zonaldean oinarritutako ikuspuntua eta nabigazio-moduan oinarritutakoa osagarriak ote diren aztertu beharko dugu.

Bukatzeko, atributu mekanikoekin gainbegiraturako ikasketako J-48 algoritmoa erabili dugu, % 95,6ko asmatze-tasa duen sailkapen zuhaitza lortuz. Zuhaitz honen egitura aztertuz, nabigazio-portaerak diskriminatzeko garaian garrantzitsuen diren atributuak ezagutu ahal izan ditugu. Beraz, bide honetatik ere nabigazio-ereduak lortzen ari gara.

Lan honi esker UPV/EHUko matrikulazio-eZerbitzua modelatzeko lehen pausua eman dugu eta emaitzak ikusita baieztatu dezakegu web-meatzaritzako teknikak prozesu horretan lagungarriak direla.

Etorkizuneko lerro moduan, lehenik eta behin, DBa adierazteko bi hurbilpenak osagarriak ote diren aztertu beharko dugu. Hala balitz, sistemen doitasuna hobetu nahiko genuke. Sortutako ereduak sakonkiago aztertu nahi ditugu, etorkizuneko erabiltzaileen nahiei aurre hartzeko, eta erabileran eragin negatiboa duten elementuak identifikatu eta hobetzeko.

Bukatzeko, eZerbitzu honen azterketaren ondorioak erabili nahi genituzke bestelako eZerbitzuak hobetzeko gidalerro moduan eta oro har, eGobernua hobetzeko baliagarriak diren ezagutzak plazaratzeko.

6. Erreferentziak

- Alshehri, M. eta Drew, S. (2010), Challenges of eGovernment Services Adoption in Saudi Arabia from an e-Ready Citizen Perspective, *World Academy of Science, Engineering & Technology*, 4 (6), 1086-1092.
- Brickley, D. eta Guha, R. V. (2002), Resource Description Framework (RDF) Schema Specification 1.0, <http://www.w3.org/TR/rdf-schema>.
- Cegarra-Navarro, J., Córdoba-Pachón, J. R. eta Moreno-Cegarra, J. L. (2012), eGovernment and citizen's engagement with local affairs through e-websites: The case of Spanish municipalities, *Int. Jour. of Inf. Management*, 32, 469-478.

- Dolog, P. eta Nejdl, W. (2007): Semantic web technologies for the adaptive web, in *The adaptive web*, P. Brusilovsky, A. Kobsa, and W. Nejdl (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag, Berlin, 4321, 697-719.
- Fujimoto, H., Etoh, M., Kinno, A. eta Akinaga., Y. (2011): Web user profiling on proxy logs and its evaluation in personalization, in Du, X., Fan, W., Wang, J., Peng, Z. eta Sharaf M. A. (Eds.), *Procs. of the 13th Asia-Pacific web conference on Web technologies and applications (APWeb'11)*, Springer-Verlag, Berlin, 107-118.
- Gonzalez, R., Gasco, J. eta Llopis, J. (2007), eGovernment success: Some principles from a Spanish case study, *Industrial Manag. & Data Systems*, 107(6), 845-861.
- Gugliotta, A., Cabral, L., Domingue, J., Roberto, V., Rowlatt, M., Council, E. C. eta Davies, R.A. (2005), Semantic web service-based architecture for the interoperability of e-Government services, *WISM 2005*, 21.
- Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P. eta Witten, I. H. (2009). The WEKA data mining software: an update, *ACM SIGKDD explorations newsletter*, 11(1), 10-18.
- Jaccard, P. (1908), Nouvelles recherches sur la distribution florale, *Bulletin de la Société Vaudoise de Sciences Naturelles*, 44, 223-370.
- Kaufman, L. eta Rousseeuw, P.J. (1990), *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*, Wiley-Interscience.
- Lassila, O. eta Swick, R. (2002), W3C resource description framework (rdf) model and syntax specification, <http://www.w3.org/TR/REC-rdfsyntax/>.
- Lloyd, S. (1982), Least squares quantization in PCM, *IEEE Transactions on Information Theory*, 28 (2), 129-137.
- Quinlan, J.R. (2014): *C4. 5: programs for machine learning*. Elsevier.
- Schiaffino, S. eta Amandi, A. (2009): Intelligent user profiling, in M. Bramer (Ed), LNAI 5640 chapter Intelligent user profiling, *Artificial Intelligence: An International Perspective*, Springer-Verlag, 193-216.
- SIPA (Spanish Institute of Public Administration) (2011): eGovernment in Spain, *Report to the European Commission*, www.epractice.eu/files/eGovernmentSpain.pdf.
- Taylor, J., Miriam, L. eta Organ, J. (2007), Information-intensive government and the layering and sorting of citizenship, *Public Money and Management*, 27(2), 161-164.
- Vigo, M. eta Harper, S. (2013): Challenging information foraging theory: screen reader users are not always driven by information scent, In *Procs. of the 24th ACM Conference on Hypertext and Social Media*, ACM, NY, USA, 60-68.
- W3C. (2012): WAI, Web Content Accessibility Guidelines (WCAG), <http://www.w3.org/WAI/intro/wcag.php>.
- Zhang., H, Xiaolin, X. Eta Jianying, X. (2014), Diffusion of eGovernment: A literature review and directions for future directions, *Government Information Quarterly*, 31(4), 631-636.

7. Eskerrak eta oharrak

Lan honek honako unitateen finantzaketa jaso du: Batetik, Euskal Herriko Unibertsitateko UPV/EHU finantzaketa (PIF15/143 beka). Bestetik, Espainiako gobernuko ekonomia eta lehiakortasun ministerioak eta Europako eskualdeen garapenerako funtsak (ERFD) finantzatutako eGovernAbility proiektuarena (erreferentzia TIN2014-52665-C2-1-R). Azkenik, eusko jaurlaritzako hezkuntza saileko unibertsitateak eta ikerketa atalak sustengatzen duen ADIAN ikerketa taldearena (erreferentzia IT980-16).

Makina-erreminta baten elastikotasun eraginaren analisi mekatronikoa

Ansoategui Igor; Campa Gómez Francisco Javier; López-Ugarte Carolina; Boyano Ana.

Ingenieriaritza Mekanikoa Saila

Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)

igor.ansoategui@ehu.eus

Laburpena

Makina-erreminta industriarako makina haundien garapenak zurruntasun mugatuarekin pisu haundiak mugitzean arazoak sortzen ditu. Makina hauek diseinatzerakoan, eredu mekatroniko berriak behar dira. Lan honetan 3 askatasun maila duen eredu bat aurkezten da. Mugituko den elementuak eragina izango duela ikusten da. Makina bertikal baten zutabea zurrun infinitua dela kontuan hartzean, erremintaren puntan nahi dugun balioa edukitzeko, “jerk”-aren komandoan %90-eko errorea suposatuko du. Ereduaren azterketa esperimentala burutzen da.

Hitz gakoak: eredu mekatronikoa, jerk, erroreak.

Abstract

Moving big weights with limited rigidity can cause problems regarding development of big machines in the machine tool industry. New mechatronic models must be developed when designing these machines. In this work a 3 degree of freedom model is presented. The influence of the movement of the elements is described. Considering infinite rigid the column of a vertical machine, trying to get the desired value at the tip of the tool, will result in an error of 90% of the "jerk" command. The experimental assessment of the model is carried out.

Keywords: mechatronic model, jerk, errors.

1. Sarrera eta motibazioa

Azken urteetan, energia berriztagarrien, trenbideen, hegazkintzaren, plataforma maritimoen, instalazio zientifiko handien fusio energiaren, eta abar arloen hazkuntza makina-erreminta haundien garapena behartu da. Diseinatzailerentzako makina hauen arazo nagusia erremintaren puntan zehaztasun nahikoa garantizatzea zen bere pisu haundia eta zutabe haundietan lan egiteagatik. Horregatik, makina hauek frekuentzia natural txikiak daukate eta, ondorioz, chatter-ekin arazoak sortzen dira [1]. Hauek ere leku haundietan kalibratu behar dira, bere pisu propioagatik sortzen diren deflazioak konpentsatzeko [2]. Ere arazo termikoak sortzen dira eta konpentsatu beharko dira, nabarmenki klima tropikaletan giro tenperaturaren gradiente altuko baten menpean [3]. Azkenik, frekuentzia naturalaren eta indar inertzialen handien konbinazioa erremintako puntaren posizioaren kontrola zailtzen dute. Hau gertatzen da makinak mugimendu azkarrak burutzen saiatzen denean [2].

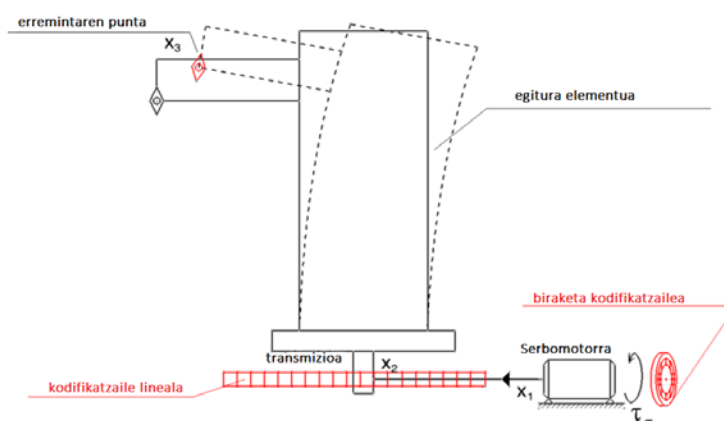
Lan hau azken arazoa lantzen du, hau da, makina haundiaren erreminta puntaren kontrolean. Makina hauetan, posizioa kontrolatzeko erabiltzen diren kodifikatzaileen kokalekua erremintaren puntatik oso urrun dago (ikusi 1. Irudia). Orduan, indar inertzialek sortzen duten deflazioa egitura elementuetan akats nabarmenak ekartzen du. Hau minimizatzeko diseinu arlotik, beharrezkoa da mekatronika ereduaren erabilera. Honekin, transmisio mekanikoak eta egitura dinamikoaren errendimendua analizatuko dira.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Serboakzionamenduaren analisi mekatroniko sinple baterako, inertzia ereduak erabil ahal dira [4]. Dena dela, transmisio katearen malgutasuna kontutan hartu nahi bada, gehien erabiltzen dena 2 askatasun mailako (a.m.) ereduak da. Hamarkada honetan, garatu egin dira zenbait eredu mekatronikoak 2 a.m.-ekin, motorraren kodifikatzailean posizio angeluarren eta kodifikatzaile

linealaren posizioa. A. Dequidt [5] 2000. urtean 2 a.m.-ko eredu bat garatu zuen, lege berriekin bandaren zabalera eta inertzia ratioa determinatzeko. Gainera, Altintas [6] 2011. urtean akzionamendu sistemetako diseinuaren azterketa integrala eta kontrola landu zuen. Eta, duela gutxikoa, R. Caracciolo [7] 2014. urtean eredu mekatroniko bat proposatu zuen, non motorraren parra minimizatzen duena. Izan ere, makina-erreminta haundietan, makinaren elementuetan inertzia handia eta zurruntasunmurriztua dutenean, 2 a.m.-ko ereduak ez dira nahiko zehatzak. 3. a.m. gehitu beharko da erremintaren puntarako (1. Irudian ikusten den bezala), egitura elementuen malgutasun naturala modelatzen, kodifikatzaile linealetik erremintaren puntara arte. Hau ez bada egiten esfortzu haundiegiak edukiko dira zutabeen edo erremintaren punta kokatzen den zikiroan.

1. irudia. Zutabeko malgutasunaren influentzia erremintaren akatsean. X1: Motorreko kodifikatzailearen posizioa. X2: Kodifikatzaile linealaren posizioa. X3: Erremintaren puntaren posizio erreala



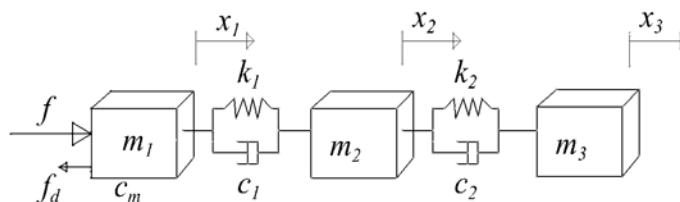
Lan honetan 3 a.m.-ko eredu mekatroniko bat akzionamendu orokor batena aurkezten da eta “jerk” komandoaren influentzia analizatzen da, CNC-tik abiatuta kodifikatzaile linealeko eta erremintaren puntako errorean. Hemen, 3 a.m.-ko ereduak erabiltzen da jerk-aren influentzia kuantifikatzeko esfortzu haundian kontsideratzen makinako egitura elementuen malgutasuna. Analisia onetsi da esperimientalki makina-erremintaren malgutasuna simulatzen entseiu gunean, masa bat kokatzen bi plaka finen gainean hegal batekin boladun torloju baten akzionamendu mahaiari lotuta.

3. Ikerketaren muina, eredu mekatronikoa

3.1 Eredu dinamikoa

3 a.m.-ko ereduak garatzeko, lehenik beharrezkoa da instalazioaren eredu dinamikoa analizatzea. 2. irudian, ikusi ahal da 3 a.m.-ko parametro kontzentratuen ereduak, malgukien eta indargetzaileen bidez masak konektatuta. Hau da ondo ezagutzen den ereduak da akzionamendu elektromekanikoko baten eredu dinamikorako [8].

2. irudia. Kontzentratutako parametroen eskema. 3 a.m.-ko ereduak



3 a.m.-ko ereduari, x_1 motorraren posizioa da, x_2 kodifikatzaile linealean neurtutako posizioa da eta x_3 erremintaren puntaren posizioa. M_1 masak motorraren inertzia irudikatzen du, bigarren masak, m_2 , transmisioaren inertzia. Hirugarren masak, m_3 , egitura elastikoaren inertzia irudikatzen du. Aldi berean, k_1 eta c_1 transmisio katearen zurruntasuna eta indargetzaileak dira, motorretik kodifikatzaile lineal arte. K_2 eta c_2 egitura estrukturalaren zurruntasuna eta indargetzailea, kodifikatzaile linealetik erremintaren punta arte. Gainera, f indarra baliokidea da serbomotorraren parrera, f_d frikzioak sortzen duen perturbazio eta mozketaren indarra da. C_m motorraren indargetzaile likatsua da. Azken bi elementuak kontsideratuko dira kanpoko perturbazio baten moduan. Hau izango da 3 a.m.-ko ereduaren mugimendu ekuazioa matrize erara jarrita:

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 & -c_1 & 0 \\ -c_1 & c_1 + c_2 & -c_2 \\ 0 & -c_2 & c_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

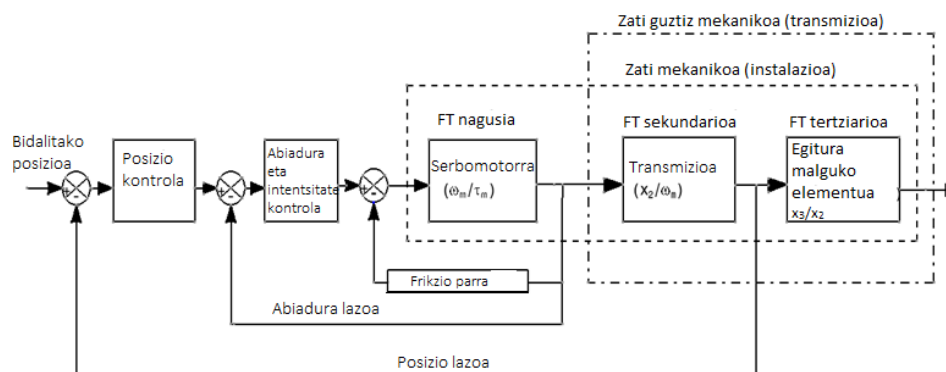
Mugimendu ekuaziotik abiatuta, frekuentziaren dominiora pasa eta gero, akzionamenduaren dinamika eraldatu da transferentzia funtzioen bidez. Lehen transferentzia funtzioa TF1 definitzen da kodifikatzailearen posizio angeluarra eta motorraren parra erlazionatzen dutenaren bezala. Bigarren funtzioak, TF2, erlazionatzen du kodifikatzailearen posizio lineala motorraren posizio angeluarekin. Azkenik, hirugarren transferentzia funtzioak, TF3 erlazionatzen du erremintaren punta eta kodifikatzaile linealaren posizioa erlazionatzen ditu.

3.2 Eredu mekatronikoa

Eredu mekatronikoa instalazioaren dinamika, kontrola eta sentsoaren errendimendua integratzen ditu. Eredua ikusgai agertzen da 3. irudian, non posizio kontrola eta abiadura moldeatzen dira bere ziklo denborekin, eta transferentzia funtzio tertziario aurkitzen da posizioaren lazo itxiaren ondoren.

Sistemak serboakzionamenduaren barne dago. Honi masa moldagarri bat atxikitzen zaio 1. Irudian ikusten den bezala. Kontrolak PID ezagun bat da erorketa batean, posizio, abiadura eta intentsitate kontrolarekin. Posizio kontrola P proportzional kontrolagailu batean oinarritzen da. Abiadura kontrolak PI motatako kontrola dauka, korrante kontrola ere. Hala ere, korrante lazoa soilik eraldatu da par konstante bat aplikatzen. Hau egiten da ziklo denbora azkarragoarekin lan egiten da, askoz azkarrago abiadura eta posizioen kontrol lazoek baino. Makina-erreminta haundietarako fenomeno elektrikoaren dinamika azkarragoak dira mekanika baino.

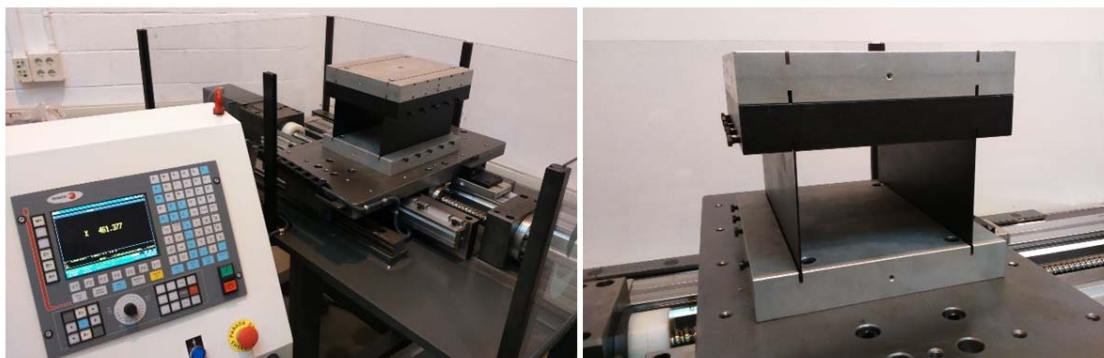
3. irudia. 3 a.m.-ko eredu mekatronikoa makina-erreminta malgu baten akzionamendua



3.3 Azterketa esperimentalak

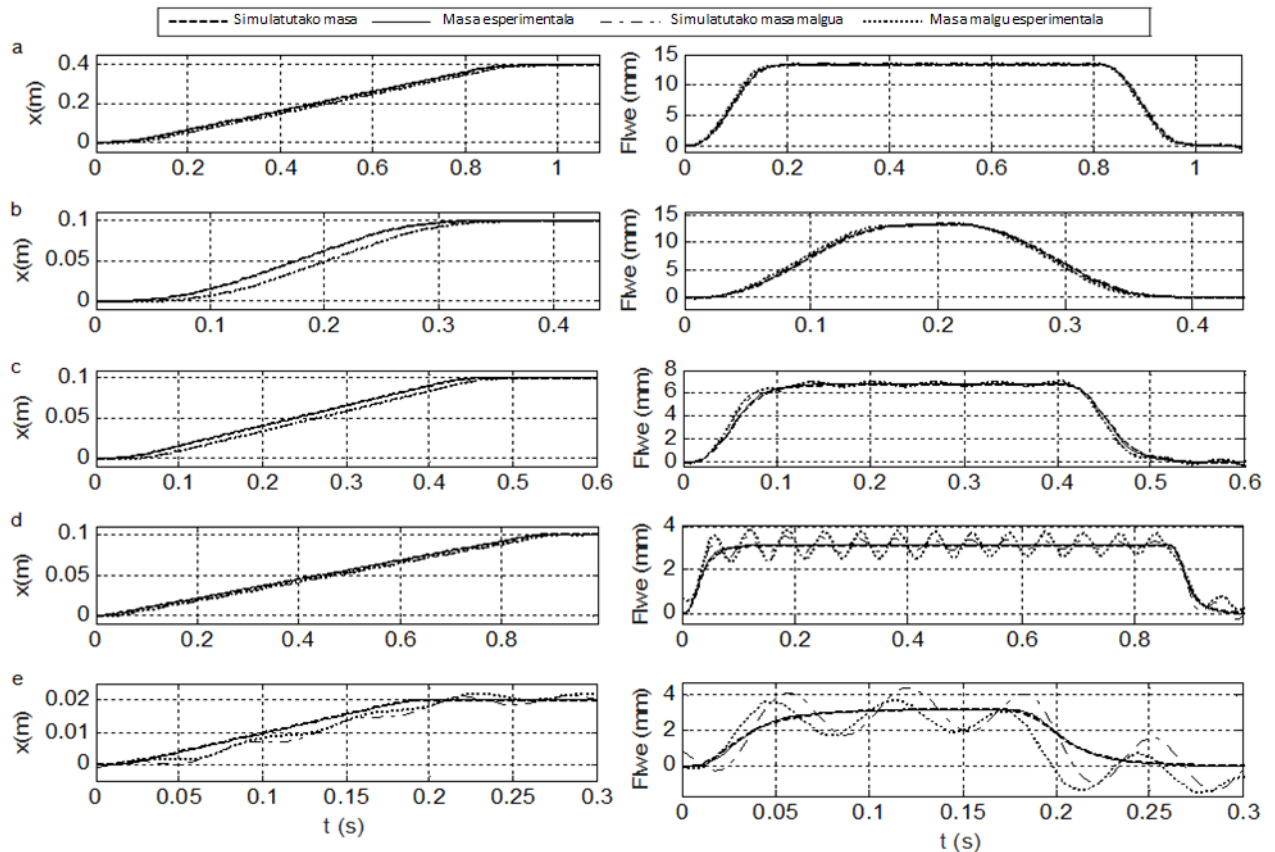
Proba gune batean montatu egin da, 4. Irudian ikusten denez. Honek Fagor serbomotor bat 42,30A FKM 6,3 Nm-ko par nominalarekin, Korta KBS-3210 boladun torloju bat 32mm-ko kanpoko diametroarekin eta 10mm-ko paso bat, eta kodifikatzaile lineal Ls 186 MI640 0,5 μm -ko prezisioa duena dauka. Akzionamendua CNC Fagor 8035 batekin kontrolatuta dago. Akzionamendu mahaiaren goi partean, altzairuzko bi plaka finak jarri dira hegal batekin eta 30 kg-ko masa batekin gainean. Azken hau kontsideratuko da erremintaren punta balitz bezala.

4. irudia. Entsaiu gunea malgutasun masa batekin boladun torloju baten akzionamenduaren gainean



Entseiuetan hau egiten da: ainbat mugimendu lineal egiten dira abiaduraren senu karratuko longitude ezberdinekin, 20, 100 eta 400 mm, eta 7, 15 eta 30 m/min-ko aitzinapen abiadurarekin. Zenbait 6. Irudian emaitzak agertzen dira. Bertan, lorro ez-jarraiak simulatutako posizioa edo mahaia jarraipenaren errorea irudikatzen du. Lerro jarrai lodiak mahaia posizioa eta akatsaren jarraipena da, puntadun lerroak masa malguaren posizioa eta akats jarraipenaren simulazioa. Eta, azkenik, lerro jarrai finak mahaia posizioa eta akatsa jarraituen neurriak dira

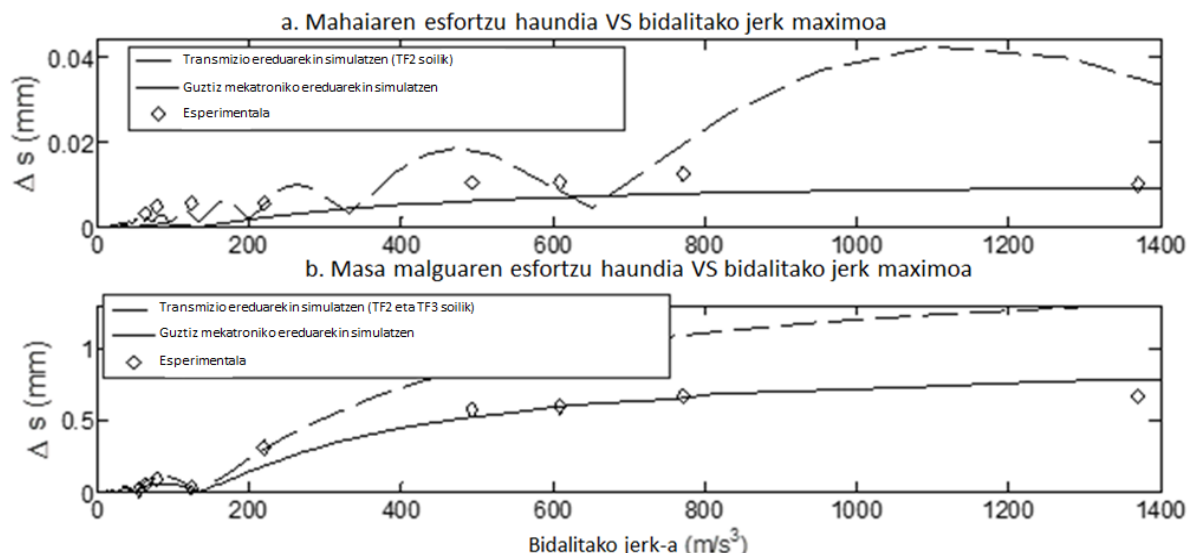
5. irudia. Posizio eta jarraipen akatsaren kurbak, hainbat lan kondizioetarako. Goitik behera: a) $V_f = 30000 \text{ mm/min}$ eta $\Delta x = 400 \text{ mm}$, b) 30000 mm/min eta 100 mm , c) 15000 mm/min eta 100 mm , d) 7000 mm/min eta 100 mm , eta e) 7000 mm/min eta 20 mm



Nagusiki, ikusten da ereduaren kurbak ondo moldatzen direla esperimental kurbetara, 5. Irudian ikusten den moduan. Distantzia motzenen dela eta, mugimendu frekuentzia haundiagoa suposatzen du (5c, 5d eta 5e. irudian), ikusten dira oszilazio haundiagoak masa malguaren jarraipen akatsen. Hau gertatzen da egitura elementuren inertzia eta zurruntasun murriztua dela eta.

Hemen hainbat entseiu egin dira mugimendu perfilaren bidalitako jerk-a aldatzen eta akzionamendu mahaian eta masa malguetan agertzen diren esfortzu haundiak neurtzen. Esperimentalki egiaztatu nahi da nola eragiten dion aldi berean jerk-a eta sistemaren malgutasuna, sistemaren esfortzu haundian. Mahaian eta masa malguan neurtutako esfortzu haundiaren balioak 6a eta 6b irudietan konparatu ahal dira. Simulazioen inguruan, eredu mekatronikoarekin kalkulatu diren esfortzu haundiak irudikatzen dira, baina erreferentzia bat edukitzeko ere agertzen da edukitako desplazamenduak transmisioaren FT-ak kontsideratzen.

6. irudia. Mahaia eta masa malguaren esfortzu haundiak, Δs , bidalitako jerk maximoaren menpe



Eredu mekatronikoaren eta esperimentalen simulatutako esfortzu haundiak konparatzen, esan ahal da nabarmenki kointziditzen direla. 6b irudian entseiu guztiak aurreikusitako joera bat segitzen dute. 6a irudian, ordez, neurtutako esfortzu haundiak aurreikusitakoak baino haundiagoak direla iruditzen da. Mekatroniko ereduaren eta transmisio ereduaren emaitzak konparatuz, argi ikusten da posizio kontrolak balio maximo txikiagoa suposatzen duela mekatroniko ereduaren emaitzak ikusita. Hala ere, aipatu behar da simulatutako kurben forma 6b irudian agertzen den kurbarekin antzekotasuna daukadala, baina ez 6a irudian.

4. Ondorioak

Lehenengo ekarpenak 3 a.m.-ko eredu mekatroniko bat da, zeinek transmisio katearen, makina-erreminta haundiaren egitura elementuak, eta posizio, abiadura eta korrante kontrola integratzen duena. Eredua makinaren egitura elementuen elastizitatearen influentzia simulatzeko helburuarekin programatua izan da. Ikusi da erremintaren punta desplazamendu ezberdina egiten duela kodifikatzaile linealaren kontrolak desplazamenduaren neurriekin konparatuta.

Proba esperimentaltentzako, entseiu gune bat erabili izan da, zeinek boladun torloju batez akzionamendu bat daukana eta masa malgu bat makina-erreminta haundi baten elastikotasuna simulatzen duena. Egin dira hainbat entseiu aitzinapen eta ibilaldi ezberdinekin eta ikusten dira ereduarekin doikuntza ona.

Masaren balio maximoaren aldakuntza bidalitako jerk maximoarekin alderatuta analizatzeko, zenbait entseiu ere egin dira, desplazamendua interferometro linealarekin neurtzen. Emaitzak ereduaren predikzioarekin doikuntza onak plazaratzen dute.

Bukatzeko, erreminta bat aurkezten da diseinuaren etapako edozein egitura elementu akzionamendu ezberdineko entseiuak simulatu ahal duena, proba eta akats faseak murrizten, eta horrela saihestea prototipo haundiak eta garestiak eraikitzen.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Hurrengo urratsa, beste kontrol mota batean frogatzea litzateke.

6. Erreferentziak

- [1] Zulaika, J. J., Campa, F. J., and Lopez de Lacalle, L. N., (2011), "An integrated process-machine approach for designing productive and lightweight milling machines," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 51(7–8), pp. 591–604.
- [2] Uriarte, L., Zatarain, M., Axinte, D., Yagüe-Fabra, J., Ihlenfeldt, S., Eguia, J., and Olarra, A., (2013), "Machine tools for large parts," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, 62(2), pp. 731–750.
- [3] Gomez-Acedo, E., Olarra, A., Zubieta, M., Kortaberria, G., Ariznabarreta, E., and López de Lacalle, L. N., (2015), "Method for measuring thermal distortion in large machine tools by means of laser multilateration," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 80(1–4), pp. 523–534.
- [4] Fernandez-Gauna, B., Ansoategui, I., Etxeberria-Agiriano, I., and Graña, M., (2014), "Reinforcement learning of ball screw feed drive controllers," *Eng. Appl. Artif. Intell.*, 30, pp. 107–117.
- [5] Dequidt, A., Castelain, J.-M., and Valdès, E., (2000), "Mechanical pre-design of high performance motion servomechanisms," *Mech. Mach. Theory*, 35(8), pp. 1047–1063.
- [6] Altintas, Y., Verl, A., Brecher, C., Uriarte, L., and Pritschow, G., (2011), "Machine tool feed drives," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, 60(2), pp. 779–796.
- [7] Caracciolo, R., and Richiedei, D., (2014), "Optimal design of ball-screw driven servomechanisms through an integrated mechatronic approach," *Mechatronics*, 24(7), pp. 819–832.
- [8] GroB, H., Hamann, J., Wiegärtner, G., (2001), *Electical feed drives in automation.*, Publicis-MCD.

Tresna diamantatuaren fabrikaziorako matrize metalikoen garapenean sinterizazio-atmosferaren eragina hauts-metalurgiaren bidez

Gonzalez, Nerea; Luno-Bilbao, Carmen; Iturriza, Iñigo.

CEIT eta TECNUN (Nafarroako Unibertsitatea). Materialak eta Fabrikazioaren Dibisioa.
Manuel Lardizabal pasalekua 15, 20018 Donostia
ngpolvorosa@ceit.es

Laburpena

Next 400 hauts prealeatuaren segmentuen sinterizazio aztertu da. Hidrogeno/nitrogeno erlazio ezberdineko atmosferak erabili dira sinterizazio askeko zikloetan. Hauts konposateak diamantearekin eta diamante gabe sinterizatuak izan dira. Diamanteak estaldurarik gabe eta Ti estaldurarekin erabili dira. Matrize/diamante/atmosferaren arteko interakzioa karakterizatu da dentsitatea, mikroegitura eta diamanten degradazioa matrizea disolbatu ostean aztertuz. Atmosfera ez erreduktoreetatik ateratako diamanteek degradazio handiagoa erakusten dute. Sinterizazio-atmosfera eta lehengaien oxigeno-kantitatea parametro kritikoak dira diamanteen gainazala babesteko.

Hitz gakoak: tresna diamantatuak, sinterizazio askea, sinterizazio-atmosfera, hauts prealeatuak

Abstract

The sintering behaviour of Next 400 prealloyed powder was studied by free sintering. Atmospheres with different hydrogen/nitrogen ratios were used in the sintering cycles. Powder compacts with and without diamond additions were sintered. Uncoated and Ti coated diamonds were used. The interaction between bond/atmosphere/diamond was characterized in terms of density, microstructure and degradation of the diamonds after dissolving the matrix. Diamonds processed under atmospheres with low hydrogen content showed evidence of strong degradation. Both sintering atmosphere and oxygen content of the raw materials are critical parameters in order to protect the surface of the diamonds.

Keywords: diamond tool, free sintering, sintering atmosphere, prealloyed powder

1. Sarrera eta motibazioa

Arroka naturalak mozteko eta ingeniaritza zibilerako tresna diamantatuak erabiltzen dira askotan. Tresna hauek mota ezberdinetakoa izan daitezke: diskoak, hari diamantatuak, zumitzak eta zulaketarako barautzak (Konstanty, 1991). Tresna diamantatuak euskarri metaliko bat daukate eta bertan soldadura bitartez segmentuak edo eraztunak (perlinak) gehitzen dira. Bai segmentuak baita perlinak ere matrize funtzioa duten fase metaliko batez, eta honetan murgilduta dauden diamante-partikulaz osatuta daude. Diamante partikulen helburua moztea da eta matrizearena diamantea eustea eta erremintaren higadura kontrolatzea da (Konstanty, 2005). Pieza diamantatu hauek hauts-metalurgiaren teknologiaren bitartez kantitate handietan produzitzen dira urtero.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Azken urteetan harri naturalaren erabilera zabaltzea posiblea izan da kostuen jaitsierari esker. Jaitsiera hau arrazoi ezberdinengatik eman da; makina berrien sorkuntza, diamanteen prezioen jaitsiera eta hauts eta prozesuen berrikuntza. Hauts-metalurgiari dagokionez, ikerketa kobalto matrize metaliko alternatiboz, partzialki edo guztiz, ordezkatzeari oinarritu da. Historikoki, kobalto matrize bezala erabili izan da, baina konposatu kimiko honen prezio fluktuazioa zela eta hau aldatzeko joera egon da. Fe-Co-Cu-z osatutako hauts prealeatuak gogortasun egokia eta diamanteak eusteko gaitasun aproposa erakusten dute (Wang eta Rolf, 2003; Vielma et al., 2010). Hau dela eta, lan honen helburua Fe-Co-Cu-z osatutako hauts-prealeatu baten (Next 400) sinterabilitatea aztertzea izan da, atmosfera erreduktore ($75\% \text{ H}_2 + 25\% \text{ H}_2$) eta ez erreduktore ($5\% \text{ H}_2 + 95\% \text{ H}_2$) batean sinterizatuz. Baita, estaldura gabeko diamanteak eta estalduratuak erabiltzea izan dezakeen efektua analizatu da. Horrenbestez, bai matrize baita diamante eta atmosfera motaren erabileraren eragina ere aztertu egin da.

3. Ikerketaren muina

3.1 Materialak eta prozedura esperimentalak

Next 400 hauts prealeatua (1. taula) eta bi diamante mota erabili dira. Azken hauek Iljin Diamond enpresako ISD 1600 seriekoak dira, 40/50 mesh granulometriakoak. Batzuk titanio estaldura dute (ISD 1600Ti) eta besteak estaldurarik gabekoak dira (ISD 1600).

1. taula. Next 400 hauts prealeatuaren ezaugarri fisiko eta kimikoak.

	% pisuan				dteor (g/cm ³)	FSSS (μm)
	Fe	Cu	Co	O		
N400	50	35	15	0.72	8.35	2

Hautsaren morfologia eremu-igorpen kanoi-eskanerrezko mikroskopia elektroniko (FEG-SEM) bidez ikertu da. Oxigeno kantitatea gas geldo baten fusioaren bitartez LECO TC-400 analizagailu batean neurtua izan da. Hautsaren karakterizazioarekin jarraitzeko kalorimetriazko eskaneatzaile diferentzial (DSC) bat erabili da, 1200 °C-tara igoz 10 °C/min-ko berotze-abiadurarekin hidrogenozko atmosfera batean. Emaitz hauek ThermoCalc[®] programa erabiliz aztertu dira. Diamanteen gainazala eta morfologia eskanerrezko mikroskopia elektroniko (SEM) aztertu dira.

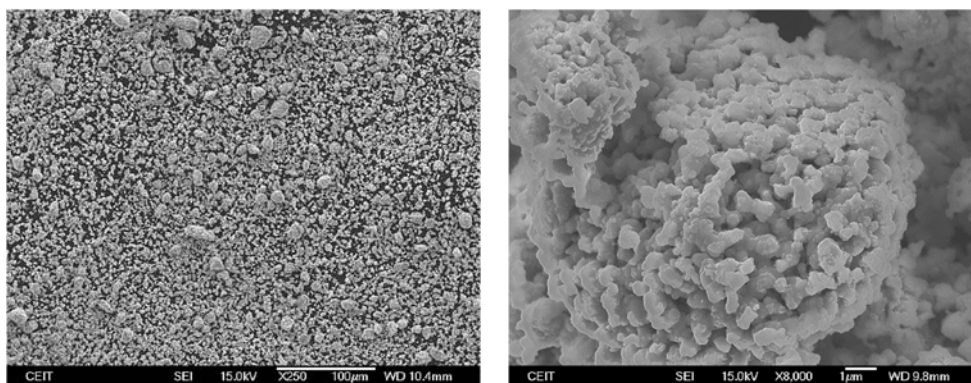
Sinterabilitatearen azterketarako diamantea C25 kontzentrazioan (1,1 carats/cm³) gehitu zaion hauts prealeatua erabili da. Nahasketa hau turbulan egin da 45 min eta 49 rpm baldintzetan, homogeneotasun egokia lortzeko. Ardatz bakarreko prentsa baten bitartez pieza berdeak (20x7x7 mm³) lortzen dira 200 MPa-eko presioa aplikatuta. Hemen % 60-ko dentsitate berde erlatiboa lortzen da. Laginak atmosfera erreduktore (75 % H₂ + 25 % H₂) eta ez erreduktorean (5 % H₂ + 95 % H₂) sinterizatu dira 900 °C-tara 60 minutuko mantentze-denborarekin.

Dentsifikatutako laginen dentsitatea Arquimedes metodoaren bitartez neurtu da, eta bai sinterizazio ondorengo matrizearen mikroegitura bai diamanten gainazala eskanerrezko mikroskopia elektroniko (SEM) bidez ikertu dira. Diamanteak hobeto aztertzekeo matritetik atera egin dira matrizea aqua regia bitartez disolbatuz.

3.2 Emaitzak

1. irudian Next 400 hauts prealeatuaren morfologia erakusten da, hauts fina eta porotsua da. Hauts prealeatuaren ezaugarri nagusienetariko bat hauts partikula guztiek konposizio bera daukatela da.

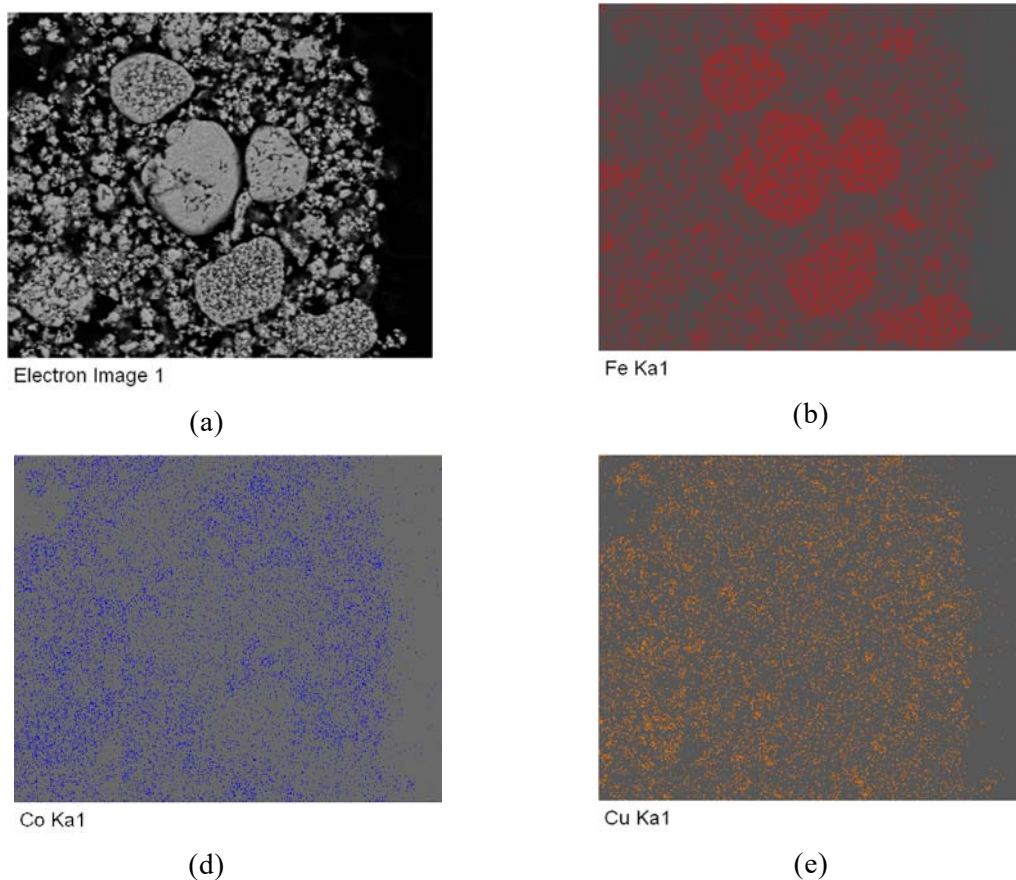
1. irudia. Next 400 hauts prealeatuaren mikrografiak.



Hala ere, hautsaren azal leundua aztertzean (2. irudia) izaera ezberdineko hauts prealeatuzko partikulak ikus daitezke. 2. irudiko (b), (d) eta (e) irudietan elementuen banaketa ikus daiteke.

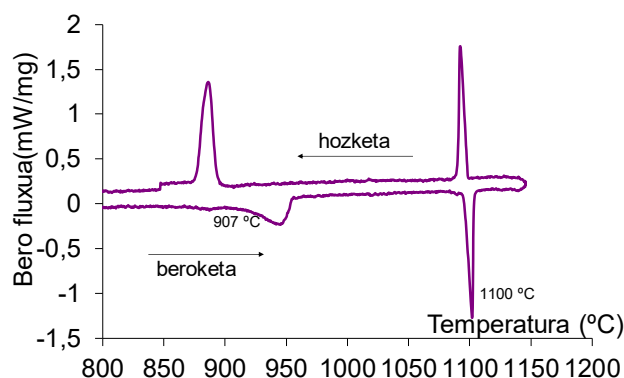
Partikula gehienak Fe-Co-Cu sisteman oinarrituak daude, hauts prealeatuari dagokionez, baina beste batzuk Fe-ean aberatsak dira eta ez daukate Co-rik.

2. irudia. Next 400 hauts prealeatuaren azal leunduaren (a) mikrografia eta (b), (d) eta (e) mappin-ak



Kalorimetria saiakuntzak erakusten duenez (3. irudia) hautsak bi gailur endotermiko ditu. Lehenengoak Fe/Co-aren austenizazioari dagokio (940 °C inguru) eta bigarrenak Cu-aren fusio-puntuari (1100 °C inguru) dagokio.

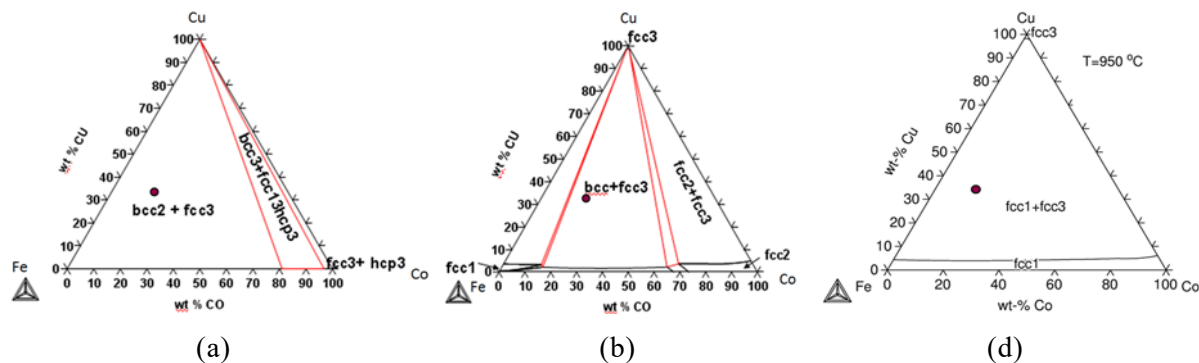
3. irudia. Next 400 hautsaren kalorimetria saiakuntza.



4. irudian sekzio isotermoko Fe-Co-Cu hirunako fase-diagramak agertzen dira, ThermoCalc[®] programa bidez kalkulatuak 25 °C, 900 °C eta 950 °C-tarako. Next 400 hautsaren konposizioa puntu more batez adierazi da diagrama bakoitzean. Giro tenperaturan (4. irudia (a)) Cu-ak FCC egitura dauka eta Fe/Co disoluzio solidoak, ordea, BCC egitura. Temperatura 900 °C-tara igotzean

(4. irudia (b)) Cu-a Fe/Co-an apur bat disolbatzen da. Baita ere Co gutxiko Fe-Cu sistematan austenizazioa hasten da, baina ez Next 400 hautsaren kasuan ikusten den moduan. 950 °C-tan (4. irudia (d)) Cu-a Fe/Co soluzioan apur bat gehiago disolbatzen da. Cu-ak FCC egitura jarraitzen du baina Fe/Co disoluzio solidoa ferritatik (BCC) austenitara (FCC) aldatu da.

4. irudia. ThermoCalc® bidez egindako sekzio isotermoak Fe-Co-Cu hirunako fase-diagramak (a) 25 °C, (b) 900 °C eta (d) 950 °C-tan



Hau ikusita 900 °C-tako sinterizazio-temperatura aukeratu izan da. Modu honetan Fe/Co soluzio solidoak egitura ferritikoa izango du, ondorioz diamantearen karbonoa disolbatzeko ahalmen txikiagoa izango du egitura austenitikoak baino.

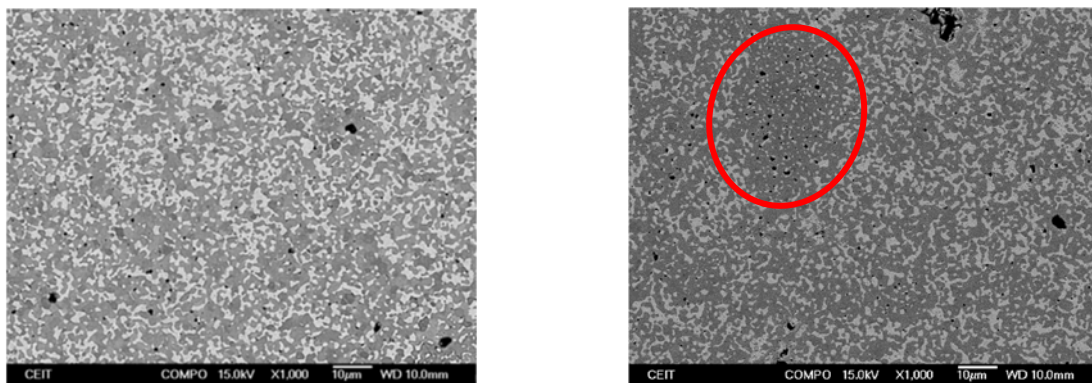
Lehenengo sinterizazio zikloak diamante gabeko laginetan egin dira. Lortu izan diren oxigeno kantitateak eta dentsitateak 2. taulan azaltzen dira. Atmosfera ez erreduktorean lortzen den % dentsitate teorikoa (% DT) atmosfera erreduktorean baino baxuagoa da. Hau oxigeno-kantitatearekin erlazionaturik dago. Hasierako hautsak oxigeno-kantitatea zehaztuta dauka (1. taula) eta oxido-geruza bezala kokatzen da hautsaren gainazalean sinterabilitatea mugatuz. Oxido-geruza honek atmosferarekin interakzionatzen du; atmosfera erreduktoreetan hidrogenoarekin batera erreakzionatzen du erreduzituz, honela hautsaren gainazala garbi geratzen da difusio prozezuak gertatzeko, eta ondorioz dentsifikazioan lagunduz. Beste alde batetik, atmosfera ez erreduktorea erabiliz oxigeno kopuruaren murrizketa txikiagoa da eta, horrenbestez, hautsaren sinterizazioa murriztu egiten da.

2. taula. Laginen dentsitateak eta oxigeno-kantitateak sinterizazio ostean, bi atmosfera ezberdin erabilia.

Sinterizazioa 900 °C	75 % H ₂ + 25 % H ₂	5 % H ₂ + 95 % H ₂
Oxigeno-kantitatea (% pisuan)	0.036 ± 0.003	0.103 ± 0.003
Dentsitatea (% DT)	97.4	93.7

5. irudian hautsaren mikroegiturak aurkezten dira, 75 % H₂ + 25 % H₂ atmosfera erabilia. Mikroegitura homogeneoa antzematen da; fase gris argia FCC Cu fasearekin bat dator eta fase gris iluna, ordea, BCC Fe-Co soluzio solidoa da (4. irudiari dagokionez). Fase zirkular beltzak itxi gabeko poroak dira, 5 % H₂ + 95 % H₂ atmosferan ugariagoak dira. Hau bat dator dentsitatearekin. 2. irudian erakutsi zen bezala, sinterizazioa eta gero Fe-ean aberatsak ziren partikulak nabaritzen dira oraindik (zirkulu gorriak).

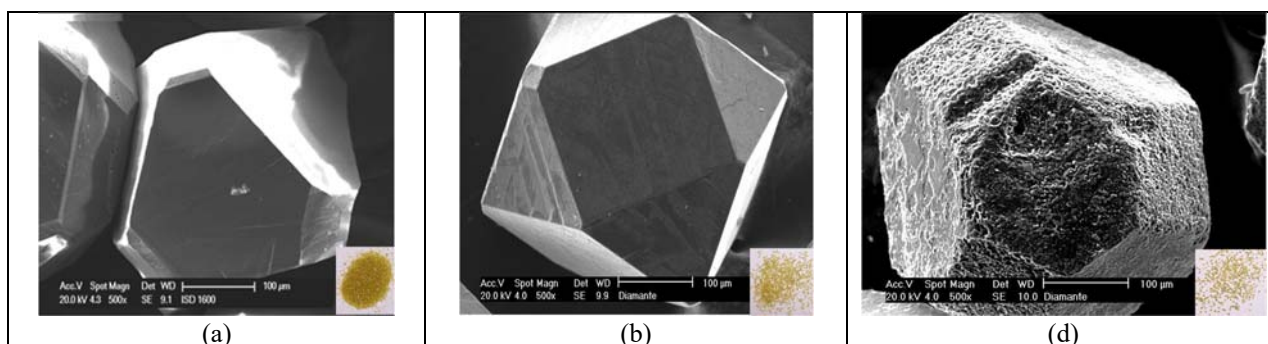
5. irudia. Next 400 hautsaren mikroegiturak 900 °C-tan sinterizatuta 75 % H₂ + 25 % H₂ atmosferapean



Diamante-erremintan, matrizeaz aparte diamanteak ere garrantzitsuak dira, azken finean atal ebakitzaila da eta. Hauek sinteraizazio ostean, mozketarako egoera egokian egon behar dira, ertz definituekin eta degradazio gutxiarekin. Hau dela eta hauts prealeatua diamante adizioekin sinterizatu da ere, tenperatura eta atmosfera berdinak erabiltuta. Laginen dentsitateak diamante gabekoen berdinak izan dira.

6. irudian estaldurarik gabeko diamanteak ikus daitezke, (a) sinterizatu aurretik eta (b) eta (d) 900 °C-tara sinterizatu ostean 75 % H₂ + 25 % H₂ eta 5 % H₂ + 95 % H₂ atmosferetan hurrenez hurren. Mikrografia hauetan ikus daitekeenaren arabera, diamanteak baldintza egokietan mantentzen dira atmosfera erreduktorean, ertz zorrotzak mantenduz eta tenperaturaren eraginak edo matrizearekiko erreakzioak sor dezaketen gainazaleko alteraziorik gabe. Hala ere, atmosfera ez erreduktorean diamanteak degradazio-aztarna nabariak erakusten ditu. Ertzak kaltetuak agertzen dira eta diamanten aurpegiak matrizearekin erreakzio ebidentziak erakusten dute. Diamantea biribildu egin da. Baldintza hauen menpe, diamanteentzat atmosfera erreduktore bat onuragarriagoa da.

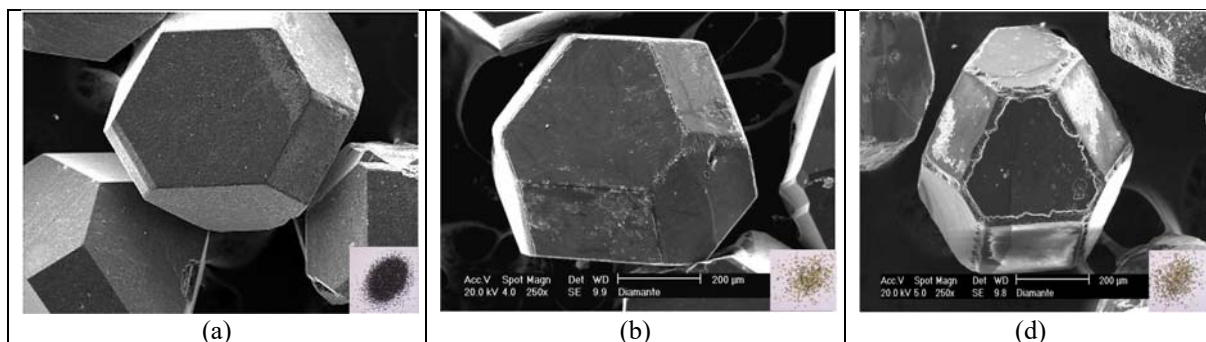
6. irudia. ISD 1600 diamanteak (a) sinterizatu gabek eta Next 400 hautsarekin batera sinterizatuak 900 °C-tara (b) 75 % H₂ + 25 % H₂ atmosferan eta (d) 5 % H₂ + 95 % H₂ atmosferan.



500-700 °C bitartean diamantea oxigenoarekin erreakzionatzen hasten da, baldintzen arabera CO₂-a eta CO-a emanaz. Erreakzio honen produktua gasa denez, diamantearen degradazioak diamante guztia kontsumitu arte jarraitzen du. Diamantetik karbonoa askatzen da hautsaren oxigenoarekin batera CO₂-a eta CO-a sortuz. Honen ondorioz, diamantea grafito bihurtzen deneko birmoldaketa-prozesua gertatzen da, oxigeno gas errektiboaren presentziaz katalizatua. Oxigenoa hidrogenorekin ordezkaturik, grafitizazio-erreakzioa ez da katalizatzen, metanoaren desortzioa gertatzen baita, eta hidrogeno saturatu bezala gainazalean atxikituta geldituz. Diamante naturalaren grafitizazio-prozesua hutsune-baldintzetan oster 1500 °C-tik gora ematen da eta abiadura oso moteletan, matrizearekin inongo kontakturik ez dagoenean. Co, Fe eta Ni bezalako metalek tenperatura altuetan grafitizazio-erreakzioaren katalizatzaile bezala jokatzeko dutela egiaztatuta da (Davies eta Evans, 1972). Karbono-atomoak katalitikoki diamantearen

gainazalek banantzen dira eta Co, Fe edo Ni pelikularen bidez garraiatzen dira, grafito bezala hauspeatzeko.

7. irudia. ISD 1600Ti diamanteak (a) sinterizatu gabeak eta, Next 400 hautsarekin batera sinterizatuak 900 °C-tara (b) 75 % H₂ + 25 % H₂ atmosferan eta (d) 5 % H₂ + 95 % H₂ atmosferan.



Konparazio modura 7. irudian titanio-estaldurako (ISD 1600Ti) diamanteak agertzen dira, (a) sinterizatu aurretik eta (b) eta (d) 900 °C-tara sinterizatu ostean 75 % H₂ + 25 % H₂ eta 5 % H₂ + 95 % H₂ atmosferetan hurrenez hurren. Aurreko diamanteekin gertatzen zen moduan, 7. irudiaren (b)-ko diamanteak egoera egokian daude. Atmosfera erreduktorea erabiltzen ez duten diamanteen kasuan (7. irudia (d)) ertzak kaltetuak daude, baina diamanteen aurpegiak ez dute erreakziorik erakusten. Halere, diamanteek autozorrozte-ahalmena dutenez, bere funtzioa egiteko kapazak dira, hau da, bere mozte-ahalmena mantentzen dute ertz berriak sortzen direlako. Diamante hauek egoera hobeagoan agertzen dira. Azpimarratu beharra dago diamante hauek titanio-estaldura dutela, eta estaldura honek matrizearekin izan dezaketen erreakzioekiko babesten dituztela.

4. Ondorioak

Sinterizazio-atmosferaren garrantzia laginen dentsifikazioan egiaztatu da, dentsitate handiagoak lortuz atmosfera erreduktorean ez erreduktorean baino.

Diamanteen egonkortasunari dagokionez, atmosfera ez erreduktorean edota oxigenoaren presentzian sinterizatzea ekidin behar da. Diamanteen oxidazio eta grafitizazio erreakzioak gertatzen ez direla bermatzeko egoera idealena, atmosfera erreduktorean sinterizatzea edota estaldura duten diamanteak erabiltzea da.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Material hauen sinterabilitatea eta higadurarekiko erresistentzia hobetzeko Next 400 hautsari Fe/P eta WC adizioak egingo zaizkio kantitate txikietan.

Fe/P gehigarriak izaera alfagena du, sinterizazioa ferrita fasean gertatzea erdiesten du, ondorioz dentsifikazioa hobeagoa izan beharko litzateke difusio koefizienteak ferritan handiagoak direlako austenitan baino. WC adizioari dagokionez, higadurarekiko erresistentzia hobetu beharko luke.

6. Erreferentziak

- J. Konstanty (1991): "The material science of stone sawing", *Industrial Diamond Review*, Vol. 1, 27.
- J. Konstanty (2005): "Powder metallurgy diamond tools", Amsterdam; London:Elsevier,
- C. Y. Wang and C. Rolf (2003): "Frame sawing of stone. Theory and technology", 250,171-180
- N. Vielma, C. Luno-Bilbao, A. Mancisidor, J. M. Sanchez, I. Iturriza (2010): Characterization of diamond tool metallic bonds obtained from prealloyed powders by free sintering". *Proc. PM2010 World Congress*, Florence, 320.
- A. Breen, G. Byrne, B. Twomey and D. Dowling (2011): 'Novel rapid discharge sintering technique for damage-free diamond metal matrix composites', *Powd. Metall.*, 54, 100–102

G. Davies, T. Evans (1972):” Graphitization of diamond at zero pressure and at high pressure” *Proc. of the Royal Society. Lond. A*, Vol. 328 , 413.

7. Eskerrak eta oharrak

Egileek WDiamant Herramientas-i eskertu nahi diote lan hau aurrera eramateko eskaini duen finantza-sostengua.

Sentsore Inertzialen Erabilgarritasuna Trenen Odometria Sisteman: Tekniken laburpena eta ezaugarrien proposamena

Jon Otegui Arruti, Alfonso Bahillo Martínez

Deusto Institute of Technology, DeustoTech, University of Deusto,

Avenida de las Universidades 24, 48007 Bilbao, Spain

jon.otegui@deusto.es

Laburpena

Gaur egun tren baten kokapena era zehatz eta seguru batean ematea erronka latza da. Artikulu hau sentsore inertzialetan oinarriturik dago eta beraien erabilgarritasuna aztertzen du trenetako odometria-sisteman kokapena emateko soluzio gisara. Lanaren emaitza gaur egun arte egindako ikerketen laburpena da eta bertan erakusten dira ibilgailuetan eta bereziki trenetan erabili diren teknika desberdinak. Honetan oinarrituz, IMU (Inertial Measurement Unit) sentsoreen integrazio-eskema bat erakusten dugu, trenerako aproposena dela arrazoitzen. Horrez gain, odometria-sistema orokor batean nola integratu gaisetaz azaltzen dugu. Azkenik, IMU sentsoreen nahitaezko baldintzak zehazten ditugu trenbidearen geometria, trenaren dinamika eta ingurua kontuan hartuz.

Hitz gakoak: Sentsore inertzialak, Trenen kokapena, odometria, IMU diagrama, Datu fusioa

Abstract

Positioning accurately and safely a train is nowadays a great challenge. This paper is focused on the inertial sensors and its applicability in railway safety critical odometry system as a way of train localization. The result is a survey of the techniques developed in land vehicles and specifically in railway to date under the investigation point of view. Based on this survey, an Inertial Measurement Unit (IMU) integration scheme is proposed and discussed as well as a general odometry system is superficially showed. Finally the IMU sensor requirements are listed and justified for railway environment taking into account the track geometry, vehicle dynamics and the surrounding of the train.

Keywords: Inertial Sensors, Train Positioning, Odometry, IMU Architecture, Data Fusion

1. Sarrera eta motibazioa

Gaur egun, arraroa badirudi ere, ez dago trenik bere kokapena erreferentzia-sistema absolutu batean emanda dagoenik; hots, trenbide operadoreek ezin dute tren jakin baten kokapena longitude eta latitude zehatzetan eman. Dena den horrek ez du esan nahi trenbideen kudeaketa-sistema segurua ez denik, beste teknika batzuez baliatzen baita. Egun, sistemarik erabiliena balizetan oinarritutakoa da. Trenbidea kantoi deritzon tarteetan banatzen da. Kantoi bakoitzaren hasieran baliza bat jartzen da eta trena gaisetaz igarotzean trafiko-kudeaketa zentroak tren bat kantoi jakin batean sartu delako abisua jasotzen du (ohikoa da ardatz kopurua kontatzen dituen sentsore bat ere instalatzea, trenaren luzera jakiteko). Hurrengo kantoiaren beste trenik balego, gidariak abisu bat jasoko luke eta denbora pixka bat pasata, azken honek erantzunik emango ez balu, trena automatikoki geldituko litzateke (emergentziako balaztak aktibatuz behar izanez gero). Metodologia hau seinaleztapen-sistemaren zati da baina odometriatik urrun kokatzen da.

Azken urteetan odometriara bideratutako sentsore kopurua asko hazi da, gehienbat MEMS (Microelectromechanical Systems) bezalako teknologia berriek sentsore mota hauen kostea asko jaitsi dutelako. Odometria mugimendu-sentsoreetako informazioa jasotzean datza, ibilgailu baten kokapena denboran zehar nola aldatu den jakiteko. Nabigazio-sistemetan, ordea, kontzeptua bera ere zabaltzeko egin da, posizioaz gain abiaduraren balioa ere kalkulatzera. Gauzak horrela, ibilgailu baten kokapena ezagutzeko 6 aldagai erabili behar dira (3 posiziorako eta beste 3 abiadurarako).

Kokapena jakiteko problema berehalakoa ez dela ikusirik, orain arte emandako soluzioen artean, jarraian datozenak dira ezagunenak. Trenen kasuan, esate baterako, Doppler radarra edo

takometroa bezalako gailuek abiadura neurtzen dute. Hala ere, gaur egun eskuragarri daude kokapen absolutua eskaintzen duten teknologiak, GNSS (Global Navigation Satellite System) eta Baliza Irakurgailuak, besteak beste. Azkenik, zeharkako neurketa ematen duten sentsoreak daude; IMU (Inertial Measurement Unit) deritzonak dira ezagunenak, azelerazio eta abiadura angeluar balioak neurtzen dituztenak.

Segurtasuna jokoan den aplikazioetan odometria-sistemaren zehaztasuna (posizio eta abiadura emaitzak alegia) ahalik eta handien izatea beharturik dago (gutxienez trenbideen artean bereizteko gaitasuna eman behar du soluzioak), sistemaren osotasuna bermatuz. Sentsore bakoitza bere aldetik hartuz gero, ezingo litzateke eskaturiko osotasuna bete inolaz, baina datuak fusionatzeko teknikak erabiliz (sentsore askotako neurketak jasoz), baldintzak bete daitezke. Testuinguru honetan, takometro eta IMU sentsoreak bateratzea proposatzen dugu odometria sistema konplexuago bateko lehen pauso bezala.

Ondorengo dokumentuan IMU sentsoreei buruzko arloko egoera jasotzen dugu. Bertan, orain arte egindako ikerketa-lana jasotzen da. Horrez gain, trenen testuinguruko berezitasunak azaltzen ditugu eta sentsore hauek integratzeko baldintzak biltzen ditugu datozen orrialdeetan.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Sentsore inertzialen erabilpena asko hedatu da nabigaziorako aplikazioetan MEMS teknologia garatu denetik. Sentsorearen osagaiak miniaturizatu ahal izateak kostua izugarri jaitsi du. Atal honetan, azken urteotako lan garrantzitsuenak bildu dira, teknologia hau integratzea jomuga dutenak, bai automobilen alorrean baita trenen kasuan ere.

Sentsore mota hauen abantailen artean mugimendu hutsa neurtzen dutela dago; alegia, neurketak ez dira ibilgailuaren dinamikaren eta ibilbidearen menpeko (gurpil eta trenbidearen arteko atxikidura, alboko azelerazio ez konpentsatua bihurguneetan, seinalearen galera tuneletan eta abar). Honek erabilpen malgua eskaintzen du edozein testuingurutara eta horregatik oso ohiko bihurtu dira automobiletako gidatze autonomoan eta hegazkinen nabigazioan.

Hala ere, teknologia honek ere baditu eragozpenak. Garrantzitsuena MEMS teknologiaz at ere pairatzen den kokapen erlatiboarekin erlazionaturik dago, neurketa bakoitzeko akats gehitzea hain zuzen. MEMS-en kasuan, ordea, errore-mota hau nabarmenago barreiatzen da sentsorearen sentsibilitatea handiago delako.

2.1. Automobiletara bideraturako aplikazioak

Automobilei dagokienez, IMU eta GNSS bateratzen dituen konfigurazioa da gaur egun eskemarik arruntena, alabaina batoren eta bestearen onurak elkartzen ditu. IMU-ak maiztasun handiko informazioa jasotzen du (100Hz nahiko normaltzat hartu daiteke), baina denbora gutxirako balio duen soluzioa eskaintzen du aldiz (errore-gehitzea egotzita). GNSS-ak ordea, posizio absolutua eskaintzen du (ez du errorerik gehitzen aurreko soluzioari) baino maiztasun gutxiagorekin jasotzen da soluzio hori (1Hz litzake ohikoena). Bi sistema hauek bateratuz, bakoitzaren abantailez goza daiteke. Hori lortzeko *loosely coupled system* eta *tightly coupled systems* deritzen integrazio-eskemak erabil daitezke. Lehenaren kasuan GNSS eta IMU-aren posizio eta abiadura balioak bidaltzen zaizkio algoritmoari; bigarrenaren kasuan neurketa hutsak erabiltzen dira eta iterazio bakoitzeko bi sentsoreek elkar banatzen dituzte bakoitzaren neurketak. Lan asko daude integrazio hauetan zentratuak; (Munguía, 2014)-n aurkitu daiteke momentura arteko lan esanguratsuenen laburpena.

Kostu baxuko 6 askatasun-gradu (DOF) dituen IMU eta GNSS arteko integrazio-eskema proposatzen da (Maklout et al., 2013) lanean, *loosely coupled configuration* deritzon arkitekturan. Mekanizaziorako ekuazioetan (neurketetatik soluziora pasatzeko ekuazioetan alegia) Coriolis-en azelerazioa kontuan hartzen da eta orientazioaren zuzenketa kuaternioi bidez egiten da. Kasu honetan erabilitako fusio-algoritmoa Kalman-Filtroa izan da, zeharkako inplementazio batean.

Magnetometro bat txertatzea proposatzen du (Munguía, 2014)-k, IMU-aren DOF-ak 9-ra zabalduz. IMU eta GNSS arteko integrazioa aurreko lanaren berbera da baina datuen fusioa Kalman-Filtroaren linealizazio teknika bidez egiten da; algoritmoa Kalman-Filtroaren hedapen bat litzateke, EKF akronimoz ezaguna. Bertan 22 aldagai erabiltzen dira (berez 6-kin nahikoa litzakeela gogoan izan), algoritmoaren dinamika eta neurketa-modeloak Taylor-en seriezko garapenarekin lineal bilakatuz.

Orientazioa zuzentzeko teknika bat proposatzen dute (Abyarjoo et al., 2015)-n magnetometroaren neurketak erabiliz eta uneoro lurraren eremu magnetikoa zein den jakinda. Horrela kalkulu bakoitzeko errore-gehitzea zuzentzea lortzen dute. Horrez gain *roll* eta *pitch* angeluak (X eta Y ardatzetako biraketak) kalkulatzeko Kalman-Filtroaren aplikazioa ere erakusten dute.

Tenperatura-sentsore bat sartzen du IMU-an lehenbizikoz (Denti et al., 2010)-k, tenperaturak eragindako deriba zuzentzeko asmotan. Kasu honetan IMU eta GNSS sentsoreak bateratzen dira, baina GNSS-ko informazioa erabiltzea proposatzen dute IMU-aren soluzioa zuzentzeko.

IMU teknologia desberdinak aztertzen dituzte (Godha eta Cannon, 2005) lanean: beraien emaitzen arabera, teknologia bakoitzak eragin nabarmena du fusionaturiko soluzioan. Hala ere, fusio-algoritmoa landuz dezimetro eskaseko diferentzia lortzen dute kostu baxuko IMU baten eta punta-puntako IMU baten emaitzak alderatuz. Hala ere, GNSS seinalea galtzean, kostu baxuko IMU-aren deriba askozaz ere nabarmenagoa dela onartzen dute.

Gutziz bestaldeko lana da (McCarron, 2013)-k aurkezten duena. Bertan, inoiz ez bezalako kostu baxuko arkitektura bat erabiltzen da (osotasunean 70 dolar azpiko plaka elektronikoa bat diseinatuz). Azelerometro (ADX1345) eta giroskopio (ITG3200) bat erabiltzen dira *Arduino* plaka elektronikoa konektatua. Algoritmoa bertan programatzeko aukera dagoenez, sistema benetan sinplea eta merkea lortzeko gai izan da.

2.2. Trenetan aplikaturiko soluzioak

Ikusi bezala, automobiletako aplikazioetarako arkitektura orokorrak nahiko definituta daude; tren kasuan, aldiz, eskemak ez dira batere zehatzak. (Mirabadi et al., 1996)-k hiru aukera posible planteatzen ditu (GNSS/IMU, Doppler radarra/GNSS eta GNSS/IMU/Doppler radarra/Takometroa) baina lan hau nahiko zaharrituta dagoela kontsideratu daiteke GNSS-aren zehaztasuna, grabaziorako maiztasuna eta IMU teknologiei buruzko alorrean.

Lan batzuk GNSS/IMU integrazioan zentratzen dira, automobiletan egindako lanaren emaitza berdintsuak lortuz (B. Cai et al., 2000). Bertan estima bidezko nabigazioan oinarrituz eta errore-kompentsazio modelo bat eraikiz, GNSS eta IMU fusio-eskema bat aurkezten da, EKF algoritmo ezaguna inplementatuz. Ildo beretik, osotasuna monitorizatzeko teknikak ere garatu dira (Allan et al., 2004) non trenen ingurugiroko sentsore guztiak biltzen diren (takometroa, IMU, GNSS, Doppler radarra eta Trenbidearen Mapa Digitala). Osotasun kontzeptua zinez da garrantzitsua trenen kasuan, izan ere, honek neurtzen baitu sistemaren segurtasun maila. Horrela, segurtasunaren ikuspuntua gehitzea lortzen zaio nabigazioko problemari.

Informazio-Filtroaren programazio sinple bat egiten du (Larsson, 2014)-k bere lanean IMU, GNSS, takometro eta Doppler radarra erabiliz. Informazio-Filtroa eta Kalman-Filtroa bata bestearen osagarri dira, perspektiba desberdinetatik ondorioztatuak. Lan honetan, 9 aldagai erabiltzen dira soluziora iristeko. Simulazio ingurua *Simulink*-en garatua dago eta inplementazio-lana bereziki azpimarragarria da. Hala ere, autorearen hitzetan emaitzak ez dira ondorioak ateratzeko bezain onak.

Badira lanak Kalman-Filtroaren ordeztu, Partikula-Filtroak erabiltzen dituztenak datuen fusioa egiteko. Horren adibide litzake (Heirich, 2016), non trenbidearen informazio jakinik eta Partikula-Filtroaren algoritmoa erabiliz, gai den trena ibilbidearen %99,3an zer trenbidetan kokatzen den esateko.

Kostu txikiko arkitekturetan zentratuz, (Hemerly eta Schad, 2008)-k takometroa oso erabilgarri dela onartzen dute, bereziki GNSS seinalearen galera jazo daitekeen inguruetan (tuneletan, zubi azpiko ibilbideetan edota baso zerratueta).

Lan honetako autoreek dakigun puntura arte, trenen odometriaren inguruan egin den lanik garrantzitsuenak Florentzia eta Siena-ko unibertsitateek argitaratutakoa da (Malvezzi et al., 2014). Sistema, takometro eta 6 DOF-ko IMU baten integrazioan oinarritzen da. Horrez gain, trenaren modelo dinamiko bat garatzeak eta bi Kalman Filtro erabiltzeak lan hau inoiz egin den onenetariko bat bezala sailkatzea eramaten gaitu. Emaizten arabera, europar tren kontrol sistemaren (ECTS) baldintzak betetzen dituzte, lorturiko zehaztasuna oso altua izanik. Lan honek hainbat artikulua aitzindari ditu non trenetako sentsoreen arloko egoera erakusten den eta Takometro eta IMU arteko arkitektura eztabaidatzen den, trenaren modelo dinamikoa eraikitzen den (Allotta et al., 2012) eta takometroaren sistema hobetzen den (Allotta et al., 2002).

Egungo ikerketa soluzioaren zehaztasuna lortzean datza (10 metro inguru noranzko longitudinalean eta metro eskasekoa noranzko perpendikularrean), sistemaren osotasuna (zehaztasuna, jarraipena eta erabilgarritasuna) oso altu mantenduz, segurtasun aplikazioetan erabili ahal izateko (Bedrich eta Gu, 2004).

1.Taula. Zehaztasun, erabilgarritasun eta koste desberdineko odometria sistemak.

	Egileak	Zehaztasuna	Erabilgarritasuna	Kostea
Automobiletarako aplikazioak	(Maklout et al., 2013)	-	-	Crista IMU = 2000\$ Garmin 18 LVS GNSS = 84,99\$
	(Denti et al., 2010)	Roll max/min (RMS) = 2,47°/0,438° Pitch max/min (RMS) = 1,89°/0,45° Yaw max/min (RMS) = 5,15°/0,836°	-	-
	(Godha & Cannon, 2005)	2D Posizioa = 0,38m (<i>Low Cost</i>) 2D Posizioa = 0,32m (<i>High End</i>) 2D Abiadura = 0,071m/s (<i>Low Cost</i>) 2D Abiadura = 0,021m/s (<i>High End</i>)	30s GNSS seinale gabe Crista IMU = 17,3m deriba Honeywell HG1700 IMU = 0,98m deriba	Crista IMU = 2000\$ Honeywell HG1700 IMU = 9000\$ NovAtel OEM4 GPS = 7500\$
	(McCarron, 2013)	-	-	ADXL345 Accelerometer = 3,69\$ ITG3200 gyros = 4,73\$ Integrated ADXL345 & ITG3200 = 64,95\$
Trenetarako aplikazioak	(Larsson, 2014)	Roll max (RMS) = 50° Pitch max (RMS) = 100° Yaw max (RMS) = -400° Iparralde-Posizioa (N) = 3m Ekialde-Posizioa (E) = 5m Behera-Posizioa (D) = -3m	-	-
	(Hemerly & Schad, 2008)	-	1000s GNSS seinale gabe Latitude errorea = 16m Longitude errorea = 29m	-
	(Malvezzi et al., 2014)	Bidaiauriko distantzia-errorea < 5m Abiadura-errorea < 0,5 m/s	-	-

Ikerketa lan hau IMU motatako sentsoleen aplikazioa aztertzean datza, trenetako odometria-sistemaren zati bilakatu daitekeen ala ez argudiatuz. Horrela, helburu nagusia trenean instalatu ahal izateko zer baldintza bete behar dituen biltzea da.

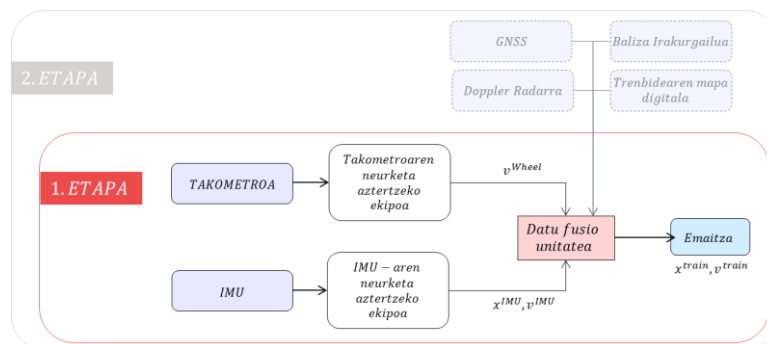
3. Arkitektura proposamena

Atal honetan, odometriako arkitektura orokorra erakusten dugu. Ez da lan honen helburua eskema hau eztabaidatzea baina garrantzizkoa dela ulertzen dugu IMU-a non integratu behar den ikusteko. Lan honetan IMU-aren arkitektura bakarrik landuko dugu; izan ere sentso mota hau da gutxien erabili dena orain arte trenen testuinguruan (GNSS-arekin batera) eta honen inguruko ezagutza mugatuagoa da. Lan honek bide hau urratu nahi du dagoen jakintza maila areagotuz.

3.1. Eskema orokorra

Odometriako sistemak, esan bezala, IMU eta takometroaz gain, beste motatako sentsoak ere onartu behar ditu. Hori dela eta, jarraian ikusten den eskemak GNSS, baliza irakurgailuak eta Doppler radarrak ere kontuan hartzen ditu, baita trenbidearen mapa digitalen informazio fidagarria ere. Odometria-sistema orokorraren lehen etapa IMU eta takometroa integratzean datza. Etorkizunean, beste sentsoak ere integratuko lirateke.

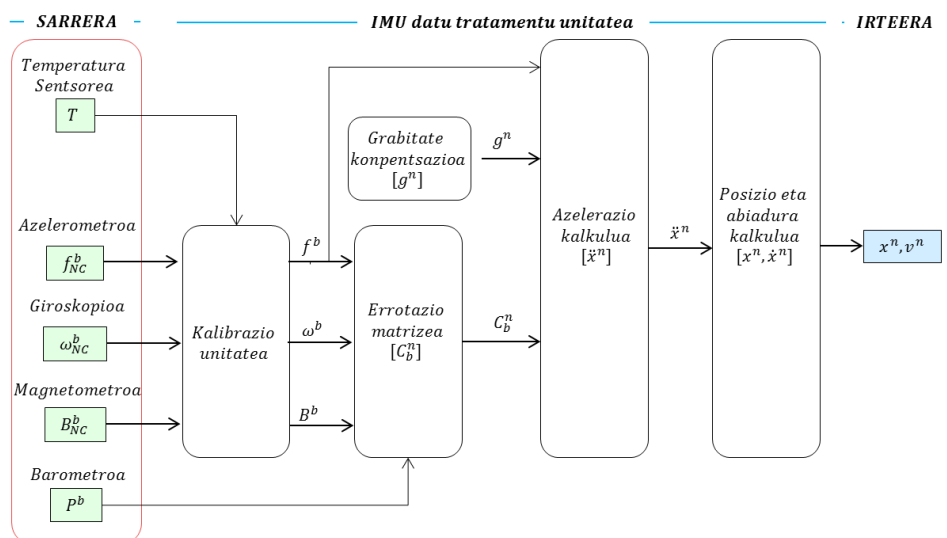
1.Irudia Odometria sistemaren arkitektura orokorra.



3.2. IMU sentsoarearen arkitektura

IMU sentsoak eskema mota ugari onartzen ditu inguruaren arabera. Lan bibliografikoari kasu eginez eta trenen ingurua kontuan hartuz jarraian aurkezten dugu gure proposamena. Kutxa gorrian IMU-aren barruan leudeken sentsoak azaltzen dira. Kasu honetan IMU-aren 10 DOF- ez gain tenperatura neurtzeko gailua integratzen da, tenperatura-deriba ekidin edota zuzentzeko.

2.Irudia. IMU sentsoarearen neurketak eta ondorengo prozesatuaren eskema partikularra.



3.3. Sistemaren ezaugarriak

Diseinatutako IMUaren eskema odometriako arkitektura orokorrean baliogarri izan dadin, jarraian azaltzen diren baldintzak bete beharko ditu.

- IMUak gutxienez 6 DOF izan behar ditu (Azelerometro eta giroskopioaren balioak alegia) baina magnetometroaren eta barometroaren neurketak ere onartu beharko ditu. Orain arteko lanetan ez da azken bi sentsore hauek egin dezaketen ekarpenik zehaztu trenen testuinguruan. Hortaz, bide honetatik jotzea beharrezkoa dela esan daiteke.
- Kostu txikiko ekipoetan interesa izanik (azken helburua odometria-sistema trenetan instalatzea litzake, hortaz, gehienez ehunka euro balio dituen sistema batean pentsatu beharko litzateke), erabilitako teknologia MEMS motatakoa izango da eta sentsoreak OEM formatuan erosi beharko dira (integrazio-kostuak altuak dira normaliki).
- Datuak grabatzeko gutxienezko maiztasuna 10Hz-takoa izango da, 100Hz gomendagarri izanez (Zhang et al., 2013)-k egindako lanean oinarrituz. Bertan irakurri daitezkeen modura, maiztasun handiagoak erabiltzean Kalman Filtroko aldagaiak edota modeloak aldaketak jasa ditzakete (Coriolis azelerazioa kontuan hartu beharrezkoa izaten baita).
- IMU-aren arkitekturak sistema osoa denboran sinkronizatzea ahalbidetu behar du. Horretarako teknika desberdinak erabil ditzake: PPS, UTC denbora etab. Ezaugarri hau bereziki da garrantzitsua etorkizunean integratu daitezkeen sentsoreak denbora-marka bat izan dezaten.
- Temperatura-sentsore bat izatea gomendagarria da deriba zuzentzeko aukera ematen duelako. Kontuan hartu beharreko aldagaia da temperatura trenen testuinguruan, gauez eta egunez oso aldakorra izan daitekeelako herrialdearen arabera.
- Azelerometroaren neurketa-tartea $2g$ -ra (20 m/s^2 gutxi gorabehera) mugatu daiteke. Trenen operazioan gehieneko azelerazio balioa $0,6 \text{ m/s}^2$ ingurukoa da, dezeleraziotan $1,0 \text{ m/s}^2$ balioetara iritsiz (Heirich et al., 2011).
- Giroskopioaren kasuan hiru angelu neurtu behar dira:
 - Orientazioa: ingelesezko *heading* izenez ere ezaguna den parametroa erabiltzen da orientazioa neurtzeko eta ipar geografikotik aldenduriko angelua neurtzen da (Heirich et al., 2011). Trena martxan denean orientazioak trenbidearen kurbatura neurtzeko balio izango digu. Trenen kasuan, bihurguneak nahiko kurbatura txikia izaten dute; hala ere, tranbien kasuan 25-50 metroko kurba-erradioak egon daitezke. Zentzu honetan, errepidea eta trenbidea antzekotzat har daitezke.
 - Peraltea: Trenak bihurgune batean sartzean pairatzen duen inklinazioa litzateke peraltea. Oro har, segurtasun eta erosotasun irizpideen arabera diseinatuta egoten da. (Heirich et al., 2011)-n arabera balio maximoa 7° ingurukoa izaten da.
 - Malda: Trenbideak plano horizontalarekiko duen inklinazioa da malda. Trenen ibilbideetan ‰ balioak izaten ditu, izan ere gurpil eta trenbide atxikidura-baldintzek balio txikiak izatera behartzen dute. (Heirich et al., 2011)-n arabera balio maximoa $2,3^\circ$ izaten da. Hala ere, CAF-en proiektu batzuetan 6 gradurainoko balioak ikus daitezke (Zaragozako tranbia eta Bruselako metroa).
- Merkatuko IMU-ak aukeratzeko garaian, irizpide bat jartzekotan azelerometro eta giroskopioaren alborapena ezarri beharko litzateke, hau da, ingelesezko *bias* delakoa (nahiz eta temperatura deriba, egonkortasuna eta banda zabalera ere kontuan hartu beharrekoak diren). Kontuan hartu behar da alborapena denboran integratuz gero deriba bilakatzen dela. Azelerazioa, bitan integratuta posizioa jakiteko, deriba karratura hedatzen da; hortaz, azelerazioaren irakurketan akats bat badago, posizioan errorearen karratua ikusten da. Gomendagarriena, hortaz, ahalik eta alborapen txikiena bilatzea da.

4. Ondorioak eta etorkizunerako planteatutako norabidea

Lan honetan trenetan instalatu nahi diren sentsoze inertzialen baldintzak jasotzen dira trenaren testuingurua eta orain arte egin diren ikerketa lanak oinarritzat hartuz. Horrez gain, IMU-ak izan beharko lukeen arkitektura proposatzen da sentsoze kopurua eta motari dagokionez. Proposatutako ideiak kontuan hartuz, jarraian azaltzen dira lanaren ondorio garrantzitsuenak. Erakutsi dugun odometriako sistemak sentsoze inertzialak onartu behar ditu, baina baita trenetan gaur egun erabiltzen diren bestelako sentsozeak ere. Gauzak horrela, posizio absolutua eta erlatiboa eskaintzen duten soluzioak bateratu behar direla ondorioztatu dugu, IMU-a sistema horren zati dela onartuz. IMU-aren arkitekturak 10 DOF izateko prest egon behar du, tren baten testuinguruan magnetometro eta barometroaren informazioa garrantzizko den ala ez demostratu daitekeen arte. Horrez gain, tenperatura-sentsorea txertatzea aproposa dela esan daiteke, goizetik gauera 50 graduko aldea egon baitaiteke trenaren kokapenaren arabera. Arazo hau ingurugiroaren araberakoa dela ondorioztatu da, barneko objektuen kokapenean existitzen ez delako adibidez (tenperatura nahiko uniforme den ingurugiroa).

Hemendik aurrerako lana magnetometro eta barometroak odometrian izan dezakeen ekarpena aztertzean datza. Horretarako, trenean bertan saiakuntza bat edo beste egin beharko litzateke, trenaren inguruko eremu magnetikoak eta altitude-aldaketa txikiek eraginik ote duten ikus dadin. Eraginik izatekotan kuantifikatu egin beharko lirateke eta horrekin, baloratu ea ekarpen positibo edo negatiboa egiten duten.

5. Eskerrak

Lan honetako egileek CAF I+D enpresari eskertu nahi diote trenen inguruan duten ezagutza gurekin partekatzeagatik. Dударik gabe, beraien laguntzarik gabe ezin izango genuke lan hau argitaratu.

6. Erreferentziak

- Abyarjoo, F., Barreto, A., Cofino, J., & Ortega, F. R. (2015). Implementing a sensor fusion algorithm for 3D orientation detection with inertial/magnetic sensors. In *Innovations and Advances in Computing, Informatics, Systems Sciences, Networking and Engineering* (pp. 305–310). Springer. Retrieved from http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-06773-5_41
- Allan, J. J., & International Conference on Computer Aided Design, Manufacture and Operation in the Railway and Other Advanced Mass Transit Systems (Eds.). (2004). *The high integrity GNSS,INS based train position locator*. Southampton: WIT Press.
- Allotta, B., Colla, V., & Malvezzi, M. (2002). Train position and speed estimation using wheel velocity measurements. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 216(3), 207–225. <https://doi.org/10.1243/095440902760213639>
- Allotta, B., Pugi, L., Ridolfi, A., Malvezzi, M., Vettori, G., & Rindi, A. (2012). Evaluation of odometry algorithm performances using a railway vehicle dynamic model. *Vehicle System Dynamics*, 50(5), 699–724. <https://doi.org/10.1080/00423114.2011.628681>
- B. Cai, & International Conference on Computers in Railways (Eds.). (2000). *Train positioning via integration and fusion of GPS and Inertial sensors*. Southampton: WIT.
- Bedrich, S., & Gu, X. (2004). GNSS-based sensor fusion for safety-critical applications in rail traffic. *Galileo and EGNOS Information Catalogue*, 8.
- Denti, E., Galatolo, R., & Schettini, F. (2010). An AHRS based on a Kalman filter for the integration of inertial magnetometric and GPS data. In *27th International Congress of the Aeronautical Sciences*. Retrieved from http://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2010/PAPERS/569.PDF
- Godha, S., & Cannon, M. E. (2005). Integration of DGPS with a low cost MEMS-based inertial measurement unit (IMU) for land vehicle navigation application. In *Proceedings of the 18th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS05)* (pp. 333–345). Retrieved from http://plan.geomatics.ucalgary.ca/papers/05GNSS_ION_Godha_Cannon.pdf
- Heirich, O. (2016). Bayesian Train Localization with Particle Filter, Loosely Coupled GNSS, IMU, and a Track Map. *Journal of Sensors*, 2016, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2016/2672640>
- Heirich, O., Lehner, A., Robertson, P., & Strang, T. (2011). Measurement and analysis of train motion and railway track characteristics with inertial sensors. In *Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2011 14th International IEEE Conference on* (pp. 1995–2000). IEEE. Retrieved from <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6082908/>
- Hemerly, E. M., & Schad, V. R. (2008). Implementation of a GPS/INS/Odometer navigation system. In *ABCM Symposium Series in Mechatronics* (Vol. 3, pp. 519–524). Retrieved from http://www.abcm.org.br/symposium-series/SSM_Vol3/Section_IV_Sensors_and_Actuators/SSM3_IV_06.pdf
- Larsson, M. (2014). *Sensor fusion application to railway odometry*. Retrieved from <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:754317>
- Makloul, O., Ghila, A., Abdulla, A., & Yousef, A. (2013). Low Cost IMU\backslash\$ GPS Integration Using Kalman Filtering for Land Vehicle Navigation Application. *International Journal of Electrical, Robotics, Electronics and Communications Engineering*, 7(2). Retrieved from <http://www.waset.org/publications/9996768>
- Malvezzi, M., Vettori, G., Allotta, B., Pugi, L., Ridolfi, A., & Rindi, A. (2014). A localization algorithm for railway vehicles based on sensor fusion between tachometers and inertial measurement units. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 228(4), 431–448. <https://doi.org/10.1177/0954409713481769>
- McCarron, B. (2013). *Low-Cost IMU Implementation via Sensor Fusion Algorithms in the Arduino Environment*. Citeseer. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.671.5301&rep=rep1&type=pdf>
- Mirabadi, A., Mort, N., & Schmid, F. (1996). Application of sensor fusion to railway systems. In *Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, 1996. *IEEE/SICE/RSJ International Conference on* (pp. 185–192). IEEE. Retrieved from <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/572176/>
- Munguía, R. (2014). A GPS-aided inertial navigation system in direct configuration. *Journal of Applied Research and Technology*, 12(4), 803–814.
- Zhang, Q., Niu, X., Zhang, H., & Shi, C. (2013). Algorithm Improvement of the Low-End GNSS/INS Systems for Land Vehicles Navigation. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2013/435286>

Osasun-zientzietako terminologiaren euskaratze automatikoaren ebaluazioa, osasungintzako euskal komunitatea inplikatur

Olatz Perez-de-Viñaspre eta Maite Oronoz

IXA taldea (UPV/EHU). Manuel Lardizabal Pasealekua 1. 20018 Donostia

Laburpena

Osasun-arloko terminologia euskaraz lortzeko bidean, SNOMED CT nazioarteko terminologia euskaratzen ari gara. Horretarako KabiTerm eta MatxinMed sistemak aurkeztu ditugu artikulu honetan. KabiTermek termino habiaratuen egitura baliatzen du ingelesezko termino konplexuak euskaratzeko. MatxinMed, Matxin Itzultzaile Automatikoaren osasun-zientzien domeinurako egokitzapena da. Horien ebaluaziorako Medbaluatoia kanpaina sortu dugu zeinak osasun-zientzien euskal komunitatea inplikatzeko duen. Jendearen inplikazioa oso positiboa izan da eta lortutako emaitzek KabiTermen nagusitasuna erakutsi dute.

Hitz gakoak: Osasun-zientzietako terminologia, SNOMED CT, Komunitate-ebaluazioa

Abstract

In order to obtain SNOMED CT terminology in Basque, we developed KabiTerm and MatxinMed systems. KabiTerm uses the nested structure of the English complex terms, to produce Basque equivalences. MatxinMed is the health domain adaptation of the Machine Translation system Matxin. We evaluate both systems by means of the Medbaluatoia campaign that implies the Basque health community. The implication of the people has been very positive and the results show the superiority of KabiTerm.

Keywords: Health terminology, SNOMED CT, Community-evaluation

1 Sarrera eta motibazioa

Osasun-arloan euskaraz aritu nahi badugu, ezinbestekoa da terminologia finkatzea. Osasun langilearen-gana hurbildu eta “*tengo rotura del tendón del músculo esplenio del cuello*” esan ordez “lepoko esplenio giharraren tendoia hautsia dut” esateko gai bagara, euskararen normalizazio prozesuan aurrerapauso izugarria eginga izango dugu.

SNOMED CT da ingelesez, gazteleraz eta beste hainbat hizkuntzatan, osasun alorreko terminologia jasotzen duen baliabide zabalduena, eta era berean, orain arte sortu den terminologia eleanitz osatuentzat hartzen da. Nolabait esateko, hizkuntza eta sistema desberdinen arteko osasun-txostenen adierazpen eta interpretazio automatikoa eta anbiguotasunik gabea ahalbidetuko duen hiztegi normalizatua da, eta hiztegi-sarreraren arteko harremanak zehaztuta ditu. Osasun-txostenetan agertzen diren kontzeptuak, deskribapenak eta erlazioak barnebiltzen ditu. Jatorrizko hizkuntza duen ingeleserako 300.000 kontzeptu baino gehiago ditu definituak, baita horiek deskribatzeko 1.000.000 termino baino gehiago ere.

Osasun kontuetan euskaraz aritzeko, baliabide hau euskaraz behar dugu. SNOMED CTko terminoen-tzako euskarazko ordainak automatikoki lortzen ari gara azken urteotan (Perez-de Viñaspre eta Oronoz, 2015) eta euskarazko SNOMED CTren bertsio ofiziala ere diseinu eta garapen fasean da.

Euskarazko osasun-terminoak itzulpen tekniken bidez automatikoki lortzeko bidean, hainbat urratsetan egin dugu lan: dagoeneko sortutako baliabide lexikalak erabiliz lehenengo, hitzen morfosemantika edo lexema-osaera erabiliz geroago, eta terminoen luzera hitzetan handitzen joan den heinean, bi modu erabili ditugu: i) termino batzutan beste termino batzuk habiaratuak daudela baliatu dugu KabiTerm tresnan eta ii) erregetan oinarritutako Matxin itzultzaile automatikoa egokitu dugu, MatxinMed sortuaz. Termino konplexuen, hau da, hitz bat baino gehiago dituzten terminoen, euskarazko ordaina lortzea dute helburu KabiTermek eta MatxinMedek. Aipatu berri ditugun bi tresna horiek sortutako termino konplexuen ebaluazioa nola egin dugun azaltzea du helburu lan honek.

Sortutako euskarazko termino konplexuen ebaluazio automatikoa egiteko, ez dago hizteirik edo baliabiderik. Aukera bakarra ebaluazioa eskuz adituek (medikuek eta erizainek, besteak beste) egitea da, eta hori oso garestia da bai ekonomikoki baita denbora aldetik ere. Osasun-zientzietan euskaraz aritzen den komunitatea, har dezagun Osasungoa Euskalduntzeko Erakundea (OEE)¹ adibide moduan, oso komunitate aktiboa da. Hori aprobetxatu nahi izan dugu, termino konplexuen ebaluazioa komunitatean egiteko. Medbaluatoia izena eman diogu, osasun-zientzietako terminoen komunitatean egindako ebaluazioari.

Artikuluaren aurkeztuko dugun lana atal honetan kokatu ondoren, 2 atalean arloko egoaren inguruan arituko gara. Jarraian dagoen 3 atalean KabiTerm eta MatxinMed sistemak deskribatuko ditugu, sistema hauen komunitate-ebaluazioa, Medbaluatoia, azalduko dugu eta emaitzak erakutsiko ditugu. Bukatzeko, 4 atalean lan honekin ateratako ondorioak laburbilduko ditugu eta 5 atalean etorkizunean egin nahiko genituzkeen lanak zerrendatuko ditugu.

2 Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Gaur egun SNOMED CT atzigarri dago AEBtako ingelesez, Britainia Handiko ingelesez, gazteleraz, daniaraz eta suedieraz. Itzulpenak egiten ari dira, frantsesera, lituanierara eta beste hainbat hizkuntzetara². Itzulpenak egiteko teknika ezberdinak erabili dira: batzuk eskuz egin dira (danieraren kasua (Petersen, 2011)), itzulpen automatikoa eta eskuzko lana konbinatuaz (txinerarako adibidez (Zhu *et al.*, 2012)) edo itzulpen automatikoan laguntzeko sistema bat erabiliz (hau da frantsesaren kasua (Abdoune *et al.*, 2011)).

Itzulpen Automatikoaren (IA) helburua ordenagailuen bidez hizkuntza batetik bestera itzulpenak egitea da. Itzulpen Automatikoari aurre egiteko hurbilpenak bi multzo nagusitan sailkatuak izan dira: erregeletan oinarritutako itzulpen automatikoa eta corpusetan oinarritutako itzulpen automatikoa. Erregeletan oinarritutakoek, hizkuntzekiko dugun jakintza linguistikoa erabiltzen dute oinarri gisa eta corpusean oinarritutakoek aurretik egindako itzulpenak oinarri hartuta, hurbilpen enpirikoak garatzen dituzte.

Gaur egunean ingelesa-euskara parerako aurkitzen ditugun sistema gehienak erregeletan oinarritutako sistemak dira, hizkuntzen urruntasunak eta corpus-paralelo erraldioen faltak baldintzatuta ziurrenik. Erregeletan oinarritutako sistema bat **Matxin** (Mayor *et al.*, 2011) dugu IXA taldean garaturikoa eta kode irekikoa. Jatorrian gaztelania-euskara hizkuntza parerako garatu bazen ere, ingelesa-euskara parerako ere egokitua izan da (Aranberri *et al.*, 2015). **TectoMT** erregeletan oinarritutako itzulpen sistema bat da (Popel eta Žabokrtský, 2010) teknika estatistikoa baliatzen dituen itzulpen prozesuaren hainbat modulutan. Jatorrian ingelesetik txekierara itzultzeko sistema bada ere, berriki QTLeap³ proiektuaren baitan sistema ingelesa-euskara parerako egokitu da (Aranberri *et al.*, 2016b). Google enpresa erraldoiaren **Google Translate** dohaineko itzulpen zerbitzua 2001. urtean argitaratu zutenean Google Translate Systran deituriko erregeletan oinarritutako sisteman oinarritzen zen. Geroago, 2005. urtetik aurrera, sistema estatistikoa erabiltzen hasi ziren eta 2010etik aurrera, euskararentzako alpha bertsioa argitaratu zuten. Eusko Jaurlaritzaren bitartez **Lucy** erregeletan oinarritutako sistema komertziala (Gieselmann, 2008) garatua izan da baina tamalez informazio gutxi dago honi buruz. **EuSMT** IXA taldean garatutako sistema estatistikoa bat da Mosesen (Koehn *et al.*, 2007) oinarritutakoa eta bi hurbilpen dituen ingelesa-euskara hizkuntza parerako: **EusSMT** oinarria eta segmentazioa gehitua duen **EuSMTs**. **SMatxinT** sistema EuSMTren bi hurbilpenak eta Matxin hibridatuz IXA taldean sortutako sistema da (Labaka *et al.*, 2014). Ikusi dugunez, hainbat sistema sortu dira ingelesa-euskara parearen itzulpenarako. Lan honetan Matxinen medikuntzarako egokitzapena azalduko dugu 3.2 azpiatalean.

Eskuzko ebaluazioa garestia dela esan dugu dagoeneko baita testu bildumen sortzea eta etiketatzea ere. Gaur egun, Internetaren hedapen izugarria dela-eta, pertsona asko dago prest honelako baliabideak sortzen laguntzeko. Adibidez, Bontcheva *et al.* (2013) lanean GATE Teamware tresna sortu zuten testu-anoztazio kolaboratiborako. Ebaluaziorako ere erabili izan da Internet komunitatea, orain arte aipatu ditugun hainbat ingelesa-euskara itzultzaileen ebaluaziorako, hain zuzen ere (Aranberri *et al.*, 2016a). Azken lan honetan du oinarria, 3.3 atalean azalduko dugun Medbaluatoia.

Arloa aztertuta, ikerketa-lan honen helburu nagusia zehaztuko dugu. Helburu nagusia, automatikoki sortutako osasun-zientzietako terminologia eta bide batez, haiek sortzeko sistemak, ebaluatzea da,

¹<http://www.oegunea.eus/>

²Supporting Different Languages, IHTSDO. <http://www.ihtsdo.org/snomed-ct/snomed-ct0/different-languages>

³<http://qt Leap.eu>

horretarako komunitatean egindako ebaluazioa baliatuz eta Medbaluatoia kanpaina abiatuz.

3 Ikerketaren muina

Ikerketa honetan, osasun-zientzien domeinuko terminologia euskaratzeko bi sistema garatu ditugu. Lehenengo, termino habiaratuetan oinarritzen den KabiTerm sistema da. Sistema horrek, termino konplexuen barruan agertzen diren beste terminoak oinarri harturik, euskaratze patroia batzuen bitartez euskarazko ordainak sortzen ditu. Bigarrenak, MatxinMedek, Matxin deritzon Itzultzaile Automatikoa du oinarri (Mayor *et al.*, 2011) eta bere osasun-zientzien domeinurako egokitzapena da.

3.1 KabiTerm: Termino habiaratuen bidezko sorkuntza

KabiTerm sistema, termino habiaratuetan oinarritzen da transduktoreen bitartez termino konplexuentzat ordainak sortzeko. Lan honetan transduktoreak ingelese-euskara hizkuntza parearentzat inplementatu baditugu ere, modu errazean egokitu daitezke edozein hizkuntza parerako.

Idea nagusia zera du: termino konplexuen barruan maiz beste termino batzuk agertu ohi dira kabiaturatuta. Habiaratutako terminoa, barrukoa, euskaratuta badago, euskaratze-patroiak definitu ahal dira termino konplexu osoaren ordainak lortzeko.

Euskaratze-patroi horiek definitzeko, bi adituei ingelesezko terminoen lagin bat euskaratzeko eskatu diegu. Lagina aukeratzeko, SNOMED CTko terminoak eta haien egiturak aztertu ditugu. Egituren azterketa egiteko AnaMed deituriko analizatzaile bat sortu dugu. Jatorrian ingelesezko terminoak ditugunez, AnaMedek Stanforderko CoreNLP tresna (Manning *et al.*, 2014) hartzen du oinarrian, eponimoen zerrenda bat jasotzen du eta SNOMED CTko terminoen identifikazioa egiten du. Horrela, informazio linguistikoari, informazio terminologikoa gehitu diegu.

AnaMedi esker, SNOMED CTko terminoak termino habiaratuen egituraren arabera sailkatu ditugu. Hurrengo taulan (1 taula), egitura horien adibide batzuk ikus ditzakegu. Adibidez, *malignant neoplasm of renal calyx* termino konplexuan bi termino nagusi aurkitu ditugu *malignant neoplasm* nahasmenduen (*disorder*) hierarkiakoa bata eta *renal calyx* gorputz-egituren (*body structure*) hierarkiakoa bestea. Aipatu beharra dugu, habiaratutako termino gehiago ere aurkitzen dituela AnaMedek, hala nola *calyx* gorputz-egitura, *malignant* kalifikatzailea (*qualifier*) edo *neoplasm* nahasmendua.

Terminoak	Multzokatzea	Egitura
<i>structure of radial tuberosity</i>	<i>structure of radial_tuberosity</i>	structure+of+BODYSTRUCTURE
<i>Baelz's disease</i>	<i>Baelz's disease</i>	EPONYM+'s'+DISORDER
<i>maximal gastric acid output measurement</i>	<i>maximal_gastric_acid_output measurement</i>	PROCEDURE+PROCEDURE
<i>malignant neoplasm of renal calyx</i>	<i>malignant_neoplasm of renal_calyx</i>	DISORDER+of+BODYSTRUCTURE

1 Taula: AnaMeden bidez lortutako egiturak eta multzokatzeak.

Habiaratutako termino guztiekin sortu ditugu egiturak (ikusi 1 taulan azken zutabea), eta agerpen kopuruaren eta dependentzia kopuruaren arabera sailkatu ditugu. Hau da, egitura zenbat terminotan ematen den zenbatu dugu, eta termino hori zenbat terminotan agertzen den habiaratuta kontuan hartu dugu. Horrela, lehenengo faserako 41 egitura aukeratu ditugu eta bakoitzeko gutxienez ausaz erauzitako 3 adibide. Aditu bakoitzari 28 egitura eman dizkiogu, zeinetatik 14 egitura komunak diren (denera 100 bat adibide, 59 termino komunean dituztelarik). Komunean dituzten adibideen kasuan, adostasun altua neurtu dugu, eta desadostasun kasuekin, beraien arteko adostasuna bilatu dugu, irizpide berdina erabil ditzaten. Oinarritzko irizpideak argi izanik, bigarren faserako, 25na egitura prestatu ditugu, aditu bakoitzak denera 100 adibide inguru dituelarik. Bi faseak elkarturik, 340 adibide inguru izan ditugu euskaratze-patroiak definitzeko eta horietatik abiatuta 53 euskaratze-patroi definitu ditugu.

Hurrengo irudian (1 irudia), KabiTermen funtzionamendua irudikatu dugu. Aurrena sarrera terminoan termino habiaratuak identifikatzen dira: *fracture* nahasmendu bat da eta *elbow* gorputz-egitura bat. Hori horrela izanik, euskaratze-patroia aplikatzen zaio (egitura baliokidea), eta horren arabera euskarazko egitura sortzen da, termino habiaratuen euskarazko ordainekin (“ukondo+aren haustura”). Bukatzeko, euskarazko morfologia arauak errespetatuz, deklinabideak gehitzen zaizkio horrela etiketatuta dauden hitzei, euskarazko ordaina sortuz (“ukondoaren haustura”).

Jatorri-terminoa: *fracture of elbow*

Sorkuntza-prozesua:

Identifikatutako egitura: GAIXOTASUN + of + GORPUTZ_EGITURA

Egitura baliokidea: GORPUTZ_EGITURA+aren + GAIXOTASUN

Euskaratze-patroiaren irteera: ukondo+aren haustura

Sortutako ordaina: ukondoaren haustura

1 Irudia: KabiTermen bidez lortutako ordainen adibidea.

3.2 MatxinMed: osasun-zientzietarako Itzultzaile Automatikoa

Atal honetan Matxin itzultzaile automatikoaren osasun-zientzien domeinurako egokitzapena azalduko dugu. Azken urteetan itzultzaile automatikoak domeinu zehatz batera egokitzeko joera zabaldu da, frogatu baita domeinu batera mugatzean, domeinu horretako itzulpenen kalitatea hobetzen dela. Erregeletan oinarritutako sistemak domeinu zehatz batera egokitzeko, hiztegiak eta gramatikak egokitu ohi diren arren, horretarako eskuzko lan handia egin behar denez, ohikoa da egokitzapena hiztegien aberastera mugatzea (Weijnitz *et al.*, 2004). Itzulpen Automatiko Estatistikoak aldiz, domeinu zehatzetara egokitzeko, domeinu horretako corpus-paraleloak behar dira.

Matxin aukeratu dugu osasun-zientzien domeinura egokitzeko sistema moduan, ingelesa-euskara parerako ditugun baliabideak kontuan izanik, erregeletan oinarritutako sistema bat baita bideragarriena. Euskararako osasun-arloko corpus-paraleloen urritasunak, Itzultzaile Automatiko Estatistiko bat egokitzzea oraingoz oso zaila egiten du. Gainera, Matxin IXA taldean bertan garatua egonik, egokitzapenean lagundu ahal gaitun ikerlari-taldea hurbil dugu. Horretaz gain, hiztegiak modu errazean zabal daitezke, eta inbertsio txikiarekin, sistema domeinura egokitu dezakegu.

Lehenik eta behin, Matxini domeinua aukeratzeko funtzionalitatea gehitu diogu. Horretarako, hiztegiei ezaugarri berri bat gehitu diegu, eta lexikoaren transferentzia egiteko momentuan, Matxinek ordainak domeinuaren arabera aukeratzeko ditu. Bigarrenik, ordainen arteko ordena zehazteko Hizkuntza Eredu bat definitu dugu. Azkenik, termino konplexuak lantzeko erregelak sortu ditugu.

Lexikoa aukeratzeko baliabide nagusia hiztegia da, Matxinek formatu zehatz batean gordeta duena. Hiztegi horrek, transferentzia lexikoa egiteko beharrezko informazio guztia jasotzen du, hitzen itzulpenak eta hitzen kategoria gramatikala, besteak beste. Hiztegiari ezaugarri berri bat gehitu diogu domeinua adierazten duena. Matxinek hitz baten ordaina aukeratu behar duenean, hitz horren parekatze guztien artean zehaztutako domeinukoak aukeratu ditu. Aukera dago domeinu bat baino gehiago zehazteko, eta haien artean hierarkia bat sortzeko. Hitzaren ordaina bilatzean, lehen domeinuan ordainik ez balego, bigarren domeinukoak bilatuko ditu, gero hirugarrenekoak e.a. Adibidez, jatorrizko hiztegiaren *colon* ingelesezko terminoa “bi puntu” gisa euskaratzen den bitartean, medikuntzaren domeinuan “kolon” da ordain egokia. Transferentzia lexikalean egindako egokitzapen honi esker, 2 adibidean ikus dezakegun bezala, MatxinMed “*He has colon cancer*” bezalako esaldiak ondo itzultzeko gai da, transferentzia lexikala egiterakoan parekatze hobea aukeratzeko baliabideak dituelako.

Jatorrizko esaldia	<i>He has colon cancer.</i>
Matxinen itzulpena	Hark bi puntu minbizia dauka.
MatxinMeden itzulpena	Hark kolon minbizia dauka.

2 Taula: Matxin eta MatxinMeden itzulpenen adibidea.

Bestalde, ingelesezko hainbat terminok, euskarazko ordain bat baino gehiago dute. Matxinen une honetako inplementazioak, ordainen gaineko desanbiguaziorako tresnak nahikoa garatu gabe ditu, eta hortaz ordainen arteko ordena bat ezartzea ezinbestekoa da. Oraingoz, lehenengo ordaina soilik erabiliko bada ere, interesgarria iruditzen zaigu ordain guztiak hiztegiaren gehitzea, etorkizunean desanbiguatzeak aukera izateko.

Ordainen arteko ordena zehazteko, Hizkuntza Eredu bat osatu dugu. Hizkuntza Ereduak Itzultzaile Automatiko Estatistikoetan erabiltzen diren eredu probabilistikoak dira, helburu-hizkuntzarako sortzen direnak. Eredu horiek, testu-kate batek helburu-hizkuntzako baliozko esaldia izateko duen probabilitatea adierazten dute, eta helburu nagusia itzulpena helburu-hizkuntzara ahalik eta antzekoena dela

bermatzea da. Hizkuntza eredu bat sortzeko, helburu-hizkuntzaren corpus bat beharrezkoa da. Gure kasuan, euskarazko corpora behar dugu eta gainera, osasun-zientzien domeinukoa. Domeinuko corpora osatzeko, Udako Euskal Unibertsitatearen osasun-zientzietako liburuak, Elhuyar Fundazioaren itzulpen-memoriak, Euskal Herriko Unibertsitatearen medikuntzako ikasleen apunteak, Osasungoa Euskalduntzeko Erakundearen osasun biltzarren txostenak eta Osakidetzaaren zabalkunderako txostenak elkartu ditugu, eta horrela 3.533.732 hitzetako corpora osatu dugu.

Azkenik, Matxinekin Hitz Anitzeko Unitate Lexikalak (HAULak) ezagutzeko duen modulua erabili dugu termino konplexuen identifikazioa egiteko. Identifikaziorako sortutako erregelekin, MatxinMed HAUL berriak, gure kasuan termino konplexuak, identifikatzeko gai da. Erregela horiei esker, 3 taulan erakusten dugun bezala, MatxinMedek hobekuntza nabaria erakusten du termino konplexuak dituzten itzulpenetan.

Jatorrizko esaldia	<i>He has Osler syndrome.</i>
Matxinen itzulpena	Hark sindrome Osler dauka.
MatxinMeden itzulpena	Hark Osler-en syndromea dauka.

3 Taula: Matxin eta MatxinMeden itzulpenen adibidea.

3.3 Medbaluatoia: komunitatean oinarritutako ebaluazioa

KabiTerm eta MatxinMed sistemak ebaluatzeko, osasun-zientzien euskal komunitatea inplikatzeko duen ebaluazio bati heldu diogu: Ebaluatoiaren (Aranberri *et al.*, 2016a) moldaera moduan Medbaluatoia deritzon kanpaina diseinatu eta martxan jarri dugu. Ebaluatoia, 2015ean Itzultzaile Automatikoak sailkatzeko erabili zen euskal hitzunen komunitatea inplikatzeko, eta oso emaitza interesgarriak jasoaz.

Itzultzaile Automatikoaren ebaluazioan ohikoena neurri automatikoak ateratzea bada ere, BLEU (Papineni *et al.*, 2002) izanik zabalduena, pertsonen ebaluazioa ekidinezina da tresna pertsonen erabiltzea nahi baldin badugu. Hori horrela izanik, IA ebaluazio gehienetan ebaluatzaile talde txiki batek parte hartzen du, nagusiki ikerketa taldeko bertako ikerlariak izanik eta oso lagin txikia ebaluatuz. Ebaluatoiak aldiz, komunitatean oinarritutako ebaluazioa proposatzen du. Euskaldunon komunitatea kontzientziatua eta dinamikoa izanik, inbertsio handiegirik egin gabe, konfiantza maila nahikoa duten ebaluazioak jaso ahal dira modu azkarrean. Jakina den bezala, hizkuntza gutxituen komunitateek, haien hizkuntzek biziraun dezaten lagungarriak izan daitezkeen ekitaldietan zintzoki parte-hartzeko prestutasuna erakutsi ohi dute.

Guk Medbaluatoian Ebaluatoian garatutako metodologia erabili dugu terminoen ordain hautagaiak sailkatzeko. Horrela, esaldiak beharrez, erabiltzaileek termino konplexuak (2 eta 8 token artekoak) ebaluatu dituzte. Erabiltzaileari jatorrizko ingelesezko terminoa aurkezten zaio, honi emandako bi euskarazko ordain eta erabiltzailearen eginbeharrekoa da, bi aukeren artean zein den egokiagoa erabakitzea. Bi terminoak izan daitezke zuzenak, ala biak okerrak, beraz, Medbaluatoian hori adierazteko funtzionalitatea gehitu diogu jatorrizko Ebaluatoia sistemari.

Medbaluatoia KabiTerm eta MatxinMed ebaluatzeko erabili dugu, hortaz bi ebaluaziorako multzo lortu ditugu. Alde batetik, KabiTerm ebaluatzeko, hiru sistema konparatu ditugu: Google Translate oinarri-lerroko sistema gisa, KabiTerm sistema eta MatxinMed-1 (KabiTermekin sortutako terminorik gabe). Multzo honi KabiTermen multzoa deituko diogu. Bestetik, MatxinMed bera ebaluatuko dugu. Horretarako, oinarri-lerroko sistema berdina erabiliko dugu, Google Translate, eta MatxinMeden bi aldaera erabiliko ditugu. Lehenengoa, MatxinMed-1, KabiTermen ebaluazioan erabiliko dugun berdina, eta bigarrenagoari, MatxinMed-2, KabiTerm sistemak sortutako ordainak ere integratu dizkiogu. Multzo horri MatxinMeden multzoa deritzogu. Hurrengo taulan (4 taula), bi ebaluazioetan parte hartuko duten sistemak erakusten ditugu.

	KabiTerm	Google	MatxinMed-1	MatxinMed-2
KabiTermen multzoa	✓	✓	✓	
MatxinMeden multzoa		✓	✓	✓

4 Taula: Medbaluatoia bidez ebaluatutako sistemak.

Medbaluatoian 1.000 jatorri-termino ebaluatu ditugu. Kontuan izanik bi ebaluazio egingo ditugula, ebaluazio bakoitzerako 500 termino aukeratu ditugu SNOMED CTren termino konplexuetatik, eta multzo horiek token kopuruaren eta hierarkiaren arabera estratifikatu ditugu.

KabiTermen ebaluazio multzorako, ausaz aukeratu ditugu 500 termino konplexu, beti ere, KabiTerm jatorri-terminoen ordainak sortzeko gai bada. MatxinMeden multzoa sortzeko aldiz, Kabitermek itzuli ezin dituen jatorri terminoetatik 500 jaso ditugu. Izan ere, MatxinMed soilik KabiTermek euskaratzen ez dituen terminoak euskaratzeko erabiliko dugu, eta horrela egin dugu ebaluaziorako lagina lortzeko ere.

KabiTermen ebaluaziorako terminoen gainsorkuntza kontrolatzeko beharra izan dugu. Izan ere, gainerako sistemek ordain bakarra ematen duten bitartean, KabiTermek hainbat ordain emateko joera dauka, eta sistemak ez leudeke baldintza berdinetan lehiatzen. Lehia orekatzeko gure osasun-zientzien euskarazko Hizkuntza Eredua erabili dugu. Modu horretan, KabiTermek proposaturiko ordain guztien artean, Hizkuntza Ereduan probabilitate altuenekoa aukeratu dugu. Tamalez, horrek ez du ziurtatzen ordain onena izango denik baina metodo automatikoen artean ezagutzen dugun metodo ziurgarriena da.

Denera 1.000 termino ebaluatu ditugu, eta termino bakoitzarekin hiru sistema-bikote (hiru sistema). Horrela, 3.000 ebaluazio behar izan ditugu. Subjektibotasunari aurre egiteko, ebaluazio bakoitza 5 erabiltzailek egitea erabaki dugu. Horrela, denera 15.000 ebaluazio behar izan ditugu Medbaluatoia kanpaina bukatzeko. Gainera, erabiltzailearen arreta neurtzeko, kontrolerako ebaluazioak gehitu ditugu. Kontrolerako ebaluazio horiek, eskuz emandako ordain zuzenez, eta oso nabariak diren ordain okerre osatuta daude. Kontrolerako ebaluazioetatik herena gaizki eginez gero, parte-hartzailea kanporatu egiten da.

Medbaluatoia zabalkunderako, Medikuntzako Fakultateko euskara taldeko klase guztietatik pasa ginen kanpainaren hasiera egunean. Gainera, mezu elektroniko bat zabaldu genuen, profesionalen artean parte-hartzea lortzeko. Zabalkundean gakoak izan dira OEE eta UPV/EHUko Euskara Errektoreordetza.

3.4 Emaitzak

Medbaluatoia kanpaina oso arrakastatsua izan dela azpimarratu beharrean gaude. Hiru astetarako aurreikusitako lana, aste bakarrean bukatu dute parte-hartzaileek. Denera 218 parte-hartzaile izan ditugu kanpainan, eta eurretako 13 baztertuak izan dira kontrol-ebaluazioetan kale eginagatik. Ebaluatzaileen artean Cohenen κ (Cohen, 1960) neurtu dugu, beste IA ebaluazio batzuetan egin izan den bezala (Aranberri *et al.*, 2016a). Lortu ditugun κ balioak onargarriak dira: 0,30 eta 0,48 artekoak.

Medbaluatoian zehar, parte-hartzaileei jatorrizko terminoa, eta bi euskarazko ordain erakutsi dizkiegu, eta bien arteko onena aukeratu behar izan dute, horrela, ebaluazio bat eginez. Ez dugu onena aukeratzeko irizpiderik eman, bakoitzaren irizpideen arabera onena iruditzen zaiena jaso nahi dugulako.

Jatorrizko termino bakoitzarentzat eta sistema pare bakoitzeko bost ebaluazio jaso nahi izan ditugu. Hala ere, web-aplikazioaren konfigurazioa dela-eta, batzuentzat 7 ebaluazio ere lortu ditugu. Ebaluazio gehigarri horiek ez dira akasduak eta erabiltzea erabaki dugu. Hurrengo taulan (5 taula), sistema bakoitzarentzat lortutako ebaluazio kopuruak erakusten ditugu.

	Google KabiTerm	Google MatxinMed-1	KabiTerm MatxinMed-1	Google MatxinMed-2	Google MatxinMed-1	MatxinMed-2 MatxinMed-1
Ebaluazioak denera	2.529	2.523	2.527	2.540	2.535	2.535

5 Taula: Sistema pare bakoitzak denera lortutako ebaluazioak.

Ebaluazioetatik sistema onena aukeratzeko honako estrategia jarraitu dugu: bi sistemen arteko bozka diferentzia bi baino handiagoa bada, zalantzarik gabeko irabazlea da (taulan “X.sistema++” moduan kodetu dugu). Sistemen arteko diferentzia 1 edo 2 bada, sistema irabazlea dela ere deritzogu (taulan “X.sistema+” bezala kodetu dugu). Bi sistemek bozka kopuru berdina lortzen badute, orduan berdintza dagoela deritzogu. Adibidez, termino baten ebaluazioan, KabiTermek 4 bozka jaso baditu, eta Google-ek 1, bien arteko ezberdintasuna 3 denez, KabiTermen alde, “2.sistema++”-n bozka bat gehituko da.

Emaitzetan ikus dezakegunez, KabiTermen multzoan (lehenengo 3 zutabeak), KabiTerm sistema izan da emaitza onenak lortu dituen alde handiarekin. Bereziki handia izan da Google-en itzultzailearekin alderatuz, % 86,6 kasutan izan baita hobe (% 73,2 gehi % 13,4). MatxinMed-1ekin konparazioan alde txikiagoa bada ere, nabarmenki jaso ditu emaitza hobeak (% 46,4 kasutan nabarmen irabazi du, eta MatxinMed-1ek aldiz % 21,0 kasutan).

MatxinMeden multzoari dagokionean, emaitzak horren nabarmenak ez badira ere, Matxinen bi bertsioek Google Translatek baino emaitza hobeak lortu dituzte. Izan ere, irabazten duten portzentaiak

	Google - KabiTerm	Google - MatxinMed-1	KabiTerm - MatxinMed-1	Google - MatxinMed-2	Google - MatxinMed-1	MatxinMed-2 - MatxinMed-1
1.sistema++	6,8 (34)	13,2 (66)	46,4(232)	19,4 (97)	21,6(108)	6,6 (33)
1.sistema+	3,2 (16)	9,2 (46)	14,4 (72)	12,0 (60)	16,4 (82)	13,0 (65)
berdin	3,2 (16)	7,8 (39)	5,6 (28)	7,0 (35)	8,8 (44)	62,4(312)
2.sistema+	13,4 (67)	15,2 (76)	12,4 (62)	22,0(110)	19,4 (97)	14,6 (73)
2.sistema++	73,2(366)	54,4(272)	21,0(105)	39,8(199)	34,0(170)	3,6 (18)

6 Taula: Medbaluatoia kanpainaren sistemen ebaluazioaren emaitzak.

gehituta, % 61,8 kasutan MatxinMed-2k irabazi du (% 22,0 gehi % 39,8), eta Google-ek aldiz % 31,4 kasutan (% 19,4 gehi % 12,0). Dena dela, MatxinMeden bi bertsioak konparatzen ditugunean, emaitzek ez dute sistema baten edo beste baten alde egiten. Izan ere, kasuen % 62,4tan sistemek kalitate berdina erakutsi dute, % 19,6tan MatxinMed-2k emaitza hobeak (portzentaiak gehituta) eta % 18,2tan MatxinMed-1ek hobeak. Ezin dugu ahaztu, bi sistemen aldea KabiTermek sortutako terminoetan datzala. Horrela, MatxinMed-2k KabiTermek euskaratutako termino habiaratuak aurkitzen dituenean bakarrik sortuko ditu ordain ezberdinak, eta esku artean izan dugun laginean kasu gutxitan gertatu da hori. Hala ere, ezin dugu kasu horietarako zein sistema den hobe onduz geroztatu, emaitza oso antzekoak lortu baitituzte bi sistemek. Azpimarratzekoa da, KabiTermen multzoan agertzen diren terminoen egitura mugatua dela, eta egitura horretan MatxinMedek emaitza hobeak lortzen dituela Google-ekin alderatuz.

Termino zuzena aukeratzeko funtzionalitateak ez du arrakastarik izan. Uste dugu, ordain “ona” eta ordain “hobe” kontzeptuen arteko bereizketa ez dela garbi geratu, parte-hartzaileen arabera oso emaitza ezberdinak lortu baititugu lagin berarekin. Emaitza esanguratsuak ez direnez, ez ditugu erakutsiko.

4 Ondorioak

Artikulu honetan osasun-zientzien domeinuko terminologia euskaratzeko bi sistema aurkeztu ditugu eta horien ebaluazioa egin dugu euskal komunitatea inplikatur. Lehenengoak, KabiTermek, termino konplexuetan dauden termino habiaratuak baliatzen ditu euskaratzea egiteko. Bigarrena aldiz, MatxinMed, erregeletan oinarritutako itzultzaile baten osasun-zientzien domeinura egindako egokitzapen bat da.

Bi teknikak Medbaluatoia deritzon kanpainan ebaluatu ditugu, eta artearen egoerako Google Translate tresnarekin konparatu ditugu. Emaitza oso positiboak izan dira, bai parte-hartzaile dagokionean, bai eta gure sistemen kalitatearen inguruan Google-ekin alderatzean. Bereziki azpimagarriak dira KabiTermek lortutako emaitzak, gainerako sistemei nabarmenki irabazten baitie.

5 Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Etorkizunerako, SNOMED CT euskaratzeko erabili ditugun patroiak beste terminologia batzuk euskaratzeko egokitu nahi ditugu. Izan ere, Osakidetza Euskara Zerbitzuak interes berezia dauka “Gaixotasunen Nazioarteko Sailkapenaren 10.en bertsioa” (GNS-10) euskaratzeko, eta proiektu bat abiatu dugu gure tresna egokitzeko. Patroi berriak definitu beharko ditugu horretarako, GNS-10k dituen terminoen egitura oso berezia delako, sailkapenera bideratuta baitago. Adibidez “*Salmonella infection, unspecified*” moduko deskribapenak oso maiz topa ditzakegu bertan.

Horretaz gain, Medbaluatoia SNOMED CTren terminologia baliozkotzeko egokitu nahi dugu. Izan ere, kanpainan zehar hainbat parte-hartzailek zuzenketak egiteko aukera eskatu digute, eta gehiagorako gogoarekin geratu dira. Jendearen prestutasuna kontuan izanik, euskarazko SNOMED CT osoaren zuzenketa egin nahiko genuke horrelako kanpaina batekin. Horrela, jende gehiagoren oniritziarekin lortuko genituzke SNOMED CTren sinonimoak. Kontzeptu baten deskribapenen artean hobetsia zein den aukeratzeko ataza aditu talde txiki baten esku utziko genuke, terminologoak eta osasun-langileak barnebilduz.

Erreferentziak

ABDOUNE, HOCINE, TAYEB MERABTI, STÉFAN J. DARMONI, eta MICHEL JOUBERT. 2011. Assisting the Translation of the CORE Subset of SNOMED CT Into French. In *Studies in Health Technology and Informatics*, volume 169, 819–823.

- ARANBERRI, NORA. 2016. Ebaluatoia: crowd evaluation of English-Basque machine translation.
- , GORKA LABAKA, A DIAZ DE ILARRAZA, eta KEPA SARASOLA. 2015. Exploiting portability to build an RBMT prototype for a new source language. In *Proceedings of EAMT*.
- , GORKA LABAKA, ARANTZA DÍAZ DE ILARRAZA, eta KEPA SARASOLA. 2016a. Ebaluatoia: crowd evaluation for English-Basque machine translation. *Language Resources and Evaluation* 1–32.
- , GORKA LABAKA INTXAUSPE, ONEKA JAUREGI, ARANTZA DÍAZ DE ILARRAZA SÁNCHEZ, IÑAKI ALEGRÍA LOINAZ, eta ENEKO AGIRRE BENGOA. 2016b. Tectogrammar-based machine translation for English-Spanish and English-Basque. *Procesamiento del Lenguaje Natural* 73–80.
- BONTCHEVA, KALINA, HAMISH CUNNINGHAM, IAN ROBERTS, ANGUS ROBERTS, VALENTIN TABLAN, NIRAJ ASWANI, eta GENEVIEVE GORRELL. 2013. Gate teamware: a web-based, collaborative text annotation framework. *Language Resources and Evaluation* 47.1007–1029.
- COHEN, JACOB. 1960. "A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and psychological measurement* 20.
- GIESELMANN, P. 2008. Architecture of the Lucy translation system. *Second machine translation marathon, Wandlitz, Berlin* 28.
- KOEHN, PHILIPP, HIEU HOANG, ALEXANDRA BIRCH, CHRIS CALLISON-BURCH, MARCELLO FEDERICO, NICOLA BERTOLDI, BROOKE COWAN, WADE SHEN, CHRISTINE MORAN, RICHARD ZENS, eta OTHERS. 2007. Moses: Open Source Toolkit for Statistical Machine Translation. In *Proceedings of the 45th annual meeting of the ACL on interactive poster and demonstration sessions*, 177–180. Association for Computational Linguistics.
- LABAKA, GORKA, CRISTINA ESPAÑA-BONET, LLUÍS MÀRQUEZ, eta KEPA SARASOLA. 2014. A Hybrid Machine Translation Architecture Guided by Syntax. *Machine translation* 28.91–125.
- MANNING, CHRISTOPHER D., MIHAI SURDEANU, JOHN BAUER, JENNY FINKEL, STEVEN J. BETHARD, eta DAVID MCCLOSKEY. 2014. The Stanford CoreNLP natural language processing toolkit. In *Proceedings of 52nd Annual Meeting of the ACL: System Demonstrations*, 55–60.
- MAYOR, AINGERU, INAKI ALEGRIA, ARANTZA DIAZ DE ILARRAZA, GORKA LABAKA, MIKEL LERSUNDI, eta KEPA SARASOLA. 2011. Matxin, an Open-source Rule-based Machine Translation System for Basque. *Machine Translation* 25.53–82. 10.1007/s10590-011-9092-y.
- PAPINENI, KISHORE, SALIM ROUKOS, TODD WARD, eta WEI-JING ZHU. 2002. BLEU: a method for automatic evaluation of machine translation. In *Proceedings of the 40th annual meeting on ACL*, 311–318. Association for Computational Linguistics.
- PEREZ-DE VIÑASPRE, OLATZ, eta MAITE OROÑOZ. 2015. SNOMED CT in a language isolate: an algorithm for a semiautomatic translation. *BMC medical informatics and decision making* 15.S5.
- PETERSEN, PALLE G., 2011. How to Manage the Translation of a Terminology. Presentation at the IHTSDO October 2011 Conference and Showcase.
- POPEL, MARTIN, eta ZDENĚK ŽABOKRTSKÝ. 2010. TectoMT: modular NLP framework. In *International Conference on Natural Language Processing*, 293–304. Springer.
- WEIJNITZ, PER, EVA FORSBOM, EBBA GUSTAVI, EVA PETTERSSON, eta JÖRG TIEDEMANN. 2004. MT Goes Farming: Comparing Two Machine Translation Approaches on a New Domain. In *LREC*.
- ZHU, YANHUI, HUITING PAN, LEI ZHOU, WEI ZHAO, ANA CHEN, ULRICH ANDERSEN, SHUXIANG PAN, LIXIN TIAN, eta JIANBO LEI. 2012. Translation and Localization of SNOMED CT in China: A pilot study. *Artificial Intelligence in Medicine* 54.147–149.

6 Eskerrak eta oharrak

Eskerrak lan honetan lagundu diguten iXakide guztiei, bereziki Nora Aranberri eta Gorka Labakari, MatxinMed eta Medbaluatoia ez baitziren posible izango beraien aholku eta laguntzarik gabe.

Eskerrak gainera, Medbaluatoia kanpainan parte-hartu duten osasun-zientzietako ikasle zein langileei. Eta nola ez Felix Zubiari eta Karlos Ibargureni, KabiTermen patroietan horrenbeste laguntzeagatik.

Artikulu hau idazte fasean dagoen tesiaren kapitulu baten laburpena da. Tesi hori, Eusko Jaurlaritzak emandako beka bati esker garatu da: BFI-2011-389 doktoretza-aurreko programakoa hain zuzen ere.

Joan-etorriko arkitekturak. Egungo arkitekturaren joan-etorriak

Luzarraga, Arantzazu

*ProLab Ikerketa Taldea, Madrilgo Arkitektura Goi Eskola Teknikoa
arantzazu.luzarraga@upm.es*

Laburpena

Ikerketa honen xedea da *offshoring*-ak gaur egungo espazioaren sorreran duen eragina aztertzea. Jendea ez ezik materialak, informazioa, energia, produktuak... mugimenduan ari dira etengabe. Hala, mugikortasunari buruzko kontuek gai mamitsua osatzen dute; erronka botatzen diete zientzia sozial eta arkitekturari, hau da, tradizionalki gizarte sedentario batean oinarritu diren diziplinoi. Doktoretza-ikerketa honen asmoa da bi zeregin espezifiko betetzea: batetik, nahi du *offshoring*ak arkitekturaren honako lau alorretan eragindako aldaketa aztertzea: lekuetan, egituretan, programetan eta eraikuntzan. Bestetik, hirigintza-elementu hauen ahalmenak aztertzeak arkitekturak jarrai ditzakeen estrategiak atzemango ditu, gizartearen eskaera errealei erantzuna emango badiote.

Hitz gakoak: *offshoring*-a; mugikortasuna; arkitektura garaikidea; BRIC herrialdeak.

Abstract

The research is focused on the impact of offshoring in generating contemporary spatiality. Not only people but materials, information, energy, products... are on the move right now, so issues of mobility are centre stage; they challenge social sciences and architecture, disciplines that have traditionally been focused on a sedentary society. The purpose of this doctoral research is to achieve two specific tasks: first, it intends to analyse the influence of the new spatial turn produced by offshoring in four architectonic aspects: places, structures, programmes and constructions. Secondly, the analysis of these urban potentials will frame possible strategies for a coherent architectural practise with current demands.

Keywords: offshoring; mobility; contemporary architecture; BRIC countries.

1. Sarrera eta egungo egoera

Offshore hitzak bi adiera ditu. Lehenak, hitzez hitz esan nahi du itsasoan dagoena, kostaldetik urrun. Bigarrena, aldiz, atzerrian egindakoari dagokio, bereziki kostu txikiagoak edo erregulazio ez oso zorrotzak aprobetxaturik.

Ingelesezko terminoa ‘deslokalizazio’ bezala itzultzea ez da, hortaz, guztiz zehatza. Gertatzen den lekualdatze hori beti egiten da etekin bat ateratzeko asmoz, mugimendu horrek beti dakar ezkutuan eta arau orokorretik kanpo jardutea.

Azkenaldian herritar askoren ahotan dabilen hitza da, batez ere diru eta zerga gaiei dagozkien berriak direla eta. Horrez gain, beste prozesu asko ere leku batetik bestera mugitzen dira, guztiz edo neurri baten, lokalizaziorik onuragarriena bilatzea xede. Hala nola, produktuen manufaktura, plazera, energia, hondakinak, karbono dioxido emisioak edota segurtasuna (Urry, 2014).

Gizarte orok hartu ohi du bere baitan pertsonen zenbait mugimendu, baina gizarte kapitalistek fenomeno honen eskala eta eragina handitu dute (Urry, 2014). Autore askok aldarrikatzen dute botereak gaur *offshore* diharduela (Shaxson, 2011).

Gertakari hau hainbat gizarte-zientzian aztertu da. Zygmunt Bauman pentsalari poloniarrek azpimarratzen du gizarte modernoaren izaera aldakorra, arina eta behin-behinekoa dela. Horretarako, ‘modernitate likidua’ (Bauman, 2000) hitza asmatu du. Gero eta hurbilago daude hizkuntza eta tradizio ezberdineko herrialdeak. Hori horrela izanik, gizabanakoen ziurtasunak deuseztatu egin dira; modernitate ‘solidoan’ jakina zen zeri heldu behar zitzaion; orain, ordea, zaila egiten da epe luzerako erabakirik hartzea.

Soziologiari dagokionez, John Urry soziologo britainiarrek idatzi zuen oso aipatua den *The new mobilities paradigm* artikulua Mimi Sheller-ekin batera 2006. urtean. Bertan adierazi zuten paradigma-aldaketa bat gertatzen ari zela gizarte-zientzietan. Pertsona, ideia eta gauzen

mugimenduak aztertzen ditu paradigma horrek, baita mugimendu horiek dakartzaten eragin zabalagoak ere. Gai honetan ondoren *Mobilities* liburuan sakondu zuen. Urte batzuk beranduago, 2014. urtean, *Offshoring* deritzona kaleratu zuen. Liburu honek hainbat *offshoring* kasu dokumentatzen ditu, batik bat lana, plazera, energia edo segurtasunarekin loturik daudenak. Eredu eta prozesu hauek aztertuz, ulergarriago egiten ditu mundu hauen nondik norakoak eta globalizazioaren alde iluna azaleratzen du.

Giorgio Agamben filosofo italiarra da *offshoring* delakoak espazio fisikoan duen garrantzia aipatzen duen lehen autoreetakoa. Horrek 'salbuespen-egoera' terminoa erabiltzen du lurralde deslokalizatu hauen funtzionamendua azaltzeko. *Salbuespen egoera*, *Homo Sacer II* lanean aztertzen du figura juridiko hau, zeinek estatu ala lurralde jakin baten arauetako etenaldi partzial edo guztizkoa dakarren.

Egile italiarrak militarizazioaren ondorioz sorturiko albuespen-egoerak jorratzen ditu nagusiki. Nazien garaian gertatu zen moduan, George W. Bush-ek *military order* berezi bat aurkeztu zuen 2001. urteko azaroaren 13an. Dokumentu honek jarduera terroristetan aritzeaz susmagarri den edozein herritar ez-estatubatuarren atxiloteta mugagabea baimentzen du. Albuespen egoera hauek sortzean Guantánamoko atxiloteta-zentroaren modukoak agertzen dira, bistatik urrun dauden errealitateak.

Zuzenbideak arautu gabeko lurralde hauetan legerik ez dago, baina eguneroko bizitza berdin-berdin ematen da. Berehalakotasunak, indarkeriak eta unean uneko negoziatioek arautzen dituzte espaziook.

Egoera hauen eragina nabaria den arren, ez dira oso ugariak arkitekturaren arloan esparru hau landu duten autoreak. Haien artean Keller Easterling arkitekto estatubatuarra nabarmetzen da. Horrek *produktu espazial* (Easterling, 2005) izena jarri die egoera hauei¹. Haren hitzetan espazio hibrido hauek ohiko egitura eta jurisdikzioetatik kanpo existitzen dira. Mundu globalizatuaren diskurtso unitarioaren kontra egiten dute. Merkatuaren eskaerei berehalako erantzuna ematen diete. Horretarako, pertsonak, kapitala, material gordinak edota produktu manufakturuak mugiarazten dituzte.

Tokiak sortzeko gure era aldatzen du beste leku batzuetara joateak, dela turismoa egiteko, dela lan baten bila, dela premiarik larrienak behartuta. Azpiegitura energetiko ala komunikaziozkoak deslokalizatzeak kode amankomun batzuetan lan egitera behartzen gaitu. Oinarrizko zerbitzuak milaka kilometrotara aurkitzen den pertsona baten bidez lortzeak gure arkitektura programak aldatzen ditu. Gure ingurumena kontainer-ontzietan garraiatutako produktuez eraikitzeak arkitekturaren estandar materialak aldatzen ditu.

Mundu mailako trukaketa hauen intentsitatea areagotu egin da, eta horrek gutako bakoitzak egunero bizi dugun espazioari eragin dio. Arlo guztietako profesional, akademiko eta ikasleek gero eta argiago dute fluxu hauen inpaktuak dakartzan aldaketak nabariak direla. Eta hain justu, uste horixe da doktoretza-tesi honen abiapuntua.

2. Ikerketaren helburuak

Eduard Punset dibulgatzaile zientifikoak adierazten du azken boladako krisi-giroaren jatorria dela orain dela hamar mila urte nomadismotik nekazaritza-kokalekuetara pasatzean eraiki ziren pentsamolde-aldaketak². Gizarte globalizatuak dakarren nomadismo berriak kolokan jartzen ditu gure ziurtasun guztiak.

¹ Keller Easterling arkitektoak 'produktu espazial' bezala izendatzen dituenen artean *resort*-ak, teknologia-parkeak, frankiziak, golf-zelaiak, portuak eta antzekoak daude. Espazio hauek salmenta, negozio eta merkataritzarako formula komertzial ezagunak dira. Honakoa gomendatzen dugu *spatial product* kontzeptuari buruzko irakurketa sakon baterako: Easterling, Keller. *Enduring innocence: global architecture and its political masquerades*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2005, 1-3 or.

² Punset, E., 'Nómadas otra vez', zientzialariaren blog pertsonalean argitaratua, ondorengo estekan irakurgai: <http://www.eduardpunset.es/10678/general/nomadas-otra-vez>

Leku jakin bat ez da inorentzat betiko kokagune. Hau jakinik, zentzugabea izango litzateke kontrakoa pentsatuz zerbait eraikitzea. Halere, arkitekturak zailtasun handiak dauzka egoera horri erantzuna emateko. Oro har, ez da batere ondo moldatzen ezegonkortasunari aurre egitean.

Sarreran azaldu bezala, tesi honek zehazki *offshoringari* buruzko ikerketa egiten du. Batetik, aztertzen du fenomeno honek arkitekturaren lau alor espezifikotan eragindako aldaketa; alegia, lekuetan, egituretan, programetan eta eraikuntzan dauzkan ondorioetan. Bestetik, eguneroko prozesu ugari urrunera eramate horiek aztertzeak arkitekturak jarrai ditzakeen estrategiak atzemango ditu, gizartearen eskaera errealei erantzuna emango badiote.

2.1 Estrategia

Federico Soriano arkitektoak azpimarratzen du munduaren ezagutza egunkarietan soilik dagoela³. Zaila da egunerokotasunarekin duten erlazio estua beste iturri batzuetan aurkitzea, egunero-egunero formatu berean eta orrialde-kopuru berarekin inprimatzearen poderioz.

Beste diziplina zientifiko batzuetan aintzat hartzen da ikerketa batek mementoko aurrerapausoak kontuan hartzea. Aldiz, arkitektook nahiago dugu gure denbora eman ikerlanak irudi bitxi edo politez betetzen. Horregatik, sarritan tesi-lanek liburutegi konkretu batera joan eta bertako irudiak eskaneatu baino ez dute egiten. Tesi honen kasuan, oster, *biblio* (liburu) *theke* (kutxa)ren garrantzia alde batera utzirik *hemera* (eguna) *theke* (kutxa)ra jo da informazio bila. Eguneroko kutxa horretan, hausnarketa eratzeko eta diskurtsoa garatzeko modua espazioaren egitura-aldaketek uzten dituzten arrastoen identifikazioan datza.

Tesiak lau kapitulu dauzka. Kapitulu bakoitza egunkariko berri batekin hasten da. Berri horretan beti gailu bat agertzen da, arreta ematen diguna. Gailu horiek ondorengoak dira:

- Turismo *resortetan* erabili ohi diren RFID⁴ eskumuturreko bat, tokiei buruzko kapituluan.
- Petxora itsasoan dagoen Prirazlomnaya olio-plataforma, egiturei dagokien kapituluan.
- Chennaingo *call-centreko* langile baten *boxa*, programen aldaketaz ari den kapituluan.
- Shenzhengo portuko kontainer bat, eraikuntza lantzen duen kapituluan.

Elementu horiek gailutzat hartzen dira, erreferentziatzat harturik Giorgio Agamben filosofoak *gailu* kontzeptuaz ematen duen definizioa (Agamben, 2011). Definizio hori, aldi berean, Foucaulten lanean oinarriturik dago. Azken horren arabera, gailu batek funtzio estrategiko konkretu bat du, botere erlazio batean barneratua.

Gure ikerketan agertzen diren lau gailuek kontaktuan jartzen gaituzte kapitulu bakoitzean aztertzen den arkitektura alorrarekin. Hala, lehenengo kapituluan RFID eskumuturrekoak Rio 2016 Joko Olinpikoen *resorta* aurkeztuko du. Bigarren kapituluan, Prirazlomnaya *offshore* olio-plataformak komunikazio eta energia azpiegitura berriak nabarmenduko ditu. Hirugarren kapituluan, Chennaingo IT langilearen lanpostuak kontaktuan jarriko gaitu urruneko programekin. Laugarren kapituluan, Shenzhengo portuko kontainerrak aipamena egingo dio logistikan eta estandarizazioan oinarrituriko eraikuntzari.

Arestiko hurrenkera nagusi horretaz baliatuz, beraz, testuak aztertzen du nolako eragina duen *offshore* jarduteak tokietan, egituretan, programetan eta eraikuntzan.

Banakako analisi bakoitzak ondorio partzialak gehituko ditu, eta bukaeran aplikatuko dira, zehazki, ondorioen ataleko kasua aztertzen denean.

2.2 Gaur eta hemen

³ Soriano, F. Arkitektura Proiektuen katedradun izateko oposizioan emandako hitzaldia. ETSAM, UPM 2016/05/18.

⁴ RFID Radio Frequency IDentification hitzei dagokie. Atxikitzen zaion pertsona edo objektuari buruzko datuak biltzen dituen gailua; hala nola nora doan, zein erosketa egiten dituen, etab.

Ikerketa-kasu bakoitza BRIC⁵ akronimoa osatzen duten herrialde bati dagokio: lehenengoa, tokiei dagokiona, Brasilen kokatzen da; bigarrena, estrukturari buruzkoa, Errusian; hirugarrenik, programak lantzen dituen, Indian dago; azkenik, eraikuntzari buruzkoa Txinan kokatzen da. Herrialde hauek suspertzen ari diren herrialdeak dira. Euren arrakasta *offshore* funtzionatzean datza. Herrialde garatuek euren mugetatik urrun kokatzen dituzte gero eta prozesu gehiago, etekin gero eta handiagoen bila; gure artean ikusi nahi ez ditugunak, horiexek gertatzen dira BRIC herrialdeetan. Beraz, analisi-eremu honen aukeraketa justifikaturik dago. Gainera, arkitekturan ikerketa orok distantzia jakin bat ezartzen du ikertzailearen eta ikergaiaren artean. Objektibotasuna bermatzeko egiten da. Halere, normalean distantzia hori denborazkoa izan ohi da; kasu honetan, ordea, distantzia ez da denborazkoa, espaziala baizik. Arkitektura diziplina espaziala izanik, komenigarritzat jo da analisi-eremua espaziala izan dadin, gaur egungo errealitate bati dagokiona, hartara ikerketa horrek balio dezan arkitekturak gaur eta hemen kontuan hartu beharreko parametroak identifikatzeko.

Kapitulu bakoitza saiakera labur batekin bukatzen da, gugandik hurbil gertaturiko berri batek eragindakoa. Hala, argi ikusiko da urrunean gertaturikoek gure egunerokotasunean duten eragina; kapitulu bakoitzean ateratako ondorio partzialak banan-banan baieztatuz joango gara. Etengabeko joan-etorri hori egon badagoela ikusiko dugu. Bukatzeko, tesiaren ondorioak biltzen dituen kapituluak El Ejidoko kasua aztertzen du. Hurbileko kasu honek tesian zehar azaldu diren lau alorrak biltzen ditu. Horri begira, *produktu espazial* eraginkorra sortu du.

Rem Koolhaas arkitekto holandarrak 1995. urtean *S,M,L,XL* liburuaren barruan Singapurri buruz eginiko ikerketa txiki bat sartu zuen. Hamabost urte beranduago saiakera hau solte publikatu zen berriz, eta egileak hitzaurreko esanguratsua idatzi zuen. Bertan, ondorioztatzen du 90. hamarkadan ematen zuela Singapur Txinaren garapenerako eredu izango zela, baina denbora pasa ahala gure ingurumenaren aurreproiektu bilakatu zela⁶. Era berean, gure ustetan antzeko zerbait gertatuko da gaur *offshore* gertatzen direnekin; horiexek bilakatuko baitira gure ingurunean etorkizun hurbilean sortuko direnen aitzindari.

3. Ikerketaren muina eta ondorioak

3.1 Han...

Aurrez esan bezala, kapitulu bakoitza egunkariko berri batekin hasten da. Berri horretan agertzen den *gailuak* aurreratzen du kapituluaren lantzen den arkitekturaren alorrak egun duen izaera.

Lehenengo kapituluaren aztertzen da pertsonen mugimenduak tokiak sortzeko eran duen eginkizuna. Hala, Joko Olinpikoetako *resortetik* hasten den analisiak langile *expat*⁷ak bizi diren urbanizazio itxiak landuko ditu ondoren; azkenik, gerra edo hondamendi naturalen ondorioz sorturiko kanpamentuak ikusiko dira. Nabarmena da nola desirak eraginda hasten den mugimenduak, lanak eginarazia eta beharrianik larrienak bultzatuak komunean hainbat gauza dituzten. Hasieran, ematen du toki hauek perimetro itxia dutela, ezarri nahi den kontrolaren ondorio. Aldiz, analisi sakonagoak erakutsi digu behin eta berriro sortzen direla norbanakoaren esperientzia oinarrituriko tokiak. Kontrol-mekanismoak gero eta sofistikatuagoak dira, ikusgaitzagoak; RFID teknologiaz baliatuz gure mugimendu edo kontsumoari buruzko informazio asko ematen dugu nahi gabe. Baina, aldi berean,

⁵ 2003ko urriaren 1ean, Goldman Sachs nazioarteko inbertsio-bankuak *Dreaming with BRICs: The Path to 2050* ikerketa-txostena kaleratu zuen. Jim O'Neill ekonomistak zuzendu zuen ikerketa-programa hau eta BRIC akronimoaren sortzaileztat hartzen da.

⁶ Koolhaas, R. (2010). *Sendas oníricas de Singapur retrato de una metrópolis potemkin- o treinta años de tabla rasa*, Bartzelona, GG. 9. orrialdean, hitzaurrean, zehazki ondorengoa irakur dezakegu: “testu hau idatzi zenean Singapur Txinako garapen eredu izango zelakoan geunden, baina hori gerora ilusio hutsala suertatu zen; neurri batean, izatera heldu zena geure ingurunearen aurreproiektua izan zen: bertan agerturiko gai asko orain gure artean dauzkagu ate joka.”

⁷ Ingeleseko termino hau euren jaioteritik kanpo denboraldi batez bizi direnentzat erabiltzen da. Ohiko erabileran erreferentzia egiten dio konpainiek atzerrira bidalitako profesional trebeei.

gailuak igortzen eta jasotzen dituen erradiazioak ez du perimetro itxi bat eratzen; sistema honek zehaztugabetasun tarte bat sortzen du, sistemaren beraren boikota baimentzen duena.

1. irudia. El Ejidoko kirol-portua eta Ceutako El Tarajal hondartza (iturria: Luzarraga, 2015 eta 2010)



Bigarren kapituluari dagokionez, azaleratzen da zein diren energia eta komunikazio-azpiegiturak gero eta urrunago eramatearen ondorioak. Hori argitze aldera, aztertu da nolako eboluzioa izan duten historioan zehar komunikazio eta energia azpiegiturok. Lurraldean modu linealean agertzetik ikusezin izatera pasatu dira. Oliao lehen hodietan garraiatzen zen batez ere; orain, berriz, *offshore* dauden plataformetan erauzi eta itsasontziz garraiatzen da. Komunikazio-azpiegiturei dagokienez, zaldiz edo trenetaz garraiatzen ziren posta-zerbitzuetatik satelite komunikazioetan oinarrituriko nabigaziora pasatu gara. Tesiak aditzera ematen du azpiegitura ikusezin hauen kartografiak eta mapak zer nolakoak diren; itsasontzien nabigatzeko-mapak, satelite bidezko irudiak eta batez ere GIS⁸ teknologiaren bidez egindako kartografiak lagungarri izan baitaitezke arkitekturan ere mugimendu edo zirkulazio ikusezinak irudikatzeko orduan.

2. irudia. El Ejidoko ASTER⁹ airetiko irudia (iturria: NASA)



Hirugarren kapituluan aztertzen da nolako eragina duen zerbitzuak urrunetik emateak arkitektura-programetan. Indiako Chennai hirian dagoen *call-centre* batetik abiatuz, bertako

⁸ GIS *Geographic Information System* hainbat elementu bateratu eta erlazionatzen dituen erreminta-multzoa da. Datuak eta kokalekua harremanetan jartzen ditu, plangintzan eta beste motatako erabakietan eraginkortasuna hobetzea xede izanik.

⁹ ASTER *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* da NASAk, *Japan's Space Systems* eta Japoniako Ekonomia Ministerioak Lurra arakatzeko martxan jarritako ekimena. Sateliteak irudi termikoak jasotzen ditu.

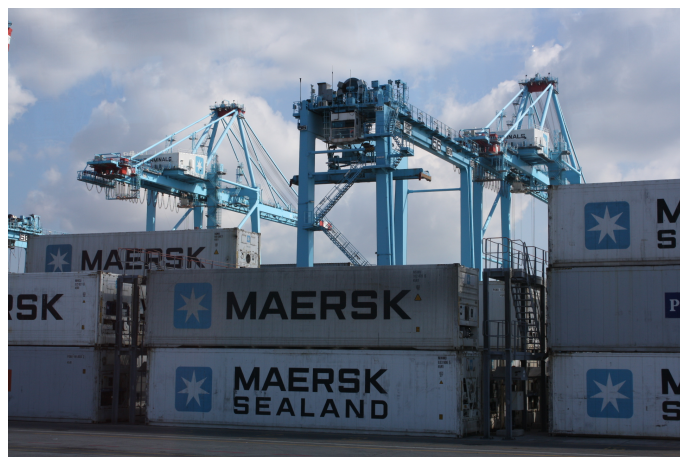
langile baten *boxa* azertu da. Ondorengo ondorioa atera da elementu-sorta horretatik: objektuek eta kopresentziak duten garrantzia egungo arkitekturan. Bi kontzeptu hauek lantzean elementu finkoen ordez altzarien bidez konfiguratzen den arkitektura-adibideak azaldu dira; alegia, bi lekutan aldi berean egotea ahalbidetzen duten arkitektura-programak.

3. irudia. Madrilgo Usera auzoko mintzategiak (iturria: Luzarraga, 2010)



Laugarren kapituluan, hau da, Shenzhengo portuko kontainer baten analizatuz hasten denean, aurreratzen da nondik eta norakoa izan daitekeen aldi baterako arkitekturak eraikitzeko behar den kudeaketa. Logistikak duen funtzionamendua estandarizazioan oinarriturik dago; horri esker, materialak eta produktuak igorgarriagoak dira¹⁰, testuinguru ezberdinetan erabiltzeko. Logistikan bezala, trukaketa ugari egin beharreko errealitatean arkitekturak kode komun batzuk erabilita¹¹ funtzionatu dezake.

4. irudia. Kontainerrak Algeciraseko portuan (iturria: Luzarraga, 2010)



3.2 ... eta hemen

Kapitulu bakoitzetik ateratako ondorio partzialak perimetroa, zirkulazioa, kopresentzia eta estandarizazioari buruzkoak dira. Bukatzeko, tesiak aztertzen du ondorio-kapitulu gisa El Ejido herria, gugandik hurbil dagoen *offshoring* salbuespen-egoera bat. Ikusiko dugu nola legez kanpoko

¹⁰ Estandarizazio eta normalizazioari buruzko hausnarketa sakonago baterako irakurri ondorengoak: Luzarraga, A. (2016). "La creación de normas para la autonomía. De los objetos a los protocolos", *Publicación Actas digitales congreso Critic-All2*, 179-285 or.

¹¹ Kode komun batzuen arabera funtzionatzen duten arkitekturei buruz, honakoa irakurgai: Luzarraga, A. (2012). "Estructura/Structure", Hainbat egile, *Words. Manual de Proyectos UD 26. Colección Textos Académicos ETSAM-UPM*, 9, Mairia, Madril, 54- 57 or. eta 108-111 or.

immigranteek, plastikoez, logistikak eta legeak zorrotz ez betetzeak osatzen duten osotasun honek ahalbidetzen duen tesitik ateratako ondorio partzialak banan-banan baieztatzea.

Baina oraindik ere gerta dakiguke geuri buruari galdetzea honek guztiak zein eragin duen gu bizi garen testuinguruan. Herrialde garatuek euren mugetatik urrun gero eta prozesu gehiago kokatzen dutenez, bizi garen hiriak funtzio jakinik gabe geratzen dira. Hortaz, gure egunerokotasuna eremu gero eta uniformeago batean bizi dugu. Halere, arretaz begiratzen baldin badugu, ikusiko dugu badirela hirietako bazterretan dauden poligonoetan edo oporretan joateko erabiltzen ditugun aireportuetan ere *offshoring* arkitekturak. Izan ere, gero eta salbuespen-espazio gehiago bizi ditugu oharkabean egunero.

5. irudia. El Ejidoko plastiko-paisaia (iturria: Luzarraga, 2015)



4. Etorkizunerako planteatutako norabidea

Tesiak urruneko lau kasu aztertzen ditu. Halere, kapitulu bakoitza aurrera joan ahala, ikusten da nola gure ingururik hurbilena ere horrelako egoerek baldintzatzen duten. *Offshoring*aren ondorioak nabarmenak dira gure eguneroko toki, egitura, programa eta eraikuntzetan.

Beraz, arkitektura proiektatzeko moduak arreta jarri behar die funtzionatzeko modu hauei. Ezin dugu tokiak proiektatzeko orduan antzina moduan orientazioari edo argitasunari buruz soilik pentsatu. Egiturak proiektatzerakoan kontuan izan beharko dugu irudikatzeko zein modu eskatzen duten zirkulazioan dauden elementuek. Eraikin edo espazio publikoen programak aurreikustean, aintzat hartu beharko dugu gutariko edonor bi tokitan dagoela aldi berean teknologiarik esker. Azkenik, eraikuntza kudeatzeko modeloek logistikaren edo propietate intelektualaren arauak jarrai ditzakete, egoera ezegonkorretara hobeto moldatzeko.

Bada proposatzen duenik *offshoringa* gaitzestea eta *reshoringa* lehenestea. *Offshoring*ak dakartzan berdintasun-eza eta energia-kontsumo izugarria ekiditeko, John Urry soziologoak esaten du urrunera eraman diren prozesuak bueltan ekarri behar direla (Urry, 2014). Baina doktoretza-tesi honen helburua ez da irtenbide moralki hobeak aurkitzea, baizik fenomeno jakin baten ezaugarri eta ondorioak analizatzea. Beraz, ildo horretatik jarraituz, beste ikerlan batzuk izan daitezkeela aurreikus dezakegu.

5. Erreferentziak

- Agamben, G. (2001). “¿Qué es un dispositivo?”, *Sociológica* (México), 26, 73, 249-264.
- _____ (2010). *Estado de excepción: Homo sacer, II, 1*. Adriana Hidalgo Editora, Buenos Aires.
- Bauman, Z. (2000). *Liquid modernity*. Polity Press, Cambridge, UK.
- Beck, U. (2012). “La redefinición del proyecto sociológico: el desafío cosmopolita”, *Sociológica*, 27, 77, 269-280.
- Bulard, M. (2012). *El Atlas de Le Monde diplomatique: [nuevas potencias emergentes]*. Valencia: Cybermonde.

- Easterling, K. (2005). *Enduring innocence: Global architecture and its political masquerades*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Koolhaas, R. (2010). *Sendas oníricas de Singapur. Retrato de una metrópolis Potemkin... o treinta años de tabla rasa*. Gustavo Gili, Barcelona. (orijinala Koolhaas, R. eta Mau, B. (1995). *S, M, L, XLn* argitaratua, The Monacelli Press, New York, 1008-1089 or.)
- Shaxson, N. (2011). *Treasure Islands: Uncovering the Damage of Offshore Banking and Tax Havens*, Palgrave Macmillan, New York.
- Sheller, M. eta Urry, J. (2006): "The new mobilities paradigm", *Environment and Planning A*, 38 (2), 207-226.
- Urry, J. (2007). *Mobilities*. Polity Press, Cambridge, UK.
- _____ (2014). *Offshoring*, Polity Press, Cambridge, UK.
- Wilson, D., eta Purushothaman, R. (2003). *Dreaming with BRICs: The Path to 2050*. Goldman Sachs, New York.

6. Eskerrak eta oharrak

Ikerketa hau burutzeko jaso den oinarritzko laguntza Eusko Jaurlaritzaren PREDOC doktoretza aurreko programa izan da. Programa honek atzerrian egindako ikerketa-egonaldietarako duen burtsak ere lagundu zidan Erresuma Batura joaten. Era berean, eskerrak bertan hartu nindutenei, zehazki, Lancasterreko Unibertsitateko *Centre for Mobilities Research*ekoei; bereziki, Monika Büscher eta Jen Southerni, ikerketa gidatzeagatik. Eta John Urry maisuari, emaniko aholku baliotsuengatik.

Madrilgo Arkitektura Goi Eskola Teknikoan ere pertsona ugariri eman behar dizkiet eskerrak. Ikerketa honen hasiera *Máster en Proyectos Arquitectónicos Avanzados* delakoan eginiko tesina izan zen; garai hartan Darío Gazapo masterreko eta proiektu-departamentuko zuzendariak agertutako konfiantzari esker hasi nintzen sakonago ikerketa-munduan murgiltzen. Ondoren, Federico Soriano tesi-zuzendariak inguruneari egiten dizkion begiratu zorrotz eta azkarrak izan dira inspiragarri.

Eskerrak ematea gustatuko litzaidake tesi honen zati ezberdinak hainbat kongresu eta foroetan entzun dituztenei; euren komentarioek lanari aberastasuna eta sakontasuna gehitu diote.

Azkenik, nola ez, eskerrak gurasoei, nebari, tesi honen bidean jaio diren seme-alabei eta Frani.

Ahots kantatuaren sintesiaren egokitzapena bertsolaritzarako

Xabier Sarasola, Eva Navas eta Inma Hernaez

AHOLAB, Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU), Bilbo

Laburpena

Ondorengo paper-ak euskarazko bertsolaritza ahots kantari sintetikoaren sortzeko prozesua deskribatzen du. Bertan, helburu hau lortzeko erabili diren baliabideen eta tresnen deskribapena emango da. Gure sistemak Hidden Markov Model (HMM) bidezko hizketa-sistema estatistikoa oinarri bezala hartzen du ahots kantatua sortzeko. HMM-ak entrenatzeko hizketa datu-base bat erabili beharrean ahots kantatuaren datu-base batez entrenatuko da ezaugarri linguistikoez gain ezaugarri musikalak gehituz audio seinaleei.

Hitz gakoak: Euskarazko ahots-kantatu sintesia, HMM bidezko sintesia, Bertsolaritza

Abstract

This paper describes the process of creation of a singing voice synthesis system for bertsolaritza, the art of singing improvised songs in Basque. The database acquisition process and the tools used to achieve this goal are explained. Our system uses Hidden Markov Model (HMM) based statistical speech synthesis as base to build a singing voice. We use a singing voice database instead of a speech database to train the HMM system with music labels in addition to the usual linguistic labels.

Keywords: Basque singing synthesis, HMM-based singing synthesis, Bertsolaritza

1 Sarrera eta motibazioa

Ahots kantatuaren sintesiak ordenagailu batek edozein kanta kantatzeko aukera ematen du. Nahiz eta 50 hamarkadan ahots kantatua sortzeko aukera erreferentziatuak dauden, 2000 hamarkada arte itxaron behar izan da garrantzi handiko gaia bihurtzeko, batez ere entretenimendu eta aisia eremuetan. Bertsolaritza pisuzko elementu kultural bat izanik, interesgarria da kalitate bertsolaritza sintetikoa lortzea.

Ahots kantatua oso hedatua da bereziki Japonian, non Yamahak (Pompeu i Fabra Unibertsitateko ikerketa taldearekin kolaboratuz) Vocaloid (Kenmochi eta Ohshita, 2007) izeneko sistema komertzial bat garatu zuen 2004 urtean.

Egun bi teknika dira beste teknika guztien gainetik gailentzen direnak ahots-sintesia lortzeko:

- Unitateen selekzioa eta kateamendua (Hunt eta Black, 1996; Raux eta Black, 2003): Teknika honetan difonemak, fonema erdiak edo hainbat fonemako unitateetan segmentatutako datu-base bat erabiltzen da. Sintesia lortzeko, beharrezko ezaugarriak betetzen dituzten unitateak kateatzen dira kateatze-kostua kontuan hartuz. Kateatze-kostuak, originalki kateatuak ez dauden unitateak kateatzeak sintesiaren kalitatean duen eragina baloratzen du. Sortuko den sintesiak kateatze-kostu txikiena duen konbinazioa erabiliko du. Kalitate oneko ahots oso bat lortzeko, hiztun konkretu baten grabazio kopuru handia izan behar da komenigarriki etiketatua (fonema maila, silabak, hitzak, esaldiak, etab.).
- Sintesi estatistikoko parametrikoa (Zen *et al.*, 2009; Tokuda *et al.*, 2013): Audioa parametro akustikoen bektoreetan bihurtzen da eta, aurrez egindako entrenamendu batean, sistemak testutik atera daitezkeen ezaugarri linguistiko eta hauei dagokien errealizazio akustikoaren erlazioa 'ikasten' du. Sistema

mota hauek biltegitratze-baldintza minimoak dituzte eta oso malguak dira, oinarritzen diren eredu matematikoak ahots berri edo hizketa-estilo desberdinetara egoki edo manipulatu daitezkeelako (Yamagishi *et al.*, 2009).

Sintesi terminoetan, ahots kantatuak diferentzia garrantzitsuak aurkezten ditu hizketa-ahotsarekin (Garnier *et al.*, 2007). Lehenik, kantuaren intonazioa melodiak eta erritmoak markatzen dute eta ez hainbeste lengoaiaren berezitasunek. Ikuspuntu fonetikotik, seinalearen ehuneko altu batek fonema bokalikoa ditu. Beste alde batetik, ikuspuntu akustikotik ahots kantatuak intentsitate altuagoa erakusten du eta baita zenbait fenomeno espezifiko, adibidez vibratoa (Alemán eta Carlosena, 2004). Beste ezaugarri garrantzitsu bat kantuaren onset bokalikoa eritmoaren sinkronizazioa da, hizketa ahotsean kontsideratzen ez dena (Saino *et al.*, 2006).

Nahiz eta diferentzia hauek izan, aipatutako bi sintesi-teknikak ahots kantatua aplikatu daitezke. Aukeraketa-teknikak zenbait fintze eskatzen ditu seinale-prozesamenduan aukeraketa beratik haratago doazenak (Bonada eta Serra, 2007), baita grabazioko datu-baseen diseinu espezifikoa (Martí Umbert eta Blaauw, 2013). Arrakasta komertzial ukaezina izan duten sistemak daude, Vocaloid ezaguna adibidez, teknika hauetan oinarritzen direnak. Sintesi parametrikoa ere, aukeraketa baina askoz berriagoa dena, inpaktu handia izan du ahots kantatuaren munduan. Kasu honetan, eredu estatistikoak ezaugarri linguistikoen elkarrekikotasunaz gain, elkarrekikotasun melodikoak eta kantatutako seinalearen parametro akustikoak atzitu ditu (Oura *et al.*, 2012). Teknika hauen esponente handiena Sinsy sistema da (Oura *et al.*, 2010).

2 Ikerketaren helburuak

Bertsolaritza ahots kantatuko genero oso espezifiko bat denez, hizketa ahotsetik gertuago dagoena beste estilo batzuek baino eta aldi berean karga espresibo garrantzitsu bat duena, interesgarria da ikerketa espezifiko bat egitea oraingo sintesi tekniken egokitasuna aztertzeke kalitate handiko bertsolari sintetiko bat diseinatzeko momentuan. Dakigunaren arabera, gai honetan ez da existitzen ikerketarik IXA eta Aholab taldeen arteko kolaborazioan egindako esperimentu pilotuek gain, BERTSOBOT (Astigarra-ga *et al.*, 2013) izenez ezaguna dena sortu duen kolaborazioa. BERTSOBOTen demostrazioek interes sozial handia piztu dute eta aurrera ateratzeko hizketa ahotsei dagokien ahots parametrizatuak erabili dira ahots kantatuak sortzeko. Hala ere, hizketa ahotsa eta ahots kantatuaren arteko diferentzia handiek kalitate oso baxuko ahots kantatu bat eman dute emaitza bezala. Gainera, onset eta vibratoaren modelatu gehigarriak ez ziren kontuan hartu integrazio honetan. Aukera bat Vocaloid-erako ahots bat sortzeko sistema honek markatzen dituen etapak jarraitzea izango zen. Nahiz eta kostu handikoa izan, irteera sintetiko on bat eskaini lezake. Hala ere, bertsolari ahots sintetiko bat lortzea ez da lan honen helburu bakarra. Lan honetan teknologia propioa garatu nahi da, ohiz kanpoko bi zirkunstantzien arteko sinergia ustiatzen duena: ahots sintetikoaren sorkuntzan eskuragarri dagoen esperientzia handia eta jakintza sakona, bertsolaritza estilo zaila lantzen den munduko leku bakarrean egotearekin konbinatua. Bertsolaritza generoa erronka partikulari zaila da ahots kantatuaren kalitatea esperimentatzeko, izan ere ahots kalitate baxua instrumentuen atzean ezkutatzea posible delako, baina bertsolaritzak ez dauka instrumenturik.

3 Ikerketaren muina

Ahots kantatu sintetikoa bertsolaritzara aplikatzeko ikerketa prozesua hiru zati nagusitan bana daiteke:

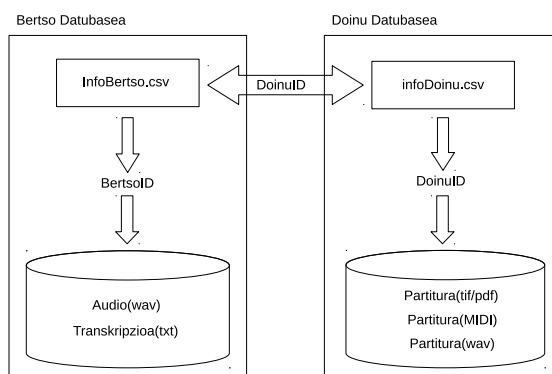
- **Datuak:** Ahots kantatuaren sintesia lortzeko beharrezkoa da ahots naturalaren datu-base bat izatea eredu egokiak eskura izan eta sistema entrenatzeko.
- **Sintesi-sistema:** Sintesi sistemaren aukeraketa garrantzitsua da eskura dauden datuak erabiliz ahalik eta kalitate handieneko ahotsa lortzeko. Sistemak definituko ditu datu-basean egin behar diren etiketatze lanak eta sintesirako erabiliko diren parametroak.
- **Sistemaren egokitzapena:** Aukeratutako sintesi-sistema bertsolaritzarako egokitu behar da. HMM bidezko sistema batean bertsolaritzako kantatzeko estiloa karakterizatzen duten eredu egokiak lortu behar ditu espektro, frekuentzia nagusi eta fonemen iraupenerako. Eredu hauek sortzeko datu-baseko seinale-zatiei testuinguru-etiketa egokiak jarri beharko zaizkie. Unitate selekzio sistema

batean unitate-aukeraketa findu behar da kateatze-kostua eta sintesiaren kalitatea era efizienteanean erlazionatzeko.

3.1 Datuak

Bertsolaritza datu-basea bi zatitan banatzen da 1 Irudian erakusten den bezala: Alde batetik audio grabazioak transkripzio fonetikoekin batera eta grabazio bakoitzaren informazio gehigarria; beste alde batetik musika partiturak daude bertsoetan erabiltzen diren doinuekin. Datu-basearen zati bakoitzak CSV fitxategi bat dauka bertso edo doinu bakoitzaren informazioa daukana. Bertsoen kasuan bertsolaria, doinua, data, etab. eta doinuaren kasuan neurria, bis mota, etab. BertsoID identifikagailuaz bertsoaren audio eta transkripzio fitxategiak atzitu daitezke eta DoinuID identifikagailuak eramango gaitu bertsoaren doinuaren informazio eta fitxategietara.

1 Irudia: Bertsolaritza datu-basearen egitura



Bertso-grabazioak mp3 formatuan lortuak daude bertsolaritza lantzen duten Bertsozale Elkartearen online datu-basetik ¹. Grabazioak 1979tik 2014ra bitarteko lehiaketa eta saio desberdinetako grabazioak dira. Lortutako materiala 1 Taulan erakusten da. Bakarrik bertsolari bakarreko eta puntukako saioak hartu dira kontuan.

1 Taula: Grabazioen informazioa

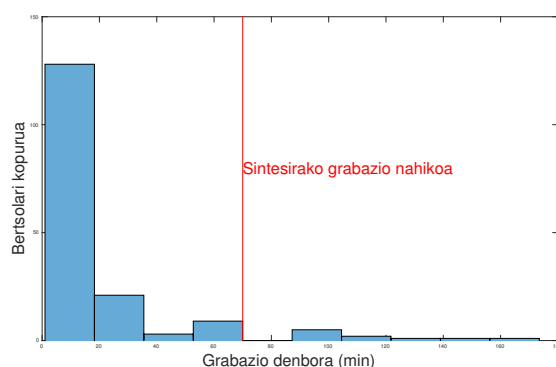
Grabazioen iraupena	6105 min
Grabazio kopurua	2094
Gizonezkoen grabazio kopurua	1860
Emakumezkoen grabazio kopurua	234
Bertsolari kopurua	189
Gizonezko bertsolari kopurua	158
Emakumezko bertsolari kopurua	34

Grabazioen MP3 fitxategiak Windows PCM formatura pasa dira, 44.100 Hz-eko laginketa maiztasunarekin eta 16 bit-ekin lagin bakoitzeko. Bertsolari bakoitzeko grabazioen kopurua 93tik grabazio bakarrera doa. Bertsolari bakoitzeko grabazio-denbora minutu 1etik 314ra doa. Baina grabazioek isiluneak, gai-jartzailea eta txaloak dituzte eta beraz, grabazioen erdia besterik ez da ahots kantatua.

Doinuei dagokienez, 3019 doinu daude eskura baina 202 besterik ez dira erabiltzen datu-baseko bertso-grabazioetan.

¹www.bertsozale.eus

2 Irudia: Grabazio denbora bertsolariko



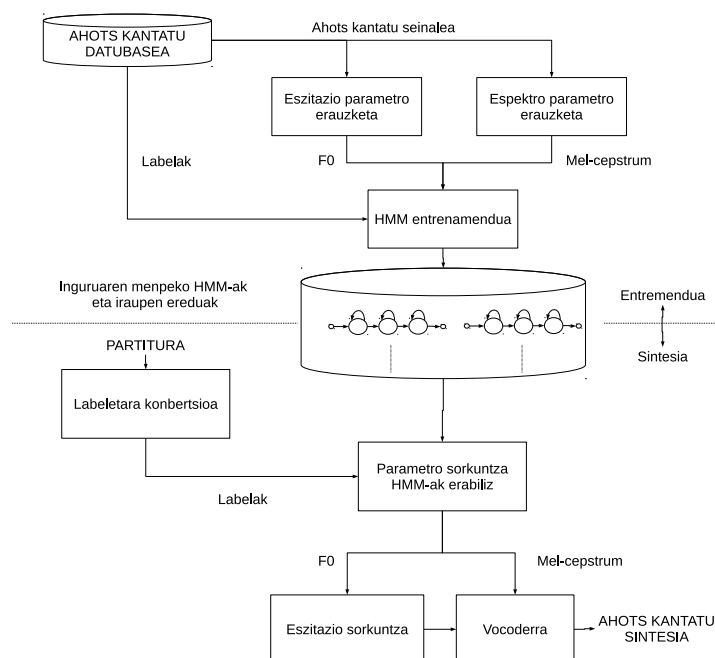
2 Irudian erakusten den bezala, bertsolari gutxiak dauka 70 minutu grabazio baino gehiago, ahots bat sortzeko normalean erabiltzen den kopurua HMM sintesi-sistema bat erabiltzen denean (Oura *et al.*, 2010).

Bakarrik 10 bertsolarik betetzen dute baldintza hau, 9 gizonek eta emakume 1ek. Hala ere, material gutxiago daukaten bertsolariak ahots kantatuaren ereduak erabiliz egokitu ahalko dira etorkizunean.

3.2 Sintesi sistemak

Sarreran azaldu den moduan, sintesarako erabiliko den sistemak aukeratzeak eskura dauden datuen araberakoa da. Grabazioen kateatze sistemak kalitate handiagoa lortzen dute baina datu-base handiagoa behar dituzte. Bertsolari bakoitzetik dugun ahots denbora maximoak 70 minutu ingurukoak direnez daukagun aukera bakarra HMM bidezko sintesia egitea da oraingoz. Sistemaren eskema orokorra 3 Irudian ikus daiteke.

3 Irudia: HMM bidezko ahots kantatu sintesi-sistemaren eskema orokorra



Sintesi estatistikoa, entrenamendu fasean lortutako eredu estatistiko multzo batean oinarritua dago, geroago sintesi-parametroak sortzeko balioko dena.

Entrenamendu fasean espektro- eta eszitazio-parametroak erabiltzen dira bertso grabazioetatik. Ondoren parametro hauen ereduak sortzen dira grabazio beretatik ateratako testuinguru-etiketak erabiliz. Entrenamendu honekin pitch (F0) eta espektro ereduak (Mel-cepstrum), HMM egoeren iraupen ereduak eta nota eta fonemen sinkronizazio ereduak lortzen dira. Azken ezaugarri hau musika-tempoari lotua dago eta bertsolaritza estiloa beste kanta estilo batzuetatik banatuko duena izango da. Ereduen lortzea iterazio asko eskatzen dituen prozesu bat da, non iterazio bakoitzean, grabazioen etiketatze errore posibleak zuzentzen diren, parametro desberdinak doitzen diren, etab.

Sintesi estatistikoek hizketa ahotsari eskaintzen dizkieten aukeretako bat lortutako ahotsa hizketa estilo berrietara moldatzeko malgutasuna da, sorburu grabazioetan agertzen ez diren emozio, azentu eta ahots berriak lortzeko erabil daitekeena. Modu berean, bertsolari berrien ahotsak sortzeko ere aplikagarriak izan daitezke. Beraz, bertsolari ahots berriak sortzeko ahots egokitzapen eta bihurketa teknikak aztertuko dira, ahots kantaturako beharrezkoak diren moldaketak eginez.

3.3 Sistemaren egokitzapena

Aurreko atalean azaldu den bezala, HMM sistema batek seinale etiketatu baten testuinguru-etiketa eta ezaugarri espektralaren arteko erlazioa ikasiz lortzen du ahots-sintesia. Hau dela eta, testuinguru-etiketek markatzen dute sortuko den ahotsak zein ezaugarri hartuko dituen entrenamenduan datu-basetik. Etiketa hauek kontuan hartzen dute seinalearen zati bakoitza ez dela seinale zati isolatu bat. Fonema batek nota, silaba edo esaldi batean duen kokapenak eta aurretik eta ondoren dituen fonema edo notek eragingo dute seinalearen forman. Hau kontuan hartuta fonema bakoitzari emango zaizkion etiketak ondorengoak izango dira.

- **Fonema:** aurreko bi fonemak, oraingo fonema eta ondorengo 2 fonemak.
- **Posizioa notan:** aurreko, oraingo eta ondorengo fonemen posizioa notan.
- **Zortziduna:** Aurreko, oraingo eta ondorengo notaren zortziduna.
- **Nota:** aurreko, oraingo eta ondorengo nota.
- **Iraupena:** Aurreko, oraingo eta ondorengo notaren iraupena.
- **Notaren posizioa:** Aurreko, oraingo eta ondorengo notaren posizioa esaldian.

Etiketa hauek erabiltzeak esan nahi du seinalean denbora markez seinalatutako fonema bakoitzak etiketa hauek definiturik izan behar dituela. Fonema bakoitzean zein nota kantatzen ari den era automatikoki etiketatu da, doinuaren partitura oinarritzat hartuz. Ahotsaren frekuentzia nagusia, eskuz etiketatutako fonema labelak eta partiturak erabiliz testuinguru-etiketak sortu dira.

Testuinguru-etiketa hauekin egindako ahots sintetikoaren kalitatea ezegokia izanik, etiketa hauen analisi egin da eta aurkitu da partiturak eta grabazioen arteko koherentzia ez dela egokia.

3.3.1 Noten iraupena

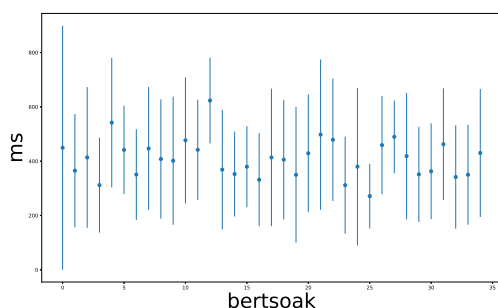
Nota bakoitzaren iraupena nota motaren bidez definitzen da (zuria, beltza, kortxea...). Informazio hau doinuaren partiturak grabazioekin lerrokatuz lortzen da eta HMM-ak era egokian entrenatzeko iraupen erreala eta etiketakoak erlazioa izan behar dute baina 4 Irudian ikusten den bezala partiturek markatutako denborak ez dira egokiak bertso grabazio errealek. Nota beltzek bertso desberdinetan batezbesteko denbora berak ez izatea arazo bat da entrenamendu fasean, baina gerta daitekeen zerbait da kontuan hartzen badugu bertso desberdinak erritmo desberdinarekin kantatuak izan daitezkeela. Baina hau kontuan hartuta ere, bertso bakoitzean iraupen etiketa bera duten noten artean dagoen desbideratze estandarra handiegia izaten jarraitzen du.

3.3.2 Frekuentzia nagusia

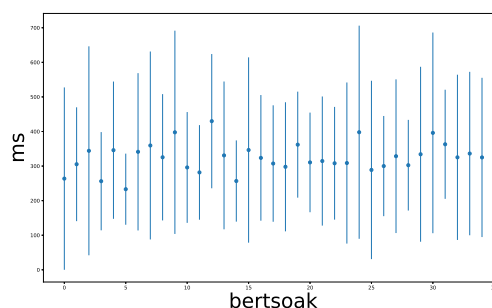
Fonema bakoitzean kantatzen den nota zein den markatu behar da etiketetan ere bai, baina 5 Irudian erakusten du bertso desberdinetan nota berdin bezala markatutako fonemen frekuentzia nagusia asko aldatzen dela. Irudian nota beraren batezbesteko balioa eta desbideratze estandarra irudikatzen da. Frekuentzia cent-etan irudikatuta dago, non tonuerdien arteko desberdintasunak 100 cent diren.

4 Irudia: Eskala desberdinetako Re notaren frekuentzia nagusia

(a) Beltzen denbora

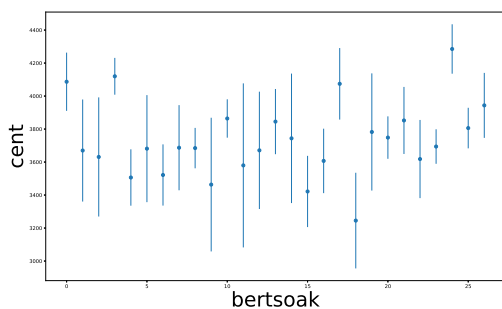


(b) Kortxeen denbora

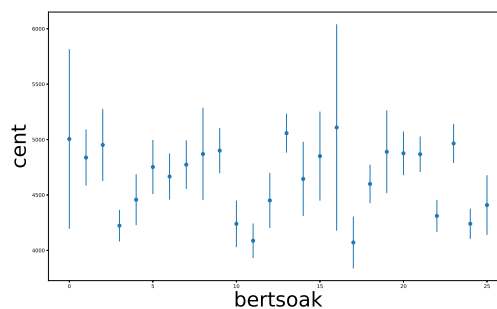


5 Irudia: Eskala desberdinetako Re notaren frekuentzia nagusia

(a) 4. zortziduneko Re



(b) 5. zortziduneko Re



4 Ondorioak

Bertso sintesia sortzeko sistemaren egitura sortu da baina oraindik ez da lortu kalitate nahikoa duen ahots kantatuko sintesia. Arrazoi nagusia automatikoki sortutako testuinguru-etiketen koherentzia falta da. Etiketa hauek lortzeko erabilitako partiturak eta grabazioen arteko ezberdintasunek etiketa ezegokiak sortzen dituzte eta honek erlazio ezegokiak ikastera eramaten du sistema. Hau konpontzeko bi bide nagusi azpimarra daitezke etorkizunerako:

- **Etiketatzeko automatikoa hobetu:** Koherentzia falta hauek existitzen direla jakinda, etiketatzean arazo hauek detektatu eta etiketa egokiak sortzea.
- **Parametroen behartzea sintesian:** Ahots kantatua sintetizatzen denean erabiltzen diren espektro, frekuentzia nagusi eta iraupen ereduak HMM-en ikasketatik datoz guztiz. Zenbait ereduaren kalitatea ez bada hobetzea lortzen testuinguru etiketak hobetuz, arau bidezko ereduaren bidez ordezkari daitezke nahi diren ezaugarriak lortzeko ahots sintetikoak.

5 Etorkizuna

Etorkizunerako lana hiru puntu nagusitan bana daiteke:

- Entrenamenduaren hobekuntza
- Sistema ebaluatzen den era berriak

- Ahots kantatu berriak

Lortu den ahots kantatuaren kalitatea oraindik ez da behar bezalakoa, hau hobetzeko HMM-en entrenamendu fasean erabiltzen diren labelak aldatu daitezke. Label egokiak gehituz, inguru informazio gehiago eman daiteke HMM-ei ikasketa egokiagoa izateko.

Sintesiaren kalitatea egiaztatzeko ez dira oraindik froga estandarrik egin. Fase honetara ez gara iritsi sintesiaren kalitatea ez dela horrelako froga egiten planteatzeko bezain handia. Maila horretara iristerakoan egiteke egongo da bi motatako frogen artean aukeratzea:

- **Froga subjektiboak:** Hainbat entzulek ezberdin konfiguratutako sintesi-sistemak ebaluatzea.
- **Froga objektiboak:** Lortutako ahotsen objektiboki neur daiteken ezaugarriak ebaluatzea. Musikan tempoa eta tonua hain garrantzitsuak izanik, fonema eta silaben iraupenak eta frekuentzia nagusia (F0) desiratuak diren balora daiteke.

Azkenik lehen ahotsaren kalitatea egokia dela ikustean, beste kantarien ahotsak sintetizatzerara iritsi nahi da entrenamenduan horien grabazioak erabiliz.

6 Esker onak

Autoreek eskerrak eman nahi lizkioke Bertsozale Elkarteari, bertso-ekitaldien digitalizazioan egin duten lanarengatik. Lan honek asko erraztu du HMM bidezko ahots kantatu sistema erabiltzeko datu-basea sortzea.

Lan hau UPV/EHU (Ayudas para la Formación de Personal Investigador), Eusko Jaurlaritza (ELKAROLA project, KK2016/00087) eta Espainiako Ekonomia, Industria eta Leihakortasun Ministerioak FEDER laguntzarekin (RESTORE project, TEC2015-67163-C2-1-R) finantzatu dute.

Erreferentziak

- ALEMÁN, IXONE ARROBARREN, eta ALFONSO CARLOSENA. 2004. *Signal Processing Techniques for Singing and Vibrato Modeling*.
- ASTIGARRAGA, AITZOL, MANEX AGIRREZABAL, ELENA LAZKANO, EKAITZ JAUREGI, eta BASILIO SIERRA. 2013. Bertsobot: the first minstrel robot. In *Human System Interaction (HSI), 2013 The 6th International Conference on*, 129–136. IEEE.
- BONADA, JORDI, eta XAVIER SERRA. 2007. Synthesis of the singing voice by performance sampling and spectral models. *IEEE signal processing magazine* 24.67–79.
- GARNIER, MAËVA, NATHALIE HENRICH, MICHELE CASTELLENGO, DAVID SOTIROPOULOS, eta DANIELE DUBOIS. 2007. Characterisation of voice quality in western lyrical singing: from teachers' judgements to acoustic descriptions. *Journal of interdisciplinary music studies* 1.62–91.
- HUNT, ANDREW J, eta ALAN W BLACK. 1996. Unit selection in a concatenative speech synthesis system using a large speech database. In *Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1996. ICASSP-96. Conference Proceedings., 1996 IEEE International Conference on*, volume 1, 373–376. IEEE.
- KENMOCHI, HIDEKI, eta HAYATO OHSHITA. 2007. Vocaloid-commercial singing synthesizer based on sample concatenation. In *Interspeech*, volume 2007, 4009–4010. Citeseer.
- MARTI UMBERT, JORDI BONADA, eta MERLIJN BLAAUW. 2013. Systematic database creation for expressive singing voice synthesis control.
- OURA, KEIICHIRO, AYAMI MASE, YOSHIHIKO NANKAKU, eta KEIICHI TOKUDA. 2012. Pitch adaptive training for HMM-based singing voice synthesis. In *Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2012 IEEE International Conference on*, 5377–5380. IEEE.
- OURA, KEIICHIRO, AYAMI MASE, TOMOHIKO YAMADA, SATORU MUTO, YOSHIHIKO NANKAKU, eta KEIICHI TOKUDA. 2010. Recent development of the HMM-based singing voice synthesis system-Sinsy. In *Seventh ISCA Workshop on Speech Synthesis*.

- RAUX, ANTOINE, eta ALAN W BLACK. 2003. A unit selection approach to f0 modeling and its application to emphasis. In *Automatic Speech Recognition and Understanding, 2003. ASRU'03. 2003 IEEE Workshop on*, 700–705. IEEE.
- SAINO, KEIJIRO, HEIGA ZEN, YOSHIHIKO NANKAKU, AKINOBU LEE, eta KEIICHI TOKUDA. 2006. An hmm-based singing voice synthesis system. In *INTERSPEECH*.
- TOKUDA, KEIICHI, YOSHIHIKO NANKAKU, TOMOKI TODA, HEIGA ZEN, JUNICHI YAMAGISHI, eta KEIICHIRO OURA. 2013. Speech synthesis based on hidden markov models. *Proceedings of the IEEE* 101.1234–1252.
- YAMAGISHI, JUNICHI, TAKASHI NOSE, HEIGA ZEN, ZHEN-HUA LING, TOMOKI TODA, KEIICHI TOKUDA, SIMON KING, eta STEVE RENALS. 2009. Robust speaker-adaptive hmm-based text-to-speech synthesis. *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing* 17.1208–1230.
- ZEN, HEIGA, KEIICHI TOKUDA, eta ALAN W BLACK. 2009. Statistical parametric speech synthesis. *Speech Communication* 51.1039–1064.

Arrotz eta aldi berean lekukotz

Esperesate I.
iesperesate@hotmail.com

Laburpena

Esku-hartze, mugimendu, lekualdaketa orok lurzoruan bere arrastoa uzteaz gain, lurraldearekiko ikuspegia aldatzea dakar. Ikuspegi aldaketa horretan datza paisaiaren sorrerak. Hain zuzen ere, elementu distiratsu eta arrotzak egote hutsarekin inguratzen duen paisaia etengabea kokatzen eta eraikitzen du. Arrotza beste lurzoru batean erbesteratzen den elementua da, lurreratu berria den lurraren lekuko garbia. Arrotzak ezinbestean paisaiaren lekukotzan parte hartzen du, are gehiago, lekuko izaera bere baitan darama, paisaia eratzeko sugarra daraman bezalaxe. Arkitekturaren eta artearen ertzak bustitzen dituen muga lausoan, artea, bere arrotz izaeraz baliatuz, galeraz mintzo zaigu, hots, inguratzen gaituen paisaiaz jabearazten gaitu.

Hitz gakoak: paisaia, arrotza, lekukotza.

Abstract

Any intervention, movement, removal as well as leaving a trace on the land, changes the way we look at the territory. The landscapes' creation consists of changing of the point of view. In fact, the bright and strange element which rests on the land, places and creates the surrounding infinite landscape. The stranger is an element which banishes to another land, a clear witness of the land which has been landed. The stranger inevitably gives the evidence of the landscape, what is more, the stranger is a witness too and a flame to create the landscape. In the blurred border between both Architecture and Art edges, the art, making the most of its stranger nature, talks about the absence, it makes us understand the landscape that surrounds us.

Keywords: landscape, stranger, testimony.

1. Sarrera eta motibazioa (Formatu orokorra eta bibliografia)

Paisaia arkitekturaren eta artearen ertzak bustitzen dituen esku-hartze eremu zabala da. Paisaiaren eraikuntza gorputz bakoitzaren baitan dago, gorputz orotik abiatzen da. Gorputzak paisaiarekiko duen harreman mota (paisaiaren egoera bera, kokapena eta izaera) bakoitzari esku-hartze jakin bat dagokio: lurzoruan eta lurzorutik altxatzen den arrakala, zuloa, harrizko horma, hormigoizko arroka, babeserako ezkutalekua, norberaren itzala, bide ertzeko mugarriak... Paul Viriliok (1932) bere *Bunker archéologie* liburuan aztertzen dituen eta "Horma Atlantiarra" osatzen duten hormigoizko arroak XX. mendeko arkitektura militarren eta paisaiaren antolamendu geometrikoaren erakusle dira (1). Bunkerra arkitektura modernoak utzitako monolitoa da, arestian esan bezala, hormigoizko arroka, hormigoizko arrastoa itsasertzean. Bere artifizialtasun-arroztasunera daraman gordintasuna gainditu eta ikusezin ikusi gisa paisaian txertatzen da. Alison eta Peter Smithson arkitekto eta senar-emazteen (1928-1993 eta 1923-2003) *Upper Lawn* etxeak (Wiltshire, 1959-1962) (2) Ingalaterra erdialdeko paisaian, harrizko horma batean, hormaren jarraipena bailitzan, txertatzen den zinkeko kaxa batean datza. Hormigoia trinkotasuna zinkaren distirak ordezkatu du oraingoan, bi materialak errudunak dira elementuen ikusezin ikusi izaeran eta dikotomien muga lausoan barneratzen gaituzte: eman eta jaso, ikusarazi eta ezkutatu, babestu eta inguruarekiko helmuga garbia izan... Paul Viriliok dioen eran, bunkerra paisaiaren hedadura etengabea uzurtzen da eta eredu, mugarri eta oinatzetara ohituta dagoen gure pertzepziotik desagertzen da (Virilio, 2014).

Aurreko bi adibideak bustitzen dituen paisaiaren eraikuntza gorputzetik hasteak ez du bere gain gorputzak paisaiaren aurrean jasan behar duen bilakaera hartzen. Tesi hau paisaiaren bilakaera horren adierazpena besterik ez da eta hiru ataletan hezuramaitzen da: paisaian izatea, paisaian kokatzea eta paisaia izatea. Paisaian egote hutsak paisaiarekiko aurretiazko gorputzaren pertzepzioa kontuan hartzen du. Izan ere, gorputzak, paisaiako elementua den heinean, egoeraren eta kokapenaren artean txertatzen du subjektua. Aurretiazko pertzepzio hori garatu eta zorrotz egiten da subjektua paisaian

kokatzen denean eta horizontalki zerumugarekin talkan zein bertikalki lur azpira jaisten geruzak zeharkatuz paisaia izatera iristen denean. Elkarren artean elkartzutak diren bi norabideak gauza bera dira muinean, biek ala biek etengabe errepikatzen den paisaia zeharkatzen dute, *Upper Lawn* etxeoko harrizko horman irekitzen den leihoak eta harrizko hormak inguratzen duen orubeko putzuak bezala. Paisaian kokatzen den subjektua paisaia izaten bukatzearen erakusle dira Robert Smithson (1938-1973) eta Gordon Matta-Clark (1943-1978) beraien *Spiral Jetty* (1970) (3) eta *Descending Steps for Batan* (1977) (4) lanekin hurrenez hurren. Bi lanetan subjektuak eta paisaiak bat egiten dute, lehenengo kasuan, subjektuak basaltozko arroken eta agregatuen gainean hedatzen den 500 metroko espiralean barneratu behar duenean inguruaz jabetzeko eta bigarren kasuan, Matta-Clarkek zendutako anaia bikiaren bila lur azpira jaisteko bidaiari ekiten dionean, beraren neurrira eta beharretara egokitutako zulo bat eraikiz. *Descending Steps for Batan* lanaren ildotik, Matta-Clarkek *Cherry Tree* (1971) (5) lanean, soto batean egindako zuloarekin, zimenduen azpian dauden ezabatutako espazioetara iritsi eta eraikina jazartzen duten konpresio indar eta konfinamendutik askatu nahi du.

Paisaia izateak, inguruaren eta norberaren gorputzaren nozioaz, finean, paisaiaz jabetzea dakar. Paisaia izateak harreman zuzena du gizadia ordezkatu behar duen izadiarekin. Gure paisaia, gizakiaren beharren arabera gizadiaren gauzatze materiala da, izadiaren betiereko erritmoa hautsi eta izadia baztertzen duena.

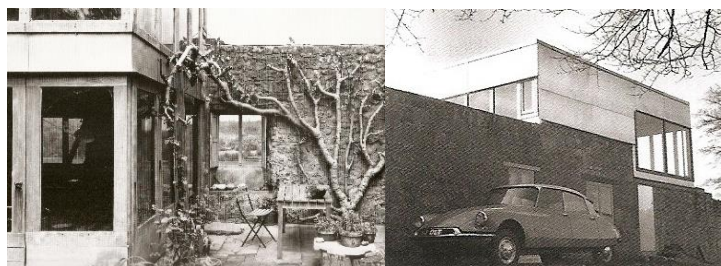
Izadiak, ekologiaren esparrutik haraindi, egunerokotasunari eta kulturari (barne izu eta erraiei) hertsiki heldu behar lioke, bere izenak adierazten duen orokortasunaz baliatu eta gizadia errotik bere gain hartu. Félix Guattari (1930-1992) bere *Les trois écologies* liburuan, praktika sozial eta indibidualak berrezarri behar direla dio *ekosofia* baten baitan, etika-estetikaren babesean dauden ekologia sozialaren, ekologia mentalaren eta ingurumen ekologiaren arabera (Guattari, 2000). Andrei Tarkovskik (1932-1986) eta Bitoriano Gandiagak (1928-2001) bertatik bertara ezagutu eta bizitako ikuspegi barnerakoi batean oinarritzen dute izadiari egindako zinismoan eta begirada erromantikoan erori gabeko gorazarrea, izadiaren erritmoa erabat hausten duen gizadiak abian jarritako eta teknologian oinarritutako aurrerabidearen aurrean. Ez diote aurrerabideari muzin egiten; aitzitik, izadiak araututako aurrerabidean sinesten dute.

Pello Lizarralde (1956) idazleak ere bere eleberrietan naturari alderik alde sartzen uzten dio, beste ahots bat bailitzan, usaindu, entzun, dastatu, uki eta ikus daitekeena. Giro gordin eta zarpailetan kokatzen dituen pertsonaiak alderrai dabilta, denaren eta ez denaren, ordenaren eta anabasaren arteko muga lausoan, Tarkovskiren filmetako pertsonaia batzuk, Robert Smithson eta Gordon Matta-Clark dabilta bezala.

1. irudia. Hormigoi armatuzko bunkerrak hondartzako harean sartuta.



2. irudia. Alison eta Peter Smithson, *Upper Lawn etxea* (Wiltshire, 1959-1962).



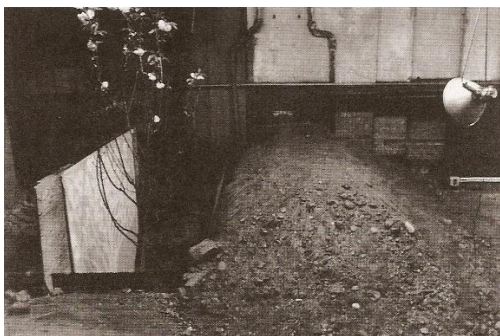
3. irudia. Robert Smithson, *Spiral Jetty*, (Utah, 1970). Robert Smithson *Spiral Jetty*-an barna.



4. irudia. Gordon Matta-Clark, *Descending Steps for Batan*, (Paris, 1977). Gordon Matta-Clark anaia hilaren bila.



5. irudia. Gordon Matta-Clark, *Cherry tree*, (New York, 1971). Sotoan zuloa egin eta zuhaitza landatu.



Arkitektura soilik eraikinean gauzatzen denaren pentsamenduan oinarritutako hezkuntza arkitektoniko zurruna jaso ondoren, arkitektura irensten ari duen hutsaltasunak elikatutako barne goseak bultzatuta, artearen mundura gerturatu nintzen: arkitektura ikasketak bukatu eta *Ikerketa eta Sormena artean* masterra burutu ostean, *Ikerketa Arte Garaikidean* doktorego programan izena ematea erabaki nuen. Artearen hizkuntzak, egitura trinko hori irauli, astindu eta malguago bilakatu zuen eta bilakatzen jarraitzen du oraindik orain. Arteak funtzioarekin zerikusia ez duten gauzekiko distantzia eta pausaldia ezartzen du eta horien arabera gidatzen da. Gaur egun bizi dugun egoerak agerian utzi du jakintza adarren sailkapen eta banaketa zurrunaren ezegonkortasuna. Dena sailkatu edo izendatu beharrak bigarren mailan koka dezake funtsezkoa dena eta hainbat esparruri dagokiena. Arkitekturari dagokionean, azken hamarkadetako etekin ekonomikoaren menara egindako kontrolik gabeko eraikuntza masiboak, besteak beste, arkitekturari hezur-haragizko izaera kolpetik kendu dio eta sinbolikotasuna eta estetika arbuiaitzen dituen erabateko funtzionaltasunaren gatibu den eta lanbide hutsean bilakatu den kalitate kaskarreko arkitektura, hiri eta, oro har, paisaia batera eraman gaitu.

Arkitekturan arnas daitekeen sinbolikotasuna itxurazkoa da oso, adierazpen hutsa eta egun, *high-tec* deritzen eraikin adimentsuetara mugatzen da, muineko mamiari benetan heldu baino.

Arkitektura eta artearen ertzak bustitzen dituen paisaia horretan, arkitektura eta artearen elkarlan sakona ezinbestekoa da eta nire erronketako bat, XX. mendeko sintesiaren esperientziak esperientzia, tesi hau ez baita inondik inora lehenaldiaren eguneratze bat, etorkizunera begira dagoen elkarlan berri baten hasiera baizik.

Paisaia izate hutsa gorputzetik abiatzen da, hots, gorputza paisaiako elementu den aldetik, erraiek martxan jarritako bilakaera baten ondoren, paisaia kokatu eta paisaia izatera iristen da. Hortaz, gorputz horrek ez du ideologiarekin eta estiloarekin zerikusirik; aitzitik, hil edo biziko zeregin batean oinarritzen da. Zeregin horren abiapuntua norbanakoa da, nire baitara egina, nire beharrak asetzen dituen baina aldi berean, testuinguruari aurre egin eta kolektibora (arkitekturaren eta artearen mundura) zabaltzeko premia garbia dagoela uste dut, partikularra kolektibo bilakatzekoa alegia. Zereginak bere gain hartzen ditu egungo arkitekturari, Gordon Matta-Clarkek egiten duen bezala, eraikinaren zama gainetik kentzeko beharra eta arkitektura bera zentzu hedatuan ulertzekoa.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak (Azpiatalak eta zerrendak)

Arkitekturaren eta artearen elkarlanari gorazarre egiten dion ikerketa lan honen aurrekari nagusiak sormen prozesuan zehar idatzi, ikertu eta teoria sortu duten sortzaileak eta hezitzaileak dira: artearen mundura gerturaturiko arkitekto zein arkitekturaren eta artearen arteko muga lausoan lan egiten duten artistak. Guztietan lurzoruari aurre egiteko moduak erakartzen nau, paisaia txertatzeko orduan, ordenaren eta ordenarik ezaren arteko bitarteko egoerak proposatzen dituztenean. Paisaia sortzen dituzten egoera horiek arrotzak izan arren, beharrezkoak dira paisaiaz jabetzeko. Oraindik lanean diharduen Peter Zumthor (1943) arkitektoa salbu, guztien lana XX. mendean bigarren erdian kokatzen da, Alison Smithson (1928-1993) eta Peter Smithson (1923-2003) arkitekto eta senar-emazteetatik hasi, Aldo van Eyck (1918-1999), Robert Smithson (1938-1973) eta Gordon Matta-Clarkekin (1943-1978) jarraitu eta Jorge Oteizarekin (1908-2003) bukatzeko.

Gure inguruan duela gutxi aurkeztutako Xabier Laka artista eta irakaslearen *Síntesis de las artes. Relaciones escultura/arquitectura. Experiencia AZTERLAN* (EHU, 2010) eta Javier Puldain arkitekto eta irakaslearen *Los límites en el tiempo: paisaje, territorio y confines contruidos* (EHU, 2013) bi tesiek jorratzen ari naizen gaia testuinguru jakin batean kokatzen dute: XXI. mendeko arkitekturaren eta artearen elkarlana paisaia gauzatzea.

Xabier Lakak bere lanaren lehenengo atalean, XX. mendean zehar arteen arteko sintesiaren ezkutuko eta etengabeko ahalegina azaleratzen du eta arreta jartzen du artearen eta arkitekturaren artean gertatu zen eta bi jakintzak elkar kutsatu zituen elkarlanean. Arkitekturak artearen esperimentazio prozesuekin bat egin zuten bitartean artea arkitekturaren aplikazio esparruaz jabetu zen, estatuaren esanahi tradizionala handitzeko esaterako. Bigarren atalean, lehenengo atalean azaldutako arteen arteko sintesia arkitektoekin batera garatutako esperientzia batean gauzatzen du: AZTERLAN-eko esperientzia (Durango, 2003-2006). Proiektuak, itxitura metaliko arineko pabilioiez jositako industrialde batean dagoen eta ikerketara bideraturiko laborategiak biltzen dituen eraikin industrial batean datza.

Hamar urteren buruan jada abian dagoen eraikinaren handipenaren proiektuan arkitekto eta artista berdinen arteko elkarlana errepikatu da, aurretiko esperientziak fruituak eman dituen seinale.

Bien bitartean, Javier Puldainek bere ikerketan, Europan zehar, lurraldean hedatzen diren hainbat harresi aztertu eta alderatzen ditu: harresien sorrera, eraikuntza, zedarritu nahi zuten lurraldeari aurre egiteko modua, sortutako paisaia, epe luzera politika eta lurralde arloko helburuen gauzatzea... Horietako gehienak antzinakoak dira, erromatarrek (Adriano eta Antonino harresiak eta Goi Germania-Raetia artekoa) eta Goi Erdi Arokoa (Gales eta Ingalaterraren artekoa) batetik eta XX. mendeko 40. hamarkadan Suitzan eraikitako oztopo andanetako bat azkena.

Garai hartako harresien izaeraren eta gaur egungo harresi horiekiko ikuspegiaren arteko zubia eraiki eta hesi horiek XXI. mendeko lurraldearen estetikan duten erakarmenaren arrazoia argitzeko, arestian aipatutako Paul Virilioren Bunker Archéologie liburura jotzen du.

3. Ikerketaren muina.

Esku-hartze, mugimendu, lekualdaketa orok lurzoruan bere arrastoa uzteaz gain lurraldearekiko ikuspegia aldatzea dakar. Jada lurra ez da lehen zena, kanpotik eratorritako elementu distiratsu eta arrotz batek lurzoru biluzi horretan txertatzean berau jantzi duelako. Elementu distiratsu eta arrotzak egote hutsarekin ingurua kokatzen eta aldi berean eraikitzen du. Kanpoko elementu distiratsu hori kasualitatez haizeak mugiarazitako eta beraz lekualdatutako zinkeko xafla bat izan daiteke belardi zabal batean lurreratu dena edo gizakiaren galbahetik pasatako ekintza baten gauzatzea: esku-hartzea. Esku-hartzearen gidari eta erantzule bakarra gizakia da, lurrez zikindutako eta urez bustitako eskuen jabe bakarra gizakia den gisa. Gizakiak bere gain hartzen du esku hartzen duen oro.

Arestian aipatutako gizakiak, sorbaldan daraman informazio, bizipen, ereduekin, lurzoru zapaldu eta begiradak dakusana kokatzen duenean, bere paisaia eraikiko du eta dakusanak eta zapaltzen duenak lurzoru, natura, dena delakoa... izateari utziko dio.

Arkitektoa zein artista paisaiatik abiatzen dira, paisaia da beraien lan-esparrua, beraien laborategia. Paisaiak babesten ditu biluzik dauden lurzoru, natura edo izadia, gizakiaren presentzia hutsarekin paisaia bilakatzen baitira guztiak.

Arrotza beste lurzoru batean erbesteratzen den elementua da. Lurreratu berria den lurraren lekuko garbia da. Orpoak, gainazal lakarra, ipurdi-masailak, lurzoruan emeki landatzen den zimendu arin bat eta bertan altxatzen den egitura lerden eta begiak itsutzeraino distira egiten duena, ertzak kamustuta dituen hormigoizko arroka trinko eta gordina... Arrotzak ezinbestean inguruaren lekukotzan parte hartzen du, are gehiago, lekuko izaera bere baitan darama, paisaia eratzeke sugarra daraman bezalaxe. Elementu arrotzik gabe, herrenkadan eroriko lirateke paisaiaren lekukotza eta baita paisaia bera ere. Arrotzak etengabe dagoenaz ohartarazten eta jabetzen duen heinean, gorputz osasuntsu baten txertatzen eta gotortzen den gaitz baten antzeko ezaugarriak betetzen ditu eta etengabe gorputz bizi eta osasuntsuaren galeraz mintzo da.

Andrei Tarkovskiren *Stalker* filmean, *Alde-an* barneratzen diren hiru hezur-haragizko gorputzak inguruaren handitasunaz, landaredia oparoaz, gizatasunik ezaz mintzo dira. Beraien presentzia arrotzik ezean ez ginateke *Alde-a* itotzen duen landaredia basatiaz jabetuko, ezta *Alde-ak* betetzen dituen hiru pertsonaien galerez ere.

Esan gabe doa, ez-ohiko gertaera batek edo lurreratu zen elementu arrotz batek sortu zuela arestian esan bezala, *Stalker*, idazle eta zientzilaria hats, elkarrizketa, ibilera, atsedena eta ametsek egiten duten paisaia gordin hori.

Derek Jarmanek (1942-1994) bizileku gisa besarkatu zuen Dungenesseko paisaian (Ingalaterra) zutik dirauen zentral nuklearraren presentziak, beste arrazoi batzuen artean, bertako tokiaren ezaugarriak bere horretan jarraitzean eta bertako landarediaren biziraupenean eragin zuzena izan dezake (Barcala, 2015). Elementu arrotzak, oraingoan, gizadia uxatzen duen neurrian izaki bizidunen eta landarediaren biziraupena ziurtatzen du hein handi batean.

Arrotza den begiradak paisaia eraiki eta bidenabar etengabea den paisaia kokatzen du. Begiradaren izaera (zorrotasuna eta sentiberatasuna batik bat) nola, paisaia halakoa izango da, halakoa paisaiak bere gain hartzen duen lurzoru, natura eta izadia.

Begirada etengabe eraikitzen ari da, kulturak, bere osotasunean, hizki larriz, begirada zorrotzu edo lausotu dezake, itsutzeraino. Kulturaren magalean dauden arkitektura eta artea niri dagozkidan gaiak dira, arteak zipriztindutako arkitekto heziketa jaso dudana aldetik.

Artearen zipriztinekin benetan busti nautela eta arkitekturarekiko nuen ikuspegia erabat irauli dutela maiz errepikatu dut.

Arkitekturako ikasle ibilbidean bidelagun izandako Alison eta Peter Smithson arkitektoen babesarekin eta zehazki *Upper Lawn* etxeak kokatzen duen paisaiaren irudiarekin gerturatu nintzen artearen mundura.

Zipriztin horien erantzule nagusia Robert Smithson da. Robert Smithsonek gainean naraman zama beste zama batekin ordezkatu zuen, hainbat inertzia trinkorekin haustera eta begiradaren kokalekua zehaztera bideratu ninduen, nuen begirada zorroztu eta berri bat marraztera, eraikitza.

Gordon Matta-Clarken eragina ere goraipatzekoa da, heziketaz arkitekto izaki...eta lanbidez eta izatez arkitekturaren eta artearen artean alderrai.

Bere kasuan, benetan erakarri ninduen eraikinik eraiki gabe, arkitektura egin eta arkitekturaz hitz eginez arkitektura kanonikoaren zimenduak etengabe pitzitzen, iraultzen eta lehertzen aritzeak.

Arazoaren, gaiaren muinera, epizentrora abiatzen diren pertsonaiak dira biak, arazoa, gaia, dena delakoa ezin hobeto zehazten eta adierazten dutenak.

Pitzadura, arrakala, zirrikitua bezalako hitzak eta irauli, astindu, lehertu bezalako aditzak, guztiek parte hartzen dute begirada berria eraikitzekeo prozesu betierekoan eta hitz eta aditzon beharra arteak pizten du, artea da begirada berriaren beharraz jabetzearen erantzulea, artea, ez besterik. Arteak ez daki arrotasunean, erbestean salbu beste edonon bizitzen. Víktor Latún argazkilariaren testigantza:

“Metafisikoak gara. Ez gara lurrean bizi, gure irudipenetan baizik, gure elkarriketetan. Hitzetan. Eguneroko bizimodua ulertzeko zerbait erantsi behar diogu. Heriotzaren ondoan gaudenean ere (Alexiévich, 2015).”

Paisaia izatearen lekukotza ugari daude. Lekukotza horien kontaketa hutsa egiten dudala irudituko zaie batzuei, esku artean dudan lana lekukotza horietara gerturatza mugatzen dela beharbada. Hein handi batean hala da, baina gerturaketa horien nolakotasunean dago nire posizionamendua, arkitektura bera astintzera naramana, azken urteetako gure inguruetako arkitektura behinik behin.

Paisaia horren nolakotasunaren berri subjektuek ematen dute, arestian aipatu gisa. Robert Smithson eta Gordon Matta-Clark paisaia dira, hiria eta hiriko aldiriak dira eta hasiera batean, lurrarekin baino gehiago lurzorurekin duten lotura hertsia ez da ikus daitekeen eta aldi berean ikus ezin daitekeen txarrantxazko hesi batek inguratzen duen lurralde orban batean bizirautean diharduten biztanle bakanek lurrarekin zutenaren edo dutenaren bera, baina arreta handiagoz aztertuta guztiek lurzoria dute bizirauteko material gisa, eguneroko ogi.

Lurzorura gerturatzeko eran desberdinduko lirateke, lurzoria ulertzeko eta bertan txertatzeko eran alegia.

Martin Heidegger (1889-1976) eta Oihan Beltzeko baserritarren arteko harremanak ezin hobeto adierazten du bi aldeek arteko adostasun sentimendua. Alison eta Peter Smithsonek Londoneko burrunbatik ihes egiteko Ingalaterrako Wiltshire eskualdea, Londonekin bi norabideko trenbide estu batek lotzen duen Tisbury herritik kanpo dagoen orube bat aukeratzeak ere bertako biztanleek eraikitako paisaia kokatu eta eraikitzen jarraitzea dakar. Trenbidearen lerroak gailentzen duten bazterreko zuhaitzen adaburuak etengabe leunki ukitzen ditu trenak, auto bakanek errepide estuetako bazterreko zuhaixka oparoen adar eta hostoak ukitzen dituzten eran. Benetan dira estuak errepideak, batzuetan bi auto pasa daitezkeen bietako bat gelditu behar izateraino.

Zerk bultzatzen du hiritar intelektuala Oihan Beltzean edo Ingalaterra hego-mendebaldeko lautada etengabean barnertazera, zerk Derek Jarman zine zuzendaria Ingalaterra hegoaldeko kostaldeko Dungenesseko paisaia mortu bezain bizian, arrantzale etxe utzi batean babestera...

Ni neu ere ataka berean nago. Lurzorurekin, lurrarekin eta inguruarekin dudan harremana estetiko da. Zentzumen guztiek hartzen dute parte esperientzia estetiko hortan. Beraien parte-hartzea esperientzia hori borobiltzera mugatzen da. Esperientzia estetikoak erabat estaltzen du biziraupen esperientzia eta alderantziz ere gauza bera gertatzen delakoan nago. Badirudi estetika eta biziraupena ezin daitezkeela uztartu, gizakia bata edo bestea aukeratzera behartuta dagoen bi aukera bateraezin direla. Alde batean lurraren kontzientziaren inguruan eragin dezaketen lurtarrak daude eta bestaldean lurraren jakinduria gordetzen dutenak. Paisaia izateko aukera zilegiak dira biak.

Onartu beharrean nago, askotan bururatu zaidan ideia izan arren, ezin dezakedala nire osabak baratzean egiten duen lana egin. Baratza gerturatzeko naizen erak, nire izaera arrotzarekin bat datorrenak, aitzurra esku ahurrekin hartzea oztopatzen du orpoak lurrean sartuta ditudan eta baratzearen lekuko garbia naizen bitartean.

“Hondartzan oinez egiten dut itsasoa entzuteak baina ez ikusteak sentiarazten duen segurtasunik ezarekin (Barcala, 2015)”.

Derek Jarmanen hitzek ezin hobeto adierazten dute lur elkor, landaredi urri eta harritsua den paisaia etengabe hori, zerumugarekin talka egiteak eragin dezakeen ezinegonak jota. Horregatik, ez da harritzekoa Jarmanek bere lorategiko mugak ia ezabatzeraino lausotu izana, lorategiak Dungleness osoarekin bat egin dezan (Barcala, 2015).

Paisaia hauskorra bezain betierekoa eta betierekoa bezain atzeraezina da. Elementu arrotz batek hauskorra bezain betierekoa eta betierekoa bezain atzeraezina den orban ezabaezin bat sor dezake muga politikoen berri ez duen lurralde batean. Batzuetan elementu arrotza eta paisaian utzi duen arrastoa bateraezinak izan daitezke, gauza bera. Lilia Mijáilovna Kuzmenkova, Moguilioveko Arte eta Kultura Eskolako irakasle eta antzerki zuzendariaren testigantza:

“Guk, bielorrusiarrok, ez degu sekula betiereko ezer izan. Ez dugu sikiera betiereko lurrik izan, beti baten batek erauzten zигun eta gure herriaren arrastoa ezabatzen zuen. Eta ezin ginen denbora mugagabe batean bizi... Ez dakigu ezta ere betierekotasunarekin zer egin, ez dakigu berarekin bizitzen. Ez gara ulertzeko gai. Baina azkenean betierekotasun hori eman digute... (Alexiévich, 2015)”.

Artearen arrotz izaerak bere baitan darama etorkizuna edo falta den hori aurreikusi eta oraindaldiarekin haustea. Paisaiatz jabetzeko era bakarra da arteak proposatzen duena.

Lur azpira, zimenduetara jaisteko afanean soto batean zulo handi eta sakon bat egin eta hustutako lurrarekin ondoan muino bat eraiki eta zuloan gereziondo bat landatu eta muinoan belarra ereitean, Gordon Matta-Clark zimenduen azpian ezabatzen zen espazioa azaleratu nahi zuen eta eraikina lurrera lotzen zuten konpresio indarrak askatu nahi zituen. Eta beranduago, zendutako anaiaren bila abiatutako lur azpirako bidaian (erakusketak iraun bitartean galeria bateko erdisotoan egin zuen zuloa) bere anaiak utzitako hutsunea bete.

Ez da aski txarrantxezko hesiz lurralde zati bat zedarritzea mapatik desagertarazteko, hutsik dauden herrixkak errotik ezabatzen ari dira, bertako biztanleak beraien etxeak bertan behera uztera behartzeaz bat ezabatu zirela ohartu gabe. Haur baten testigantza, nik neuk moldatuta:

“Etxe bat eta ondorioz herrixka bat lurperatzeko prozesua:

Aurrena, zulo sakon bat egin.

Gero, garabi batekin etxea lurretik erauzi eta zuloan kokatu.

Azkenik, guztia hare, lohiez estali eta gotortu.

Labore lursail lau batek ordezkatu du herrixka. (Alexiévich, 2015).”

Landatu dituzten laboreek duela ez asko bertan herrixka bat altxatzen zela oroitarazten dute.

Bertatik bertara, lauzazko zoruetan Gordon Matta-Clarkek egindako zuloetatik Walter de Mariaren (1935-2013) *Lurrezko gele*-tara ez dago alde handirik, muinean esku-hartze bertsuak dira. Walter de Mariak espazio itxi bat metro erdiko sakonera duen lur masa trinko batez betetzen du eta Gordon Matta-Clarken gereziondoaren zuloarekin egiten duen antzera, zimenduen azpian ezkutatzen den espazioa lurzoruak estaltzen duen lurrak ordezkatzeko du. Vladimir Matvéyevich Ivanov, Slávgorodeko Partiduko Eskualde Batzordeko lehen idazkari ohiaren hitzak nik neuk moldatuta:

“Lurralde zati utzi horretan lur lagin handiak bildu eta urrutira garraiatzen dituzte. Ez hori bakarrik, lur lagin guztiak hobietan lurperatu behar dituzte, hormigoizko armatuzko lur azpiko bunkerretan... (Alexiévich, 2015).”

Svetlana Alexiévichek (1948) bere liburuan maisuki biltzen dituen lekukotzak paisaia izateko modu baten erakusle garbia dira. Lekukotzen apaltasun, soiltasun, zehaztasun eta jakinduriak irakurle ororen barrenak astindu eta irauli ditzake. Lekukoen artean askok ez daki lurlean ez beste inon bizitzen eta ez daki lurra ez besterik lantzen. Biztanle xume horiek testuan zehar aipatu ditudan arkitekto eta artista

izen handiekin batuko nituzke (arrotzak, ez arrotzak) eta seguru nago paisaia izatearen inguruan adostasun sentimendu sakon batek zipriztinduko zituela guztiak, paisaiaz jabetu edo jabetu ez arren.

4. Ondorioak

Muinean garatutako arrotz izaera paisaiatik atera, inguruari dagozkion ezaugarri fisiko guztiak erauzi eta beste dimentsio batera igaro daiteke. Arteak arkitekturaz jabetzeko parada eskaini dit, arkitektura ulertu, bizi eta azaltzeko lanabesa sorta handia eman dit. Une honetan, inoiz baino indartsuago aldarrika dezaket artearen beharra arkitekturan: arteak ez dio alderrai dabilen arkitekturari iparra erakutsiko, bai ordea, errepresentazio eta itxurakeria orotik aldentzen eta muinari gogotik heltzen. Arkitekturak elementu eta pertsonaia arrotzen beharra dauka arrotzak ez direnekin batera beharrezkoa den leherketa, astinaldi edo iraulketa gerta dadin.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Erronka nagusia esku artean dudan ikerketarekin, oztopoz oztopo, jarraitzea da. Arrotzaren esanahiaren inguruan sakonago ikertzea gustatuko litzaidake, arrotz izaera hori deskribatzea, elementu, objektu edo eraikin bat zerk egiten duen arrotz azaltzea. Ikerketaren ildo garrantzitsua (ardatz izatera iristeraino) delakoan nago.

6. Erreferentziak

Barcala, E. (2015): Surgir en la nada: Derek Jarman y el jardín de Prospect Cottage, E. Outeiro Ferreño, *Cabañas para pensar*, Maia, Madril, 147-158.

Guattari, F. (2000): *Las tres ecologías*, Pre-textos, Valentzia.

Alexiévich, S. (2015): *Voces de Chernóbil*, Debolsillo, Bartzelona.

Virilio, P. (2014): *Bunker Archeology*, Princeton Architectural Press, New York.

7. Eskerrak eta oharrak

Eskerrak eman behar dizkiot azken bi urteetan bidelagun izan dudan Xabier Laka Antxustegi, nire tesi zuzendariari, artearen eta bereziki eskulturaren esparrutik, arkitekturarekiko nuenugarra berpizten jakin zuelako eta jakiten jarraitzen duelako eta nigan horrenbeste sinestu zuelako eta sinesten jarraitzen duelako.