

Energia Eolikoa ikasgaia irakasten

Alain Ulazia Manterola

Fluidoan Mekanika Arloa, Eibarko Ingeniaritza Eskola
(UPV/EHU)

alain.ulazia@ehu.es

Jasoa: 2014-04-24

Onartua: 2014-07-21

Laburpena: 2011/12 ikasturtean abiatu zen Energia Berriztagarrien Ingeniaritza Gradua Eibarko Ingeniaritza Eskolan. 2013/14 ikasturtean txertatu dira energia berriztagarrii dagozkien ikasgai espezifikokoak, tartean Energia Eolikoa, gradu baten baitan lehenbizikoz irakasten dena EHUan. Energia eolikoaren garrantzia nabarmendu nahi dugu eta horretaz gain, azaldu nahi dugu nola erantzun zaion gure unibertsitatera soilik mugatzen ez den aitzindaritza honek dakarren erronkari. Halaz, ikasgaiaren egitarau praktikoan zein teoriakoan eman diren urratsak deskribatuko dira, batez ere baliabidearen analisisian eta aerodinamikan aplikatu den problemetan oinarritutako elkarlan-ikaskuntzan ardaztuta.

Hitz gakoak: haizea, energia eolikoa, aerodinamika, irakaskuntza.

Abstract: In 2011/12 academic year, the Grade in Engineering of Renewable Energies started in the Engineering School of Eibar. The specific subjects of renewable energy were introduced in 2013/14 academic year, including wind energy, which was taught for the first time in the University of Basque Country. The aim of this article is to emphasize the importance of wind energy and to explain how we have responded to the challenge produced by this leadership that is not limited only to our university. Thus, the steps taken to design the theoretical and practical program will be described, mainly focusing on the cooperative learning based on problems, which we have applied in the analysis of the resource and aerodynamics.

Keywords: wind, wind energy, aerodynamics, teaching.

1. SARRERA

Gradu baten barruan Euskal Herriko Unibertsitatean Energia Eolikoa ikasgaia irakasten den lehen aldia da. Gradu berri baten barruan irakatsi da gainera, orain dela hiru urte Eibarko eskolan sortu zen Energia Berriztagarrien Ingeniaritza graduan hain zuzen ere. Irakasgai hau aurretik diseinatu, prestatu eta 2013-14 ikasturtean, graduko 3. mailan, irakatsi dugun irakas-

leek idatzitako lan bat da hau, egitarauaren diseinu orokorra azaltzeaz gain energia eolikoaren garrantziaz ohartaraztea nahi duena.

Izan ere, energia eolikoan darabilgun teknologia, bai energia berriztagarrietan, eta baita energia produkzio sistema ohikoak kontuan hartuta ere, merkatu energetiko globalean garrantzia handia hartzen ari da. Ikuspegi ekonomizale puritanoenetik begiratuta ere, estatu espainiarrean azken aldian nagusitzen ari den legedia korrontearen aurka doa, Ignacio Martin Gamesako presidentek esan berri duenez [1]. Espainiako Gobernuak 30.000 milioi eurotan zenbatzen duen tarifa defizitaren eragileak berriztagarriak direla esatea «astakeria hutsa» dela salatu du, eta berriztagarriek argindar sistemari egindako hiru mesede nagusiak aipatu: laguntza publikoei esker energia berriztagarrien puntako sektore bat garatu dela, horri esker erregai fosilaren inportazioa txikitzea lortu dela Espainian, eta, berriztagarrien kostua legez ezarrita zegoenez, beste energiak merkatu egin ditu, eskari gutxiago zegoelako. Energia berriztagarrien barnean, haize erroten euskal ekoizleak eolikoaren sektorea defendatu du bereziki. Izan ere, zentral eolikoek jaso dute sari gutxien aurreko araudiarekin. Berriztagarrien %20 dira eolikoak, eta sarien %10 jaso dute; eguzki plakak berriz berriztagarrien %10 dira, eta sarien %30 inguru jaso dutela azaldu du Gamesako presidentek.

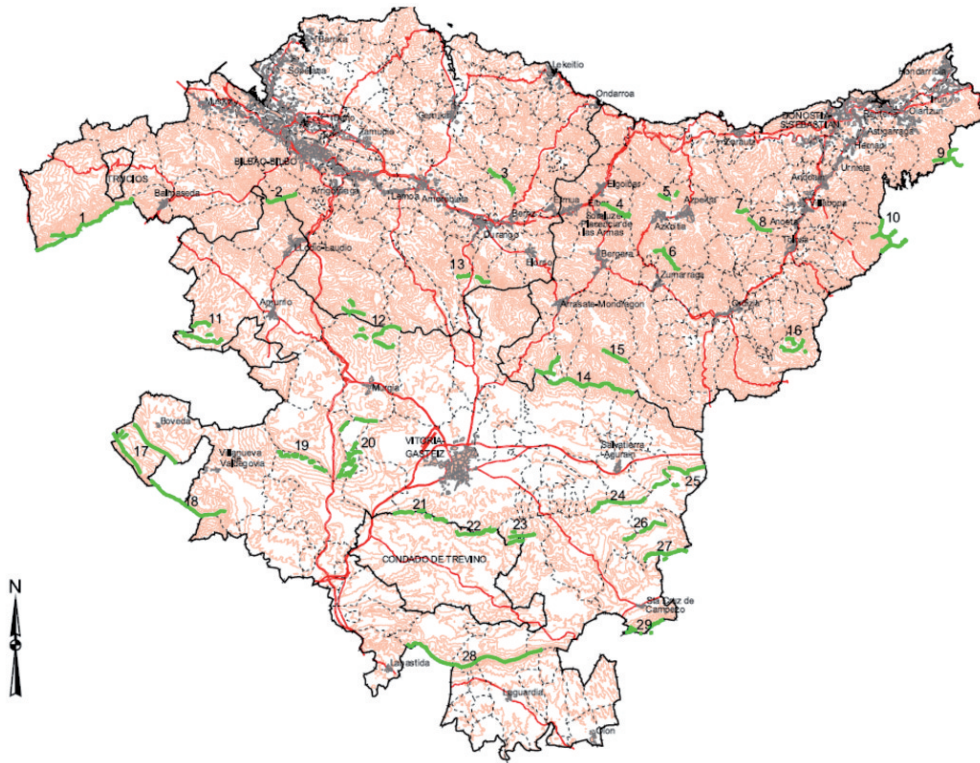
2. HAIZEA: BALIABIDE ABERATSA

2.1. Haizea Euskal Herrian

Euskal Herriko potentzial eolikoaz badihardugu gurean haizeak eman diezagukeena ez da hutsaren hurrengoa. EAeko potentzial eolikoaren mapa [2][1. Irudia] eta egikaritu diren parkeen zerrenda [3][1. Taula] aztertuz gero ohar gaitezke kokaleku potentzial bakoitzeko 20-30 MWko potentzia instalatua ziurtatuta 29 kokaguneen ustiapenak Boroako zentral termikoaren potentzia gaindituko lukeela. Nafarroa Garaiko atlas eolikoak [4] 2. Irudia] are

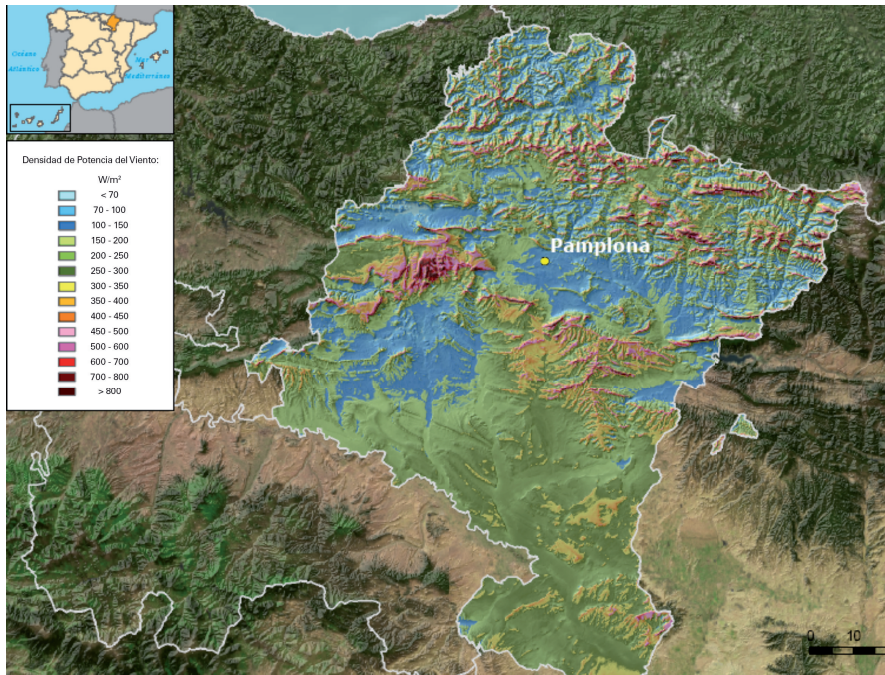
1. taula. EAeko parke eolikoaren kokapena, potentzia instalatua eta bertan aurki daitezkeen aerosorgailuen kopurua. Batezbeste, 20 MW inguruko parkeak eraiki daitezke bertan.

Parke eolikoa	Udalerrria	Potentzia instalatua MW	Aerosorgailu kopurua
Elgea-Urkila	Barrundia eta Donemiliaga	32,30	38
Oiz	Berriz eta Munitibar	25,50	30
Badaia	Koartango, Goi Erribera eta Iruña Oka	49,98	30
Oiz zabaltzea	Mallabia eta Berriz	8,50	10
Elgea	Oñati eta Aretxabaleta	24,42	37
Elgea zabaltzea	Oñati y Aretxabaleta	2,55	3
El Abra	Bilboko portua	10,00	5



1. irudia. EAEn haize energia baliatzeko bideragarriak liratekeen 29 kokalekuak mendebaldetik ekialderantz eta iparraldetik hegoalderantz zerrendatuak: 1. Ordunte, 2. Ganekogorta, 3. Oiz, 4. Irukurutzeta, 5. Izarraitz, 6. Zamiño-Izaspi, 7. Gazume, 8. Ernio, 9. Biantitz, 10. Mandoegi, 11. Salvada, 12. Kolometa, 13. Urkiola, 14. Elgea-Urkilla, 15. Aloña, 16. Aralar, 17. Valderejo, 18. Arcena, 19. Arkamo, 20. Badaya, 21. Gasteizko mendiak, 22. Palogan, 23. Kapildui, 24. Iturrietako mendiak, 25. Entzia, 26. Bitigarra, 27. Alda-Arlabako gurutzeta, 28. Toloño-Kantabria, 29. Kodes.

eta ahalmen energetiko handiagoa erakusten du abian jarri diren 50 parke baino gehiagorekin maiz lurraldearen kontsumo elektrikoaren %80a asebetzera iritsita. Ez da ahantzi behar ustiapenok hainbat mendilerrotan eragin duten txikizioa, baina energia aldetik argi dago nafar mendialdea haizetsua dela.

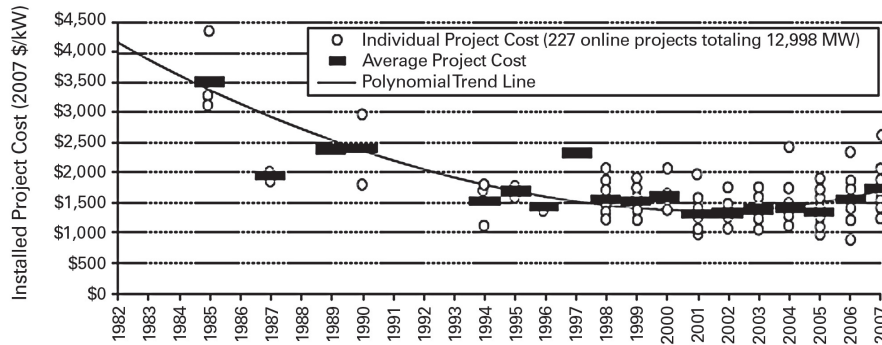


2. irudia. Nafarroa Garaiko mapa eolikoak hainbat mendilerro erakusten ditu, denak ere 450 W/m^2 gainditzen dituen haizearen potentzia dentsitatekoak. Egun 50 parke baino gehiago daude abian, 20 MWko batezbesteko potentzia instalatua-rekin parke bakoitzean.

2.2. Haizea munduan

Gauzak horrela, 1980tik haize turbinen potentzia unitateko gertatzen den kostuak ($\$/\text{kW}$) joera beherakor etengabea izan du. Hala ere, 2003tik kostuak gora egin du, batez ere altzairua, aluminioa eta kobrea bezalako materialen garestitzeagatik. 3. irudian ikus daitezke azken urteetako joera hauek Estatu Batuetako haize turbinen kasuan [5]. Hala ere, EWEAk (Europako Haize Energia Batzordeak) eginiko txosten batek aditzera eman du etorkizun hurbilean berriro nagusituko dela beheranzko joera [6]. Itxaropena eragiten duen joera beherakor honen baitan EEBBko Energia Sailak (DOE) eta Potentzia Elektroaren Ikerketa Institutuak (EPRI), iragarri dute 1997ko $\$1.000/\text{kW}$ -ko kostutik 2030eko $\$635/\text{kW}$ -ko kostura iritsiko gara [7].

Energia ahalmen hutsari begiratuta ere, Munduko Energia Kontseiluak (World Energy Council) eginiko estimazioetan [8] haize-energiak planetara lekarkigutkeen potentziala nabarmentzekoa da. Kalkulu honetarako kontuan



3. irudia. Estatu Batuetako aerosorgailuen kostuak potentzia unitateko eten gabe behera egin zuen 2003a arte, eta ordutik goranzko joera txiki bat nagusitu da, baina badirudi etorkizunean beherako joera nagusituko dela berriro.

hartzeko emaitzak erdietsi dira orduan eta mugapen gogorragoak ezarri diren heinean; hots, baliabidea bere osotasunean kontsideratuko lukeen potentzial meteorologikotik hasi, eta lekuan lekuko potentzialetik, potentzial teknologikotik, ekonomikotik eta azkenik inplementazio ahalmen errealetik pasata egin dira kalkuluak. Adibidez, lehenengo hiru mugapen kategoriak aintzat hartuta aipaturiko kontseiluak *onshore* (hau da, kosta barruan) 201012 kWh/urteko potentziala dagoela kalkulatu zuen. Mugapen murriztaileagoak kontuan hartuta, Hoogwijk eta enparauk [9], soilik *onshore* eta egungo teknologiarekin, planetako argindar kontsumoa 6-7 aldiz biderkatzeko adina haize geneukakeela diote.

Beraz, energia metaketaren arazoa gainditzeko zain gaudelarik eta erregai fosilen urriagotzea eta garestitzea eskutik helduta datozen honetan, argi baino argiago dago haizearen energia aintzat hartzeko moduko irtenbide global bat dela, eta hau dela kausa, unibertsitate-irakaskuntzan garrantzia behar lukeen ikasgaia dela ere bai.

3. BALIABIDEAREN ANALISIA IKASGAIAREN PROGRAMAN

Lehenbizi, esan beharrekoa da Graduaren plangintza orokorrean ingeniari-tza elektrikoari eta elektronikoari garrantzi handia aitortu zaiola. Plangintzaren baitan landu beharreko gaitasunak moduluka aztertuz gero, hainbat gaitasun deskribatzen dira prestakuntza espezifikoari dagokionean [10], eta ia erdiek elektrizitatea edo elektronika garatzen dute modu batean edo bestean: konbertsio sistemak, haien erregulazioa eta kontrola, sistema elektronikoen diseinua, instalazioen automatizazioa, energiaren erabilera sorkuntza bananduan, tentsio altu eta baxuko ebakuazio instalazioak, etab.

Graduaren barnean hartzen duten garrantzia ikusirik Energia Eolikoa irakasgaiak ez dira irakatsi, baina beste irakasgai batzuekin koordinatu gara, besteak aerosorgailuetan bereziak diren alderdiak landu ditzaten. Bigarren mailan Makina Elektrokoak irakasgaiak potentzia elektronikoa ikusia dutenez, ikasleek sorgailu sinkrono eta asinkronoen kontzeptua bereganatu dute jada, eta bai potentzia bihurgailuen funtzionamendua, abiadura aldakorreko haize turbinen alderdi elektrokoak ulertzeko balio diona.

Turbina eolikoaren kontrola da garrantzi handiko beste gai bat, Kontrol Teoria Dinamikoaren baitan turbinek sarera konektatuta nola diharduten eta inplementazioa nolako izan behar den aztertzen duena. Automatizazioa Energia Sistemetan eta Erregulazio Automatikoa eta Kontrola irakasgaietan landu dute hau hirugarren mailan. Laugarren mailan berriz, Proiektuen Kudeaketa irakasgaiak, ikusiko dute haize-energiaren ziurgabetasunaren baitan zein metodo dauden honen analisi ekonomikorako.

Gai hauek guztiak, beste irakasgaiekin koordinatu eta gero, hiru ardatz nagusi bereganatu ditu Energia Eolikoa irakasgaiak: i) haizearen ezaugarriak eta haizea baliabide gisa; ii) haize-turbinen aerodinamika eta palen diseinua; eta iii) turbinaren mekanika, dinamika eta egiturazko erantzuna. Artikulu honetan lehenbizikoa azaltzera gatz askorentzat analisi estatistiko hutsa dirudien arren, kokalekuen identifikaziorako eta azterketa potentzialerako tresna matematiko eta konputazional konplexuak biltzen dituen ardatz hagitx garrantzitsua baita. Hain garrantzitsua izaki, irakasgaiaren %35a osatzen du, hau da, klaseko 60 irakats-orduetatik 20-25 ordu.

Gure prestakuntzaren oinarrian, baditugu Massachusettsko J.F. Manwell irakaslearekin izandako hartu-eman eta Gasteizko Injineru Eskolako Javier Sancho eta Unai Fernandez irakasleek emandako laguntza. Manwell, beste batzuekin batera, orain urte gutxi idatzi du energia eolikoa irakatsi nahi duen edozeinentzat oinarritzko testu bihurtu den «Wind Energy Explained» liburua [11]. Testuak 12 atal dauzka eta 122 problema proposatzen ditu beraietan, «zeinak material gehigarriak gabe aska litezkeen» (617 or.). Problema hauek egiteko behar diren datu-orriak Massachusettsko Unibertsitateko Haize Energia Zentroan daude [12], non Armhersten garatu diren kodeak ere («Wind Engineering MiniCodes») aurki daitezkeen haizearen estatistikak kalkulatzeko eta turbina eolikoaren aerodinamikan eta mekanikan egin ohi diren kalkulu errepikatuenak burutzeko.

Gure irakasgaiak hiru ardatzetan legez, liburuan ere, lehen hiru atalak haizearen baliabideari, aerodinamikari, eta mekanika eta dinamika buruzkoak dira. Baliabide eolikoaren ezaugarri orokorrak, mugalde-geruza atmosferikoaren ezaugarriak eta haize geostrofikoaren esanahia aurkeztu dira, eta bai latitudearen arabera gure planetak jasaten dituen haize-erregi-

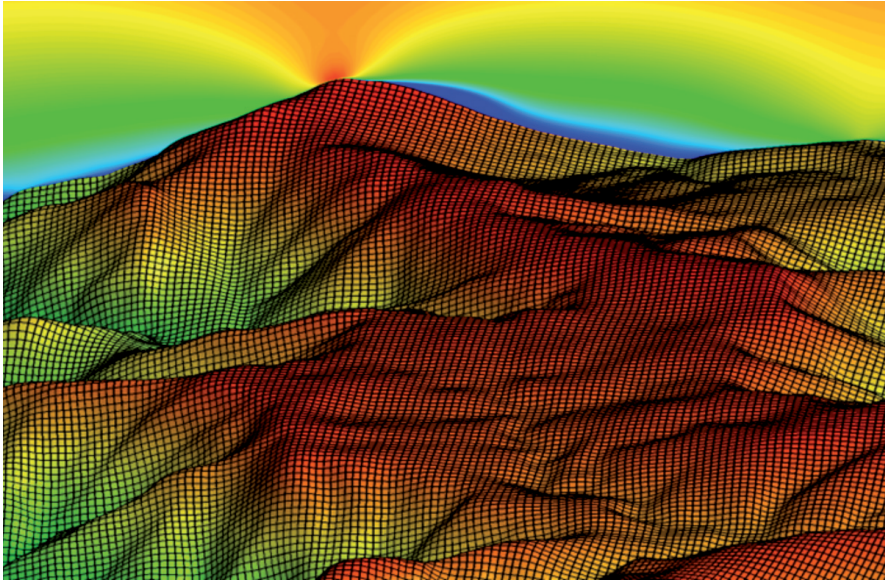
men nagusiak ere. Bereziki aztertu ditugu Euskal Herrikoa haize nagusiak (mendebala edo galiziar haizea, edota ziertzoa) eta gure herriaren mapa orografikoan aplikatuta zentral eolikoak nahiz mini-aerosorgailuak arrakastaz kokatzeko dauden arau intuitiboak, lurraren zimurdura eta eremuaren orientazioari dagozkionak, garatu ditugu.

Praktika honen emaitza behinena ikasgaiaren amaieran lortu da, ikasgaiaren amaierako lan bezala 3 ikasleko 27 taldek euren herrietako mendi eta arantzen haize-leku interesgarriak topatu dituzte eta. Bertako adinduenen iritzi eta eserei erreparatuta, hots, antzinako jakinduria lokala batuta, argindar-ekoizpen txiki baina aberaski barreiatu gisa mikro-eskalan eman-korrek lirartekeen tokiak markatu dituzte Euskal Herrian. 2. taulako adibide berezietan ikus daitezke leku hauetako batzuk.

2. taula. Euskal Herrian mikro-eskalan egindako azterketatan topatu diren zenbait lokalizazio interesgarri.

Kokapena	Ezaugarriak
Zestoa, Endoiako gaina	Ipar-Mendebaldeko haizea, itsasotik zuzen
Altsasu, «El Venterro»	Gasteizko lautadatik mendebaldeko haizea hemendik sartzen da Sakanako bailararantz
Itziar, Ziolar baserria	Bertakoek aspaldidanik haizeleku indartsutzat hartzen dute. Itsas haizeak ipar-mendebaldetik sarrera egokia topatu ohi du.
Mendata, Aztiz auzoa	Itsasotik Urdaibain zehar sartzen diren haize biziengatik ezaguna da auzo hau.

Hala eta guztiz ere, egungo jardun zientifikoari eta tresnen neurketei atxikita, baliabidearen estimaziorako haizearen datu-analisia ere sakon aztertu da MATLAB konputazio-programa numerikoa dela medio. Eibarko eskolako webgunean, sakonki erakusten da MATLAB nola erabil daitekeen energia berriztagarrietarako, eta bertan, datu-analisiaren atalean, haizearen estatistikaz makina bat adibide zehaztu dira [13]. Teknika estatistikook energia-ekoizpena produkzioa aurreikustea ahalbidetzen dute, haizearen neurketatik abiatuta egiten diren aurreikuspen meteorologikoak txertatuta. Aurreikuspen tresna hauen artean, bereziki aipatu dugu Danimarkan Risø Laborategian garatu den WASP (*Wind Atlas Analysis and Application Programme*) simulazio programa [14]. Programa honen bitartez Europarako haize-atlas zehatz bat egina dute jada [15]. Makroeskalako korrante orokorreaz gaindi, 4. irudian bezalako zehaztapen orografikoak aintzat hartzeko gai da haizearen analisirako programa hau.



4. irudia. WasP programaren bidez lur eremu komplexuen CFD analisia egin daiteke, hots, haizeak eremu horretan izango duen portaera fluido-dinamika konputazionalari esker auresan genezake.

4. BALIABIDEA AZTERTZEKO TRESNA BERRIAK: R PROGRAMAZIOA

MATLAB eta WasP bezalako tresnak pribatuak dira baina. Egun, datuen analisirako eta beste hainbat ikerketa motarako, izugarritzko indarra hartzen ari den R programazioan bete-betea sartzeara da hurrengo urteetarako erronka. Programazio hizkuntza hau Energia Eolikoa ikasgaiaren ez ezik Itsas Energia ikasgaiaren ere tresna indartsua izan daiteke. Mundu guztiko zientzialariek parte hartzen dute euren alorretarako pakete eta funtzioen sorkuntzan eta haizearen azterketarako ere hainbat script topa daitezke R programaren fitxategi nagusian [16]. Adibidez, Galiziako itsas boia baten kasurako, haize-arrosa konplexuak irudikatzeko Olivares eta enparauen *speed.wind* scriptak NPCirc paketearen sei aldagaiko (eguna, hilabetea, urtea, ordua, haizearen abiadura eta haizearen norabidea) 19488 datu analizatzen ditu [17].

Taulan eta bertako haize arrosan laburbiltzen da objektuetan oinarritutako programazio hizkuntza honen ahalmena aipaturiko datuon kasurako. R fitxategia hain da ahaltsua ezen haizearen nahiz itsasoaren aurreikuspenarako algoritmo genetikoak aplikatzeko paketeak ere eginak dauden jada.

3. taula. R programaren bidez egindako haize arrosa bat.

Speed.wind2 haize arrosaren scripta	Haize arrosaren irudikapena
<pre> data(speed.wind2) # Density dir <- circular(speed.wind2\$Direction, units=»- degrees», template=»geographics») plot(dir, stack=TRUE, shrink= 1.1) rose.diag(dir, bins=16, add=TRUE) lines(kern.den.circ(dir,bw=1), lwd=2, col=2) lines(kern.den.circ(dir,bw=10), lwd=2, col=3) lines(kern.den.circ(dir,bw=40), lwd=2, col=4) # Regression vel <- speed.wind2\$Speed nas <- which(is.na(vel)) dir <- dir[-nas] vel <- vel[-nas] res<-plot(kern.reg.circ.lin(dir, vel, bw=1, method=»LL»), plot.type=»circle», points.plot=TRUE, line.col=2, lwd=2, main=») lines(kern.reg.circ.lin(dir, vel, bw=10, method=»LL»), plot.type=»circle», plot.info=res, line.col=3, lwd=2) lines(kern.reg.circ.lin(dir, vel, bw=40, method=»LL»), plot.type=»circle», plot.info=res, line.col=4, lwd=2) </pre>	

Ez da dudarik software libre honen aldeko apustua egitea erronka handia bezain bizigarria izango dela etorkizunerako, bai ikasleentzat eta bai irakasleentzat.

5. ONDORIOAK

Hau guztia dela kausa, modu zurrunbilotsuan bada ere haizeak daraman alimaleko energia honek eta baliabidearen analisirako tresna guztiok energiaren aprobe txamendu gizatiarrago eta adimentsuago bat garatu dezaketelakoan nago, ezagutza libreak, pentsamendu kritikoak, unibertsitateak eta instituzio publikoek behar bezalako sinergiak topatzen badituzte behintzat. Izan ere, energiaren sorkuntza libreago eta kontsumo demokratikoago bat lekarke gure inguruko haizeen tokiko portaera baliabide gisa erabiltzen jakiteak.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Berria, 2014-06-25: http://www.berria.info/paperekoa/1736/013/001/2014-06-25/berriztagarrien_geroa_zero_biribila_da_soriaren_erreformaren_eraginez.htm
- [2] Energia eolikoaren lurralde plan sektoriala. I. Dokumentua, 10. (*Metodologia, Parke Eolikoaren Kokalekuak Identifikatzeko eta Balioztatzeko Euskal Autonomi Erkidegoan*). Eusko Jaurlaritza, Ingurumen eta Lurralde Politika Saila. Esteka, 2014-06-26 atzitua: http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/r49-565/eu/contenidos/informacion/plan_energia_eolica/eu_8109/plan_energia_eolica.html
- [3] (*Ibid.*) Energia eolikoaren lurralde plan sektoriala. III. Dokumentua.
- [4] IDAEren (Energia Dibertsifikatzeko eta Aurrezteko Institutua) Nafarroako atlas eolikoak. Esteka, 2014-06-26 atzitua: http://atlaseolico.idae.es/inc/get_map.php?pdf=pow80_es-na
- [5] WISER, R. eta BOLINGER, M. (2008) *Annual Report on U.S. Wind Power Installation, Cost, and Performance Trends:2007*. EEBB.: Department of Energy Report
- [6] EWEA (2009). *The Economics of Wind Energy. European Wind Energy Association*, Brusela.
- [7] DOE/EPRI (US Department of Energy/Electric Power Research Institute) (1997). *Renewable Energy Technology Characterizations*. EPRI Report: TR-109496. Kalifornia: Palo Alto.
- [8] WOLD ENERGY COUNCIL (1993). *Renewable Energy Resources: Opportunities and Constraints 1990-2020*.
- [9] HOOGWYK, M., DE VRIES, B. and TURKENBURG, W. (2004). «Assessment of the global and regional geographical, technical and economic potential of onshore wind energy». *Energy Economics*, 26, 889-919.
- [10] <http://www.ehu.es/eu/web/eibar/energia-berriztagarrien-ingeniaritzako-gradua>
- [11] MANWELL, J.F., MCGOWAN, J.G., eta ROGERS, A.L. *Wind Energy Explained: Theory, Design, and Application*. Croydon: Wiley.
- [12] Massachusettsko Unibertsitateko Haize Energia Zentroaren webgunea: <http://www.umass.edu/windenergy/>. 2014ko apirilaren 9an atzitua.
- [13] Eibarko Ingeneritza Eskolako webguneko MATLABen orria haizearen estatistikaz: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/energias-renovables/MATLAB/datos/viento/viento.html>
- [14] Danimarkako Unibertsitate Teknikoaren webgunea: <http://www.wasp.dk/>. 2014ko apirilaren 9an atzitua.
- [15] TROEN, I. E. L. P., eta PETERSEN, E. L. 1989. *European wind atlas*. Risø National Laboratory.
- [16] <http://cran.r-project.org/>
- [17] OLIVEIRA, M., CRUJEIRAS, R.M. eta RODRIGUEZ-CASAL 2013. «CircSiZer: an exploratory tool for circular data». *Environmental and Ecological Statistics*, DOI: 10.1007/s10651-013-0249-0.