



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

GIPUZKOAKO
INGENIARITZA
ESKOLA
ESCUELA
DE INGENIERÍA
DE GIPUZKOA

GIPUZKOAKO INGENIARITZA ESKOLA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE GIPUZKOA

EIBAR

GRAL: POTENZIAL EOLIKOAREN ESTIMAZIOA AEZKOA BAILARAN

1. DOKUMENTUA: MEMORIA

Gradua: Energia Berriztagarren Ingeniaritza

Ikasturtea: 2019 - 2020

Egilea: Usune Elizondo De Abiega

Zuzendaria: Alain Ulazia Manterola

Zuzendarikidea: Sheila Carreño Madinabeitia

AURKIBIDEA

LABURPENA.....	3
1 SARRERA	4
1.1 ENERGIA EOLIKOA	4
1.1.1 Energia eolikoaren oinarri zientifikoak	6
1.1.2 Aerosorgailuak	8
1.1.3 Offshore aerosorgailuak	12
1.2 ENERGIA EOLIKOA MUNDUAN	13
1.3 ENERGIA EOLIKOA EUROPAN	16
1.4 ENERGIA EOLIKOA ESPAINIAN	19
1.5 ENERGIA EOLIKOA EUSKAL HERRIAN	21
1.6 ENERGIA EOLIKOAREN ETORKIZUNA.....	23
1.7 WEATHER RESEARCH AND FORECASTING (WRF).....	26
1.7.1 Mesoscale eredu batean 3DVAR datuak asimilatzeko sentsibiltatea, offshore energia eolikoaren potentziala zenbatesteko. Iberiar penintsulako iparraldeko kostaren kasu-azterketa	28
1.7.2 3DVAR datuen asimilazioa erabiliz, mendebaldeko mediterraneoan turbina-altuera desberdinetan offshore energia eolikoaren potentziala neurtzeko	29
1.7.3 Haizea simulatzeko eta energia eolika ekoizteko WRF ereduaren sentikortasuna dela eta, planetaren muga-geruzaren parametrizazioak kalkulatu dira Iberiar Penintsulako onshore eta offshore eremuetarako	30
1.7.4 WRF ereduaren erabilera proiektu honetan.....	31
1.8 ERA5	31
1.8.1 ERA5 energia eolikoan	32
1.9 IRENA	33
1.9.1 Atlas globala	34
1.10 ONDORIOAK: MODELOEN ARTEKO KONPARAKETA	34
2 METODOLOGIA	36
2.1 AZTERLANAREN EREMUA	36
2.1.1 Aezkoa bailara.....	36
2.2 BALIABIDE EOLIKOAREN AZTERKETA	40
2.3 DATUEN ERABILERA R PROGRAMAREKIN.....	43
2.3.1 WRF	44
2.3.2 ERA5	47
2.4 TURBINAREN AUKERAKETA	49
2.5 POTENTZIA KALKULUAK	51
3 EMAITZAK.....	53
3.1 AZTERTUTAKO MENDI ETA MENDILERROAK.....	53
3.1.1 Biztanleria kontzentrazio zonaldeak	53
3.1.2 Haizearen potentzial azterketa (haize arrosak)	53
3.1.3 Mendilerroen azterketa	66
3.1.4 Parke eolikoan antolaketa	85
4 KALKULUAK.....	91
5 ONDORIOAK.....	93
6 ERREFERENTZIAK.....	94

LABURPENA

Proiektu honen helburu nagusia Aezkoa bailarako (Nafarroa) ahalmen eolikoa aztertzea da, eremu horretan potentzia handiko parke eolikoak instalatzeko.

WRF-aren simulazioetatik, ERA5-aren datuen birazterketatik eta IRENA-ren Global Atlas-en lortutako datuetatik abiatuta, azterketa hori egin da leku bakoitzean nagusi diren haizeen abiadura eta norabidea eta baita baliabide eolikoarekin zerikusia duten beste irizpide eta faktore asko ere kontuan hartuta.

Azterketa NREL-en 5 MW -ko hiru palako aerosorgailuekin egin da. Turbina erreferentzialak dira, oso ondo aztertuak eta teknologikoki garatuak, eta oso baliagarriak dira proiektu honetan aplikatu eta erabili nahi diren kasuetarako. Hala ere, beharrezkoa da beste turbina eta instalazioak modelo batzuk kontuan izatea, leku bakoitzaren ezaugarrien arabera, Aezkoako bailarari zein bertako beste helburu batzuei hobeto datozkienak.

Emaitzen arabera, potentzial eolikoari dagokionez, eremu horretan zenbait mendilerro interesgarri daude, orokorrean denak 6 m/s-tik gorako batez besteko abiadurekin eta proposatu direnen artean denek dute %24 -tik gorako ahalmen-faktorea. Egindako kalkuluen arabera, Aezkoako komunitatearen elektrizitate-eskaera inguruko parke eolikoek sortutako energiarekin soberan hornitu daiteke.

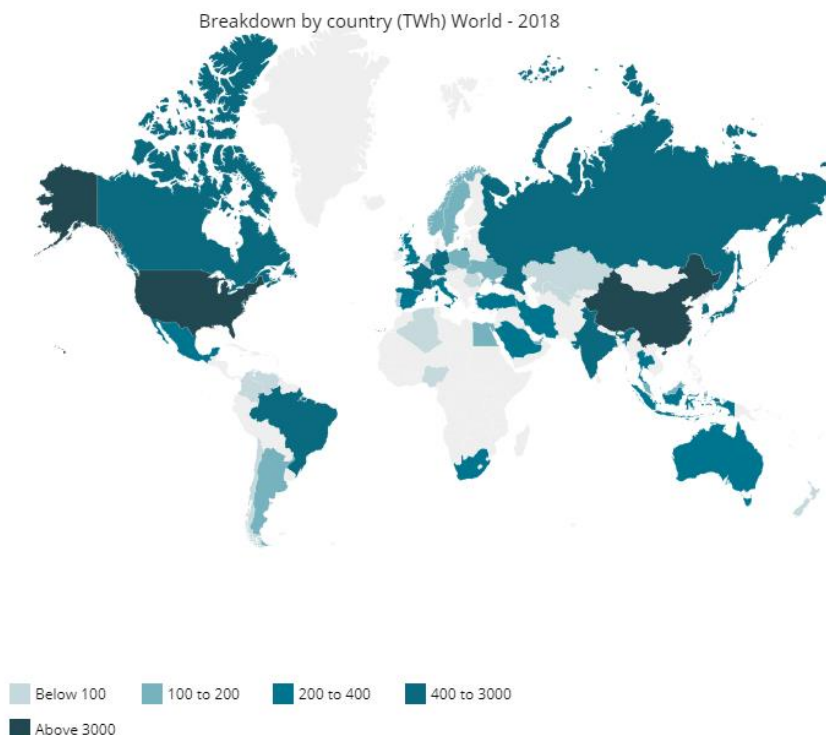
1 SARRERA

1.1 ENERGIA EOLIKOA

Energia eolikoa, izenak dioen bezala, haizeak sorrarazi dezakeen energia mekanikoa energia elektrikoan bilakatzean datza. Haizea, eguzki energiaren formetariko bat da. Eguzkiak lurrazala berotzen duenean, bertan aurkitzen den airea ere berotzen du, temperatura ezberdineko zonaldeak sortuz. Era berean, temperatura diferentzia horrek presio diferentzia ere badakar. Horren eraginez, airea presio altuko zonaldeetatik presio baxukoetara mugitzean haizea sortzen da. Aipatzekoa da, haize-fluxuen ereduak aldatu egiten direla lurraren gainazal irregularra, lurraren errotazioa eta ur masa zein begetazio ezberdinen ondorioz.

Historian zehar, energia honen erabilera ugaria izan da, nabigaziorako, irina sortzeko, ura ponpatzeko, etab. Ez zen izan XX. mendera arte, haizearen energia aerosorgailuen bidez baliatzen hasi zen arte energia elektriko sortzeko. Gaur egun, teknologiaren garaian, elektrizitatea da beharrezkoena. Beraz, aurretik aipatu bezala, haizeak duen energia eraldatuta elektrizitate bihurtzen da aerosorgailuen bidez. Horiek, antzinako haize erroten oinarrian, elektrizitatea eskuratzeko egokitu eta ahalik eta errendimendu handiena eskuratzeko ideiarekin hobetu egin dira teknologia eta material berriak erabiliz. [1] [2]

Ikerketek diotenez, lurrak eguzkitik jasotzen duen energiaren % 1 eta % 2 artean dago haize bilakatzen dena. Hortaz, hurbilketen emaitzen arabera, horrek munduan 53 TWh/urte-ko haize energia potentziala suposatzen du. Hori horrela, lurraren kontsumoaren oso gainera dagoen balioa da eta, beraz, munduko biztanleriaren behar energetikoa asetzeko haina. Praktikoki ordea, egun garatutako teknologien errendimenduek eragin ikaragarria dute.



Irudia 1-1. Etxebizitzen elektrizitate kontsumo mapa [3].

Edozein lekutan, energia eolikoa ahalik eta efizientzia onenarekin eskuratu ahal izateko, haizeak ezaugarri zehatz batzuk izan beharko ditu. Horien artean, egonkortasuna, jarraipena eta abiadura daude besteak beste. Ezaugarri horien guztien artean, kontuan hartzeko nahitaezko balio bat, **potentziaren dentsitatea** da, hau da, haizeak mugitzen duen azalera unitateko lortu daitekeen potentziaren balio maximoa. Zehazki, 200 w/m^2 -ko balioaren gainetik hasiko lirateke proiektuak ekonomikoki bideragarriak izaten, baina 1000 w/m^2 -tik gorako balioak bilatzen dira aerosorgailuek errendimendu egokia izan dezaten.

Esan beharra dago energia eolikoa teknologia garatuenetarikoak dituen energia berriztagarria dela. Horregatik, helburu nagusia gero eta bideragarriagoak eta lehiakorragoak diren produkzio eta kostuak lortzen da.

Energia eolikoaren abantaila nagusiak hurrengoak dira:

- Energia garbia da. Ez du emisio kutsakorrik ez hondakinik sortzen. Energia eolikoaren bidez sortzen den KWh bakoitzak dakarren ingurumenarekiko inpaktua 21 aldiz txikiagoa da petrolioarenarekin alderatuta, 10 aldiz txikiagoa energia nuklearrarekiko eta gasarekiko 5 aldiz txikiagoa. Gainera, energia produzitzeko metodo honek ez du ur gasturik suposatzen azkenengo aipaturiko bi energia kutsakorrek ez bezala.
- Haizearen erabileran eta horren ustiapenak ez du ingurumenarekiko inpaktu handiko arriskurik suposatzen (eztandak, suteak...etab.)
- Hornidura energetikoa dibertsifikatzea eta erregai fosilen aurrezpena dakar, urtean 25 milioi tona baino gehiagoko CO₂ isurketak saihestuz.
- Energia eolikoa energia elektriko eraldatzeko prozesu eraginkorra (errendimendu teorikoa % 59, praktikoa egoera optimoan % 45).
- Lekuko energia izanda, hau da, produzitzen den zonaldean erabiltzen dena, beste herrialdeekiko menpekotasun energetikoa txikitu eta lekuko ekonomian eragin positiboa du.

Hala ere, energia eolikoak badauzka bere desabantailak. Nabarmenatarikoa, eguzki energiarekin gertatzen den moduan, denborarekiko eta espazioarekiko zonalde batean dagoen haize-fluxua irregularra eta aldizkakoa da. Haizearen abiadura eta norabidea egun, ordu zein minututan aldatu daiteke, egoera meteorologikoen arabera. Gainera, inguruaren arabera sortutako turbulentziek, haizearen ezaugarrien kalitatean du eragina, hala nola norabidean eta intentsitatean. Hortaz, haizea dagoenean sortutako energia biltegitratzea eta haizerik ez dagoenean erabiltzearen ideia oso garrantzitsua da gaur egungo ikerketak bideratzerakoan.

Beste aldetik, ingurumenean zenbait inpaktu sortzen dute energia eolikoa eskuratzeko sistemek:

- **Zarata:** Aerosorgailuek distantzia zehatz batera arte desatsegina izan daitekeen zarata sortzen dute.
- **Inpaktu bisuala:** egoera gehienetan, haizearen baliabiderik egokiena lortzeko aukera zonalde garaietan aurkitzen da, hau da, mendi tontor eta mendilerroetan. Horrek instalazioak urrunetik ikustea eragiten du eta inpaktu bisual zein paisaiarekiko inpaktua sortzen du.
- **Faunarekiko inpaktua:** ikerketa asko garatu dira aerosorgailuen kontra talka egindako hegaztien heriotza tasaren eta instalazioek izaki horiek izaki horien habitat eta ohituretan duten eraginaren inguruan. Hala ere, gizakien beste aktibitateekin alderatuta, ondorioztatu da, aerosorgailuen eragina ez dela kontuan hartzekoa. Animalia hauentzako esanguratsuagoak dira adibidez, elektrizitatea garraiatzeko erabiltzen diren sistemen eragina.
- **Interferentzia elektromagnetikoak:** seinaleen transmisioan eragina izan dezaketen interferentziak sor daitezke aerosorgailuen errotoaretan. Baina, horiek

ia haien osotasunean ekiditeko aukera badago, aerosorgailuen eraikuntzan material ez metalikoak erabilia.

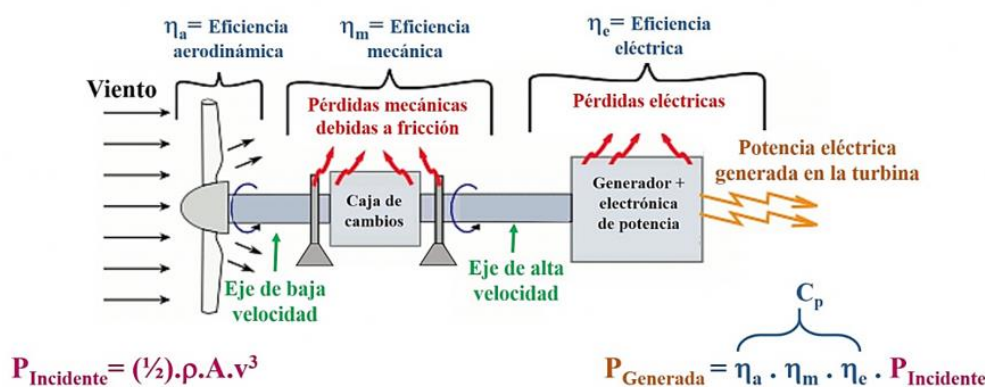
- **Lurzoruaren okupatzean:** parke eolikoak eraikitzeko azalera handiak behar izaten dira. Hain zuzen ere, batzuetan aerosorgailuen arteko distantzia handiak beharrezkoak izaten dira itzal eolikoaren efektua eta erroten arteko asaldurak saihesteko.

Egun, energia eolika energia garbi, lehiakor eta ekonomikoki bideragarri egin duten ingurumenarekiko inpaktu txikiak eta horiek produzitzeko kostuen jaitsierak, energia berriztagarrien artean buru kokatu dute energia iturri hau [4] [3].

1.1.1 Energia eolikoaren oinarri zientifikoak

Esan bezala, haizea mugimenduan dagoen aire masa bat da eta beraz energia elektrikoa bilakatu daitekeen energia zinetikoa du. Haizeak aerosorgailu baten palen kontra doanean, errotazioa sortzen da, lan mekanikoa. Horrek era berean, sorgailu bat mugiarazten du eta bertan energia eraldaketa gertatzen da. Erroretetik pasa aurretik haizeak duen energia kantitatea hurrengo parametroen menpe dago: sarrerako haizearen abiadura, airearen dentsitatea, errorearen biraketa azalera eta aerosorgailuaren errendimendua.

Bihurketa prozesu honek, energia ustiatzeko beste denek bezala, galerak dauzka. Sistema hauetan hiru eraldaketa ematen dira: aerodinamikoa, mekanikoa eta elektrikoa. Horietako bakoitzean energiaren parte bat galdu egiten da, beraz, sortzen den energiaren balioa sarrerako haizearen energiarena baino txikiagoa da. Teorikoki, haizearen energiaren ehuneko ehuna jaso ahal izateko, mugimenduan dagoen airea guztiz gelditu beharko litzateke. Beste aldetik, horrek erroterera aire gehiago sartzea ezinezko egiten du eta ezingo litzateke energia gehiago jaso. Hori ekiditeko eta aerosorgailura haize gehiago iristeko, sorkuntza energetikoaren errendimendua txikituko da haizearen parte bati ihes egiten utzita.

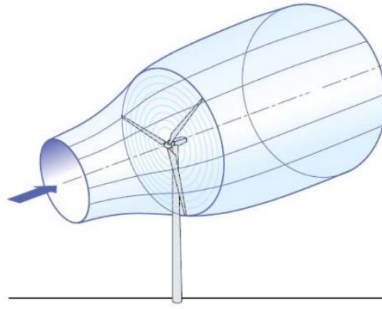


Irudia 1-2. Galeren adierazpen grafikoa [5].

Hurrengoa da turbina batek sortzen duen energiaren adierazpen matematikoa:

$$P = \eta \times \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Bertan, ρ airearen dentsitateari dagokio, v haizearen abiadurari, A aerosorgailuaren balen biraketa azalerrari eta η errendimendu totala da. Aurreko adierazpenean argi geratzen den moduan, haizearen abiadura da potentziaren kalkuluan eragin handiena duena. Horregatik da hain garrantzitsua haizearen potentzialaren azterketa egitea horrelako instalazioak leku egokietan jartzeko.



Irudia 1-3. Haizearen abiadura turbinan zehar [4].

Airearen dentsitateari dagokionez, haizearen energia proportzionalki handitzen da airearen bolumen unitateko masarekin, egora normaletan (itsas mailan, 1.1013 milibarreko presio atmosferikoan eta 15 °C-ko temperaturan) 1,225 kg/m³ dena. Hortaz, airea hozten denean, dentsuagoa bilakatu eta haren pisua handitu egiten da, eta, ondorioz, aerosorgailuari energia kantitate handiagoa transmititzen dio. Kontrara, airea berotzen denean, dentsitatea txikitu, pisua txikitu eta turbinari transmitituriko energia txikiagotu egiten da.

Azaleraren balioa kontuan izanda, turbinak zenbat eta kapazitate handiago izan haizea harrapatzeko, orduan eta energia zinetiko kantitate handiagoa lortuko da sarreran eta beraz irteerako energia ere handiagoa izango da. Horregatik, energia kantitatean oso garrantzitsua den beste faktore bat errotorearen erradioa da.

Errendimenduaren balioa barne beste hiru balio agertzen dira: errendimendu aerodinamikoa **η_a**, errendimendu mekanikoa **η_m** eta errendimendu elektrikoa **η_e**. Energia eoliko bihurtze sistema ideal baten irteerako potentzia maximoa Betz-en limite aerodinamikoak ematen du:

$$P = \frac{16}{27} \times \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Hala ere, sistema errealean, palen erresistentziak eta haizearen azalpenik gabeko izateak sortzen dituzten galeren ondorioz, Betz-en faktorea 0,59-tik 0,45-era jaisten da (haizearen abiaduraren balio optimoen inguruan). Errendimendu mekanikoa eta errendimendu elektrikoa kasu horretan 0,95-ekoak izaten dira. Hortaz, hurrengo adierazpenen bidez, sistema errealean kalkulua egin daiteke:

$$P = C_p \times \frac{1}{2} \rho A v^3$$

$$C_p = \frac{P_{generada}}{P_{incidente}} = \eta_a \times \eta_m \times \eta_e$$

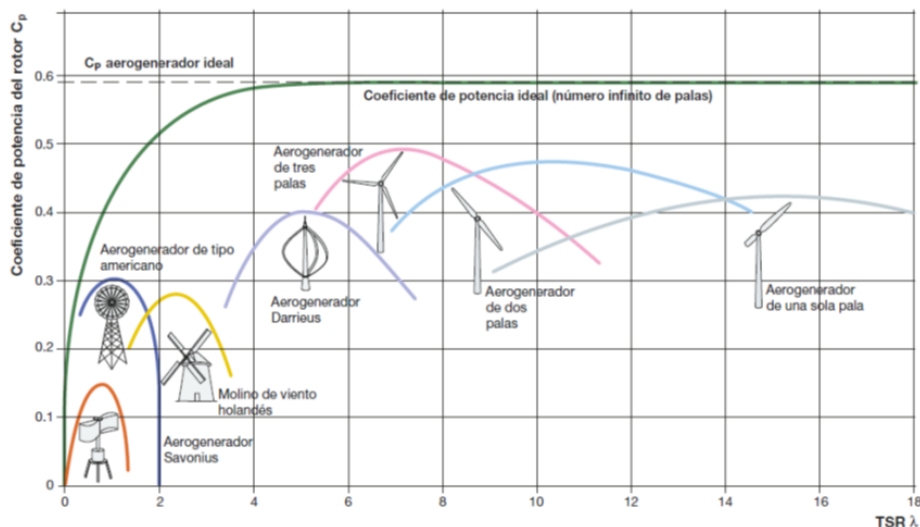
$$C_p = 0,45 \times 0,95 \times 0,95 = 0,40$$

$$P = 0,40 \times \frac{1}{2} \rho A v^3$$

C_p balioak, makina eolikoaren funtzionamendu errendimenduari dagokio, faktore horrek, aerosorgailuak errealtatean sarrerako haizearen zenbateko potentzia jasotzen duen adierazten du.

1-4 irudian, ardatz bertikal zein horizontaldun aerosorgailu mota ezberdinen **C_p** koefizientearen aldaketa adierazten da TSR-ren menpean (tip-to-speed-ratio). Azkenengo

koefiziente horrek, puntako biraketa abiaduraren eta haizearen abiaduraren arteko erlazioa adierazten du. Irudian osatzerakoan, errendimendu mekaniko eta elektrikoaren balioa % 100-ekoa dela suposatu da.



Irudia 1-4. Cp balioaren aldaketa turbinaren diseinuaren arabera [4].

Ikusi daitekeen moduan (irudia 1-4), hiru paladun aerosorgailuentzako ematen den bihurtze errendimendu balio maximoa % 45 ingurukoa da, hurreko kalkuluetan lortu den bezala. Errendimendu hori, haizearen abiadura 40-50 km/h -koa denean lortzen da.

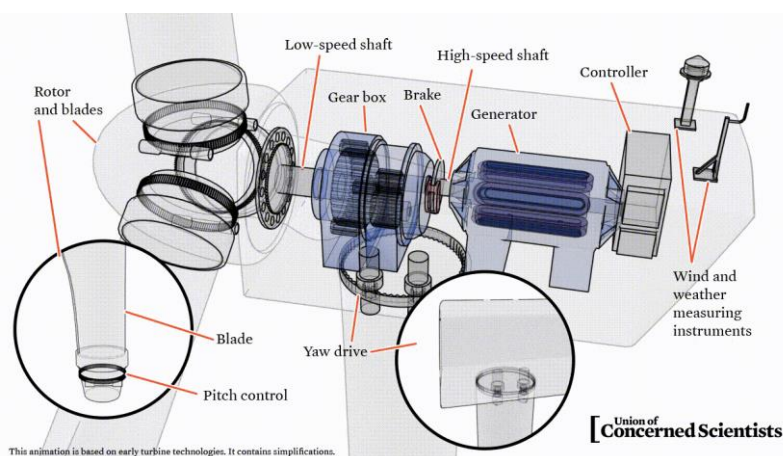
Kontuan hartzeko beste ideia bat, aerosorgailuaren produkzioak xahuturiko energiaren berreskuratze denbora da, **amortizazio energetiko denbora** edo **balantze energetikoa**. Orokorrean, parke eolikoek energia hori berreskuratzeke sei edo zortzi hilabetez egon behar dute energia produzitzen.

Proiektu honetan, Aezkoako potentzial eolikoaren azterketan, hiru paladun aerosorgailuekin besterik ez dira kalkuluak egingo. Gaur egun, horiek dira gehien erabiltzen direnak potentzia handiko instalazioetan, efizienteenak eta teknologikoki garatuenak baitira. 1-4 irudian, turbina horiek arrosa koloreko lerroarekin adierazten dira [4].

1.1.2 Aerosorgailuak

Aerosorgailuak haizearen energia zinetikoa energia elektriko bihurtzeko erabiltzen diren makinak dira. Aurretik aipatu bezala, gaur egun ikusten diren turbinak antzinako haize erroten diseinu hobetuak dira. Haizeak palak mugiarazten dituenean, energia zinetikoa errotorean energia mekaniko bilakatzen da, ondoren, transmisio sistemari esker sorgailura iristen da, alternadore bat izaten dena, bertan energia elektriko bihurtuko da.

Gehien erabiltzen diren aerosorgailuak hiru palako ardatz horizontalekoak dira, beraz, horietan oinarrituta emango dira aerosorgailuen ezaugarri eta osagaien azalpenak, gerora, horietako modelo bat erabiliko baita proiektu hau aurrera eramateko.



Irudia 1-5. Aerosorgailuaren osagaiak [6].

Aerosorgailuek haizearen norabidearekiko perpendikularki lan egiteko diseinatuta daude. Turbinak elektrizitatea sor dezan, 3 edo 4 m/s arteko balioak dituen haize abiadura eman behar da. Arriskuak saihesteko, aerosorgailuak deskonektatu egiten dira haizearen abiadura 25 m/s-tik gorakoa denean. Turbina eoliko batek errendimendu egokiarekin lan egin dezan hurrengoak izan behar ditu (irudia 1-5):

- **Orientazio automatikoa:** aerosorgailuak automatikoki orientatu beharko dira ahalik eta haizearen abiadura handiena eskuratzeko, hau da, ahalik eta energia zinetiko kantitate handiena lortzeko. Haize-orratz eta anemometroaren laguntzaz lortzen da hori.
- **Pitch angeluaren kontrola:** haizearen abiadura bakoitzerako palaren posizio egokia bilatu behar da, hau da, "pitch" angelua. Gainera, haizearen abiadura altuetan, biraketa geldiaraztean, palak bandera moduan jartzen dira gainkargak eta arriskurik ez sortzeko.
- **Multiplikazioa:** hiru palek errotora daude lotuta eta hura mugiarazten dute haien biraketarekin. Mugimendu horrek, ardatz bat birarazten du abiadura baxuan, hura multiplikatzaile batera lotuta dago eta bertan biraketa abiadura biderkatuko da (13 rpm-tik 1500 rpm-ra).
- **Sorkuntza:** multiplikatzailetik, energia abiadura handiko ardatz batera igarotzen da zeinek sorgailuaren errotorea mugiarazten duen. Errotoreak sorgailuari transmititzen dio energia eta horrek energia elektrikora eraldatzen du.
- **Ebakuazioa:** sortutako energiak aerosorgailuaren dorrea zeharkatzen du oinarrira iritsi arte, bertan, lur azpitik doan linea bat erabiliz, azpiestaziora bideratzen da energia elektrikoa, bertan tentsioa handituko zaio sareratu ahal izateko.
- **Monitorizazioa:** aerosorgailu bakoitza azpiestaziotik kontrolatuko da, bertan kontrol zentro baten bidez monitorizatuko dira denak. Horrela, edozein arazo sortuta ere, automatikoki antzeman eta konpondu egingo da.

Hiru palako aerosorgailuak ezagunenak eta erabilienak badira ere, badira beste motatako haize turbinak. Saillatzeko era ezberdinak dauden arren, tamaina, lurlean edo itsasoan kokatuta dauden... etab. Normalean aerosorgailuak bi talde nagusitan bereizten dira, ardatz bertikalekoak eta ardatz horizontalekoak [7]. Hona hemen bi talde horien deskribapena:

1.1.2.1 Ardatz bertikaleko aerosorgailuak

Ardatz bertikaleko aerosorgailuaren palek ardatz bertikal baten inguruan biratzen dute. Ardatz horizontalekoekin alderatuta, turbina hauek hiru abantaila nagusi dauzkate:

- Palak instalatzeko erabiltzen den sistema eta diseinua errazak dira.

- Ez du orientazio sistemarik behar haizearen energia jasotzeko, edozein noranzkotatik jasotzen baitu.
- Potentzia sistemen, sorgailuaren eta transformadorearen kokapen erosoan, lurzoruan.

Orokorrean, baieztatu daiteke, ardatz bertikaleko aerosorgailuen errendimendua ardatz horizontalekoenaren azpitik dagoela. Horregatik, industrian eta teknologia ikerketetan garrantzi handiagoa jaso dute bigarrengeok. Hurrengoak dira mota honetako aerosorgailuen diseinu garrantzitsuenak:

- **Darrieus:** haren izena makinaren sortzailearena da, G.J.M. Darrieus ingeniaria. Hurrengo irudian (irudia 1-6) ikusi daitekeen moduan, bi pala edo gehiagoko turbinak dira.



Irudia 1-6. Darrieus aerosorgailua [8].

Diseinuaren desabantaila nagusiak, alde batetik, monitorizazioaren beharra, profil aerodinamikoek eta palen simetriak ekidin egiten baitute aerosorgailua martxan laguntzarik gabe jartzea, eta, beste aldetik, tentsoreen beharrezko erabilera turbinaren egonkortasun estrukturala bermatzeko.

- **Savonius:** aurrekoak bezala, honek ere haren sortzaileari zor dio izena, S.J. Savonius. Hurrengo irudian (irudia 1-7) ikusi daiteke palen diseinua eta horiek nola kokatuta dauden.



Irudia 1-7. Savonius aerosorgailua [9].

1.1.2.2 Ardatz horizontaleko aerosorgailuak

- **Geldoak:** irudian ageri den forma daukate (irudia 1-8). Orokorrean 6 eta 24 pala kopuru inguruan ibiltzen dira, horrek abio momentu handia eta biraketa abiadura txikia ematen die. Normalean ez dira energia elektrikoa eskuratzeko erabiltzen baizik eta beste aplikazio batzuetarako, hala nola, ura ponpatzeko. Makina hauetan, λ koefizienteak, puntako abiadura linealaren eta haizearen abiaduraren arteko erlazioak, 1 balioa du.



Irudia 1-8. Aerosorgailu geldoa [10].

- **Azkarrak:** bi edo hiru pala izaten dituzte (irudia 1-9), azkenengo hauek dira erabilienak, profil aerodinamiko egokiarekin. λ koefizientearen balioa 4 baino handiago da sistema hauetan eta 12 zein 14-ra ere iritsi daiteke. Horrek, energia elektrikoa eskuratzeko egokiagoak egiten ditu tamaina eta kostu multiplikazio txikiagoa behar dutelako [11] [9].



Irudia 1-9. Aerosorgailu azkarra [12].

1.1.3 Offshore aerosorgailuak



Irudia 1-10. Offshore aerosorgailuak. [13]

Energia eolikoaz ari garenean, denok pentsatzen dugu gure geografia osoan lurrean instalatutako errotei buruz: eolikoa, onshore edo lurrekoa. Hala ere, energia-eredu berrian zeregin garrantzitsua duen teknologia bat dago. Offshore eolikoa edo itsas eolikoa da. Itsasoko haize-energia ateratzeko, haize-sorgailuak jartzen dira itsasoan, eta abantaila batzuk ditu Lurreko haize-energiaren aldean. Itsasoan, haize-abiadurak lurrekoak baino handiagoak dira; beraz, pala-tamaina bereko aerosorgailu batek sor dezakeen potentzia handitu egiten da. Gainera, lurreko haizeak baino askoz oztopo gutxiago ditu itsasoan. Hori dela eta, aerosorgailuak ordu gehiagotan funtziona dezake urtean zehar, eta, lurreko aerosorgailu batekin alderatuz gero, dorre-altuera txikiagoa behar du.

Aerosorgailuak itsasoan daudenez, lehorreko aerosorgailuek baino begi-inpaktu txikiagoa dute. Azkenik, elektrizitatea kontsumora hurbiltzeko aukera ematen du, eta sistema elektriko eraginkorragoa lortzen du. Kostako eskualdeek, bai Espainian bai beste herrialde askotan, biztanleria-dentsitate handia izaten dute. Eremu horietan, pertsonako azalera txikia izanik, itsasoan turbina eolikoak instalatzea irtenbide egokia izan liteke.

Hala ere, onura horiek gorabehera, haize-sorgailu horiek itsasoan jartzeak erronka ugari gainditu behar izan ditu, eta, horren ondorioz, gaur egun oraindik ere teknologia garestia da, 7,2 eta 12,6 euro/KWh arteko prezioak dituena. Halabaina, teknologia fosilen sorkuntza-kostuetara hurbiltzen hasi dira, eta, hain zuzen, Ipar Itsasoko leku batzuetan, dagoeneko iragarri da Estatuaren laguntzarik gabeko lehen itsas parke eolikoak eraikiko direla.

Baina, puntu horretara iristeko, erronka ugari gainditu behar izan dira. Hasieran arazotsuenetako bat, dagoeneko gainditu dena, itsasoko gatz-giroak bizkortu zuen korrosioa izan zen. Arazo horren ondorioz, Horns Rev (Danimarkako iparraldeko itsasoan kokaturiko offshore parke eolikoa) parke eolikoko osagai asko garaiz aurretik aldatu behar izan ziren. Beste erronka bat ere gainditu behar izan zen: turbinak sortutako energia kostalderaino transmititzea, urpeko lineen bidez. Urpeko linea horiek korrante zuzenean egiten dira, normalean erabiltzen den korrante alternoaren aurrean.

Energiaren kostuak murrizteko, turbinen tamaina handitzen joan da, eta gaur egun 10 MW (megawatt) potentzia izatera iritsi da. Ontzi edo helikopteroak (horrek dakarren kostu handiarekin) beharrezkoak diren mantentze-kostuak txikiagotzeko, sistema batzuk bikoiztu egiten dira, hutsegiterik izanez gero lanean jarraitu ahal izateko.

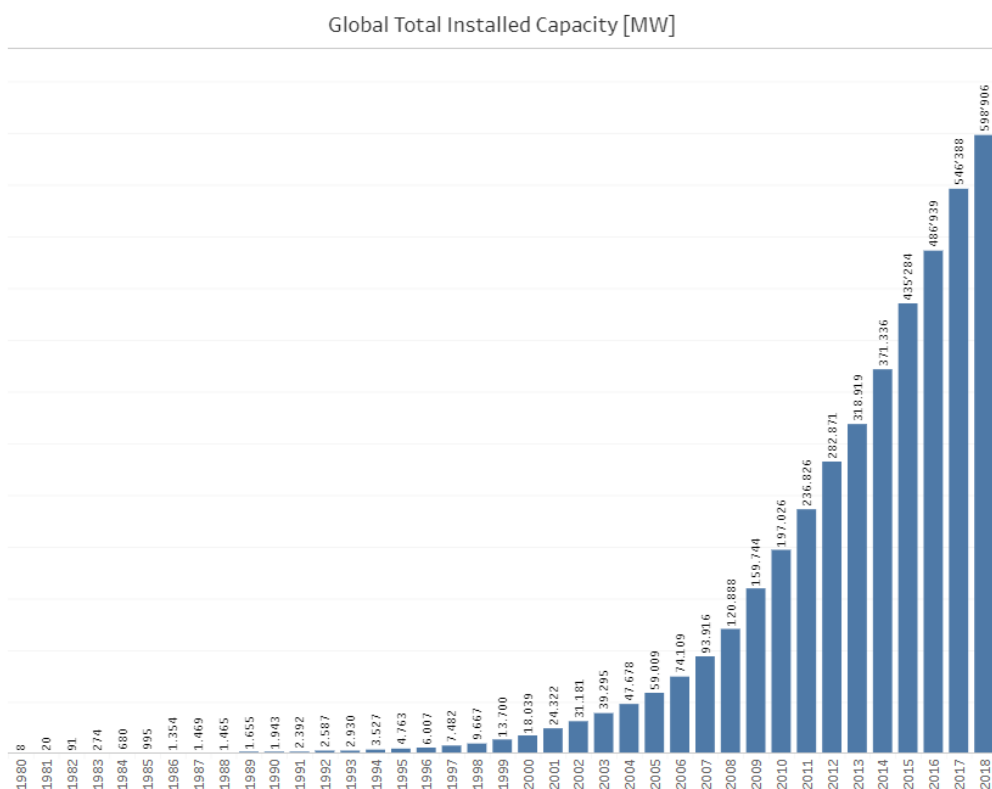
Azkenik, itsas eolikoaren erronka nagusietako bat turbinak itsas hondora ainguratzea da. 50 metrotik beherako sakonera duten itsasoetan, itsas aerosorgailu gehienak biltzen diren Ipar Itsasoan bezala, egitura zurrun baten bidez ainguratzen dira aerosorgailuak itsasora. Hala ere, sakonera handiagoetarako, egitura flotatzaileak behar dira, eta egitura horiek gero lurzoruari lotuko zaizkio.

Beraz, offshore eolikoak eginkizun garrantzitsua izango du etorkizunerako ingurumen-konpromisoak betetzeko [13].

1.2 ENERGIA EOLIKOA MUNDUAN

Haize turbinak duela mende bat baino gehiago sortu ziren. 1830. urteko sorgailu elektrikoaren sorkuntzari jarraituta, ingeniariak, haizearen energia energia elektriko bihurtzen hasi ziren. Energia eolikoaren era 1887. eta 1888. urteen artean Erresuma Batuan eta Ameriketako Estatu Batuetan hasi zen. Hala ere, gaur egungo haize energia modernoa Danimarkan garatu zen, non 1891. urtean ardatz horizontaleko turbinak eraiki ziren eta gerora, 1897. urtean, 22,8 metroko haize turbina eraikitzeke proiektua hasi zen.

Hurrengo irudian (irudia 1-11), ikusi daiteke zein izan den energia eolikoaren instalatutako kapazitatearen garapena munduan 1980. urtetik 2018. urtera arte.



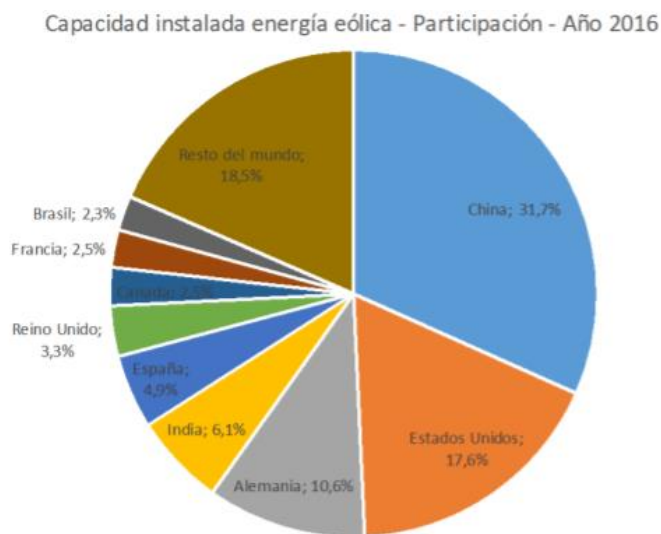
Irudia 1-11. Munduan instalaturiko kapazitatearen garapena urtetik urtera [14].

Denborarekin, instalaturiko energia eoliko kapazitateak gorakada bizi izan du. 1985. urtean batez besteko turbinek 0.05 MW lortzen zituzten 15 metroko diametrodun errotoreen bidez. Gaur egun, proiektu berrien turbinen kapazitateak 2 MW ingurukoak dira lurrazalean eta 3-5 MW-koak itsasoan kokatzen diren aerosorgailuetan.

Merkatuan eskura dauden aerosorgailuen artean badaude 8 MW-eko kapazitatea eta 164 metroko diametroa dutenak. 2009. eta 2014. Urteen artean batz besteko turbinen kapazitatea 1.6 MW-tik 2 MW-tara igo da [15].

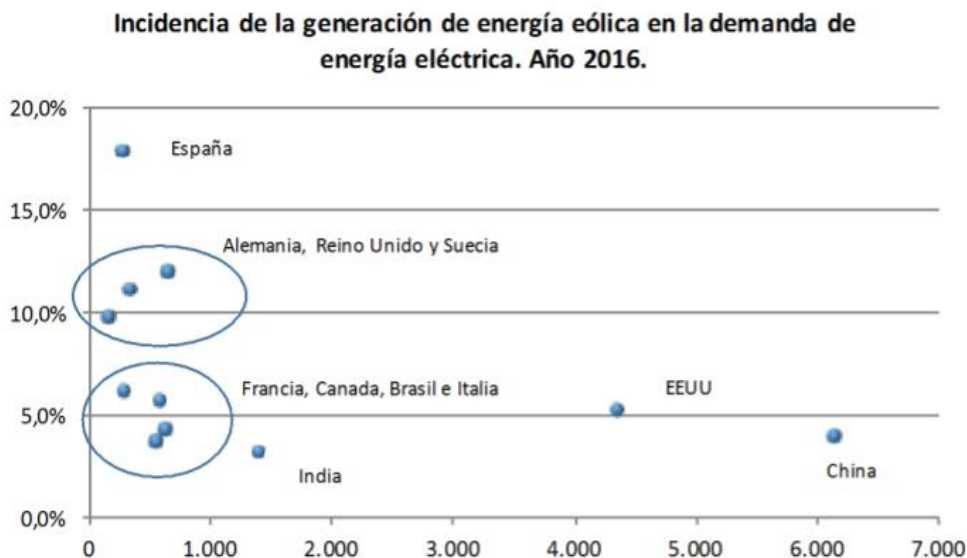
Duela hamarkada bat, sorkuntza eolikoan buru ziren Amerikako Estatu Batuak, Alemania eta Espainia. Denbora pasa ahala, herrialde berriak agertzen joan dira eta 2016. urterako, Txina izan zen instalaturiko kapazitate handiena lortu zuena, 148.6 GW, munduko kapazitatearen % 32-a. Bigarren, Amerikako Estatu Batuak 82.4 GW-rekin (% 18-a) eta jarrian Alemania 49.5 GW-rekin eta India 28.7 GW-rekin.

Hurrengo irudian (irudia 1-12) ageri da 2016. urtean energia eoliko kapazitate instalatuaren grafikoa non herrialde bakoitzaren ehunekoa ematen den.



Irudia 1-12. 2016-an munduan instalaturiko kapazitatea herrialdeko [16].

Ikusi daitekeen moduan, buruan dauden herrialdeak, ekonomikoki indartsuenak dira. Horregatik, munduko energia eoliko sorkuntzaren barruan agerian da beste herrialdeekiko ezberdintasuna. Hori ekiditeko, herrialde bakoitzaren energia elektriko totalaren menpe jarri da herrialde bakoitzeko energia eolikoaren sorkuntza, balio esanguratsuagoak lortuz. Hurrengo irudian (irudia 1-13) azaltzen dira 2016ko emaitza horiek.



Irudia 1-13. 2016-an energia eolika herrialdeko [16].

Aurreko emaitzei erreparatuta (irudia 1-13), argi ikusi daiteke nola lehen buru ziren herrialdeak sailkapen horretan beherago kokatzen direla. Horien artean, Estatu Batuak eta Txina, mundu mailan energia eolikoaren bidez ekoizturiko elektrizitatearen ehuneko handia sortzen badute ere, herrialde barruan energia eolikoak duen garrantzia % 5 ingurukoa da soilik. Espainiaren kasuan alderantziz gertatzen da, herrialde txikiagoa izanda, bertan instalaturiko energia eoliko balioak ez dira horren altuak, baina herrialdeak ekoizten duen elektrizitatearekiko, % 18 ingurukoa da energia eolikoaren bidez eskuratzen dena [17].

2018. urterako, mundu mailan instalaturiko energia eolikoaren kapazitatea 597 GW-koa da, WWEA (World Wind Energy Association) erakundeak 2019ko ekainaren 4an eskainitako datuen arabera. Datu horien arabera, 2018. urtean 50.100 MW gehitu ziren, 2017an (52.552 MW) baino pixka bat gutxiago.

2018. urtean emandako garapenaren ezaugarri nagusia dinamika berriak izan ziren. Europako herrialdeetan (Alemania, Espainia, Frantzia eta Italia) energia eolikoaren garapenak beherakada jasan zuen arren, Txina, India, Brasil eta Asiako zein Afrikako beste merkatu batzuetan ikaragarrikoa indarra hartu zuen.

Hala ere, merkaturik handiena Txinakoa izaten jarraitzen du, urte horretan 21 GW-ko instalaturiko kapazitatea gehitu zuen eta 200 GW-ko instalaturiko kapazitatea izaten lehenengo herrialdea izan zen. Gaur egun, 217 GW-ko kapazitatearekin munduko lehena izaten jarraitzen du.

Bigarren merkaturik garrantzitsuena Amerikako Estatu Batuetakoa da, 2018an 7.6 GW-ko kapazitatea gehituz eta Txinaren ondoren 100 GW-ko kapazitate instalatua lortzen bigarren herrialdea izango da.

Bi herrialde horien atzetik beste hainbat datoz, horietan, txikiagoa bada ere, garapen positiboa mantendu da orokorrean urteetan zehar. Hala ere, ekonomia txikiagoak izanda, lehen esan bezala, mundu mailako konparazioetan ez dira nabarmentzen. Herrialde horien artean daude, Alemania (3.1 GW gehituta, 59 GW guztira), India (2.1 GW gehituta, 35 GW guztira), Espainia (23.5 GW guztira), Erresuma Batua (2.9 GW gehituta, 20.7 GW guztira), Brasil (1.7 GW gehituta, 14.5 GW guztira) eta Frantzia (1.5 GW gehituta, 15.3 GW guztira).

Hurrengo irudian (irudia 1-14), 2015-etik 2018-ra herrialde garrantzitsuenen instalaturiko kapazitatearen garapenaren datuak eta munduan instalaturikoaren grafikoa adierazten dira [18] [19].

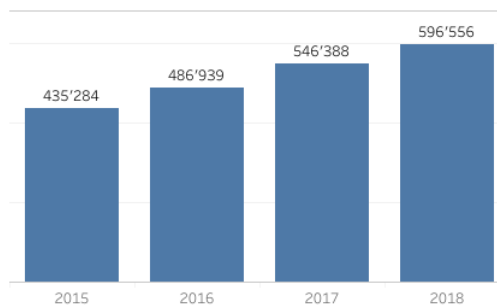


GLOBAL WIND INSTALLATIONS

Installed Capacity by the end of 2018 (MW)*

Country/Region1	2018	2017	2016	2015
China	216'870	195'730	168'730	148'000
United States	96'363	88'775	82'033	73'867
Germany	59'313	56'190	50'019	45'192
India**	35'017	32'879	28'279	24'759
Spain*	23'494	23'026	23'020	22'987
United Kingdom	20'743	17'852	14'512	13'614
France	15'313	13'760	12'065	10'293
Brazil**	14'490	12'763	10'800	8'715
Canada	12'816	12'239	11'898	11'205
Rest of the World*	102'138	93'173	85'582	76'653
Total general	596'556	546'388	486'939	435'284

Total Installed Capacity



Shares of Total Installed Capacity



* Preliminary data
** By November 2018

Irudia 1-14. 2018-an energia eolika herrialdeko [20].

1.3 ENERGIA EOLIKOA EUROPAN

Mundu mailan bezala, Europan ere energia eolika garapenean jarraitzen du. Hori horrela, urtero instalazio berriak eraikitzen dira, kontinentean kontsumitzen denarekiko garrantzi handiagoa izan dezan. Hurrengo grafikoan (irudia 1-15), 2019. urtera arte, urtero bai lur barnean zein itsasoan eraikitako estazio eolikoaren kantitatea adierazten da.

New annual onshore and offshore wind installations in Europe

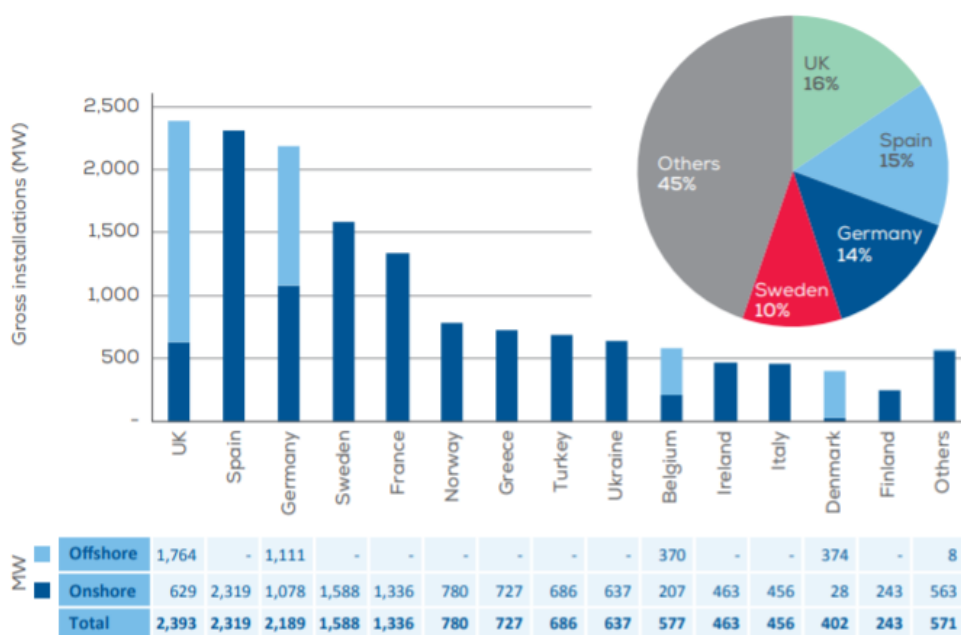


Irudia 1-15. Urteko instalazio berriak Europan [21].

1-15 irudian ikusi daitekeen moduan, azken urteetan instalazio gutxiago eraiki dira. Hala ere, garrantzitsua da urte guztietan instalazio berriak egitea, lehen esan bezala, eskaria asetzera energia eolikoaren ekarpena handitzen baitu horrek.

Europako herrialdeen artean ezberdintasun nahiko handia ematen da energia eolikoaren erabilerari eta garapenari dagokionez. Hurrengo grafikoan (irudia 1-16), aurrekoan adierazitako urteko instalazio berriak herrialdeekiko antolatuta ageri dira.

2019 new onshore and offshore wind installations in Europe

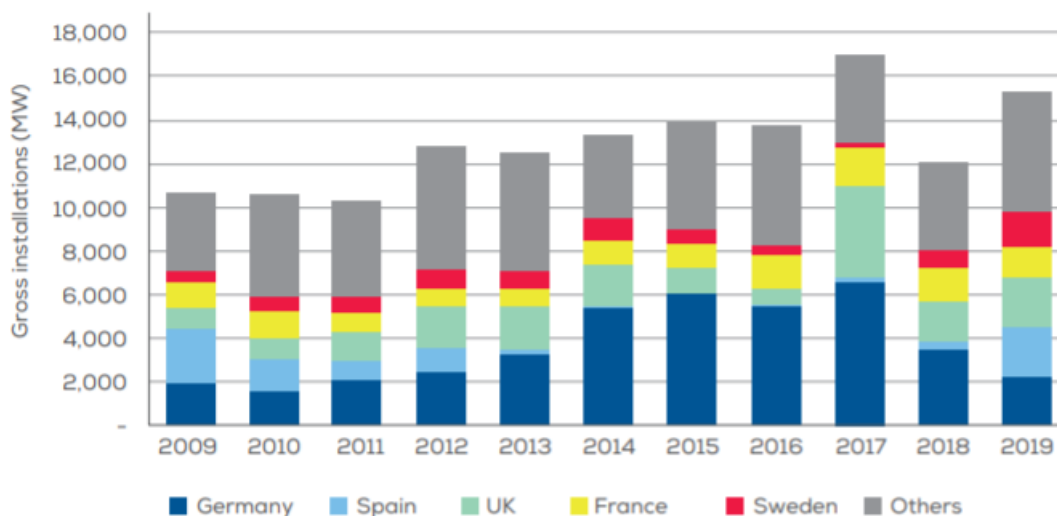


Irudia 1-16. Herrialdeko instalazio berriak Europan [21].

Emaitzen arabera, Erresuma Batua da azkenengo urtean energia eoliko instalazio kopuru handien eraiki dituen, jarraian Espainia, Alemania eta Suedia dituelarik. Gainera, aipatzekoa da lehenengo horrek azken urteetan eraiki dituen instalazio gehienak offshore (itsasoan) egin direla. Espainian ordea, 2019-an oraindik ez zen mota horretako instalaziorik egin. Nabarmetzeko modukoa da, 2019an eraikitako energia eoliko instalazioen artean % 24-a offshore instalazioak izan direla.

Hala eta guztiz ere, hurrengo irudian (irudia 1-17) adierazten den moduan, urteetan zehar, hasieran izan ezik, Alemania izan dela instalaturiko kapazitate handiena jasotzen duen herria.

Distribution of the new wind installations in Europe

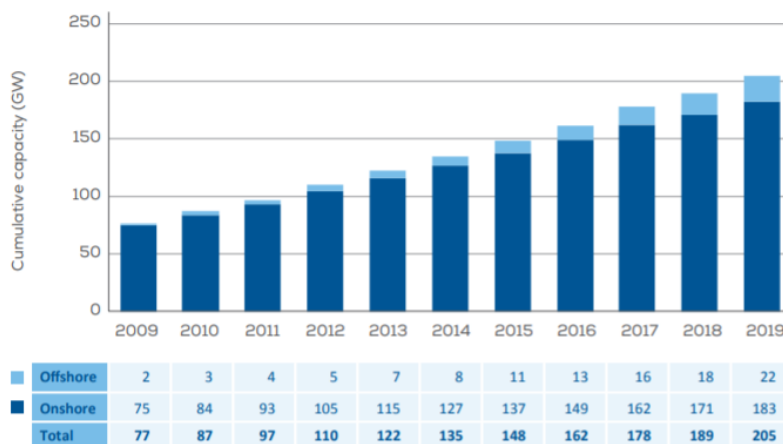


Irudia 1-17. Europan instalaturiko kapazitatea herrialde eta urteko [21].

Urteetan zehar, batutako instalaturiko kapazitatearen balioa handituz joan da, aurreko urtean 205 GW-ko baliora iritsi den arte. Jarraian adierazten den moduan (irudia 1-18),

urtero instalaturiko kapazitatearen gehikuntza izan da eta beraz, urte bakoitzeko balio totala handitu joan da.

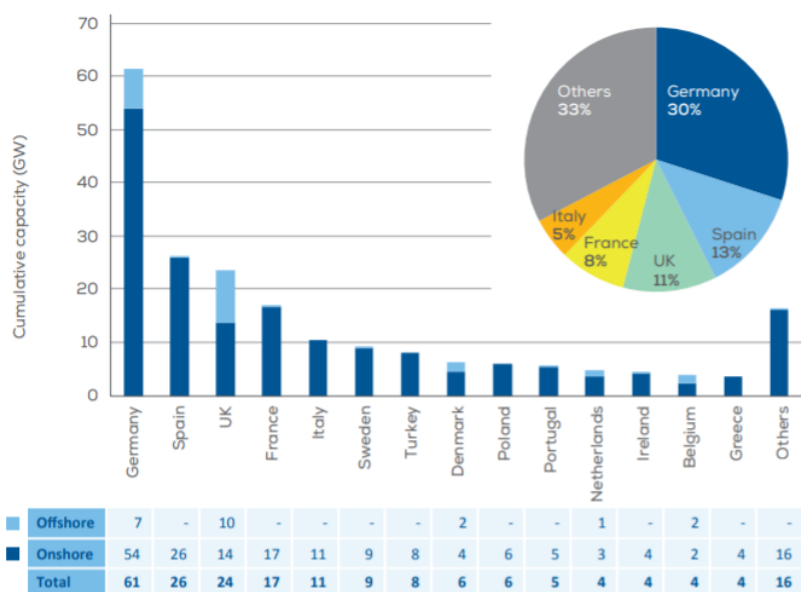
Total installed wind power capacity in Europe



Irudia 1-18. European instalaturiko kapazitatea urteko [21].

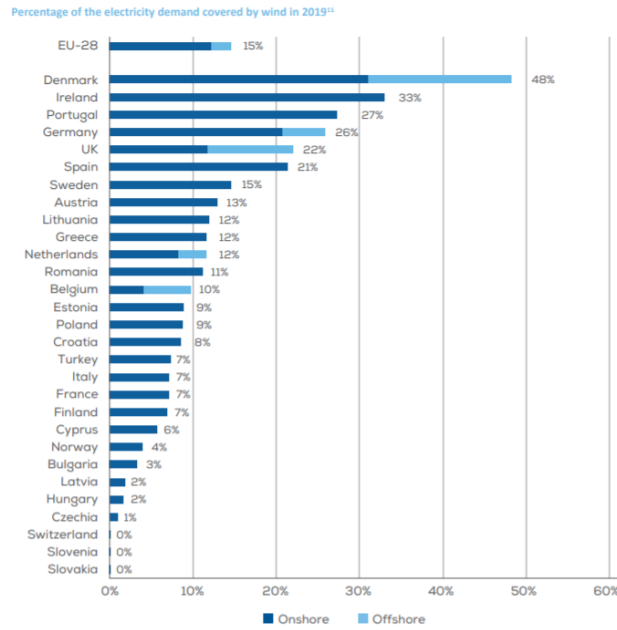
European ekoiztutako haize energiaren % 67-a bost herrialdetan ematen da: Alemania (61 GW), Espainia (26 GW), Erresuma Batua (24 GW), Frantzia (17 GW) eta Italia (11 GW). Suedia, Turkia eta Polonia 9 GW, 8 GW eta 6 GW-rekin horien jarraian doaz. Hurrengo irudian (irudia 1-19) datu horien adierazpen argia ematen da.

Total installed wind power capacity by country



Irudia 1-19. European instalaturiko kapazitatea herrialdeko [21].

2019. urtean energia eolikoaren bidez sortutako elektrizitatea Europako eskariaren % 15-a bete zuen. Honek 2018. urtearekiko % 1-eko gorakada suposatzen du. Herrialde bakoitzari begira, Danimarka da haren energia eskaria betetzek energia eolikoaren ehuneko handiena erabiltzen duena, % 48. Jarraian Irlanda (% 33), Portugal (% 27) eta Alemania (% 26) daude. Gainera, beste herrialdeen artean 12-k % 10-etik gorako balioak daukate. Jarraian emandako irudian (irudia 1-20) herrialde bakoitzak bere energia produkzioan duen energia eolikoaren ekarpenaren ehunekoa ematen da [21].



Irudia 1-20. Europako herrialde bakoitzean energia eolikoaren ekarpena [21].

1.4 ENERGIA EOLIKOA ESPAINIAN

90. hamarkada erdialdetik, Penintsulan energia eolikoaren ikaragarritzko garapena eman da. Ingurumenean dauden energia potentzialdun zonalde eta energia berriztagarriak, batez ere energia eolikoa, bultzatzeko emandako laguntzei esker, sektore horrek garapen industrial zein teknologiko handia izan du.

Mundu mailan, bai instalaturiko potentziari dagokionez, Txina, Amerikako Estatu Batuak, Alemania eta Indiaren atzetik liderra da eta baita energia eolikoaren sektorean lan egiten duten enpresa garrantzitsuen kopuru eta bolumenari dagokionez ere.

Nabarmentzekoa da Espainia energia eolikoari dagokionez mundu mailan garapen handienetarikoa bizi izan duen herrialdea izan dela. Hasieran, 90. Hamarkadan 50 MW-tara iristen ez zen instalaturiko potentzia izatetik, gaur egun 23500 MW-ko potentzia izatera igaro da. Estatuan, 1123 parke eoliko daude funtzionamenduan, horrek kontsumituriko energiaren % 19-a energia eolikoak asetzea du ondorio. Horrekin batera, urtean, CO₂ gasaren 25 milioi tonako isurpenen ekiditea lortzen da. Hazkunde honen oinarrian, potentzial eoliko nahiko handiko zonaldeak eskura izatea, energia berriztagarriak bultzatzeko politikak eta sektore horretan lan egiten duten enpresekiko sortutako interesa daude. "Asociacion Empresarial Eolica" erakundearen arabera, egun, 207 enpresek hartzen dute parte energia eolikoaren industrian, fabrikazio, garraio, promozio, ustiapen, eraikuntza eta zerbitzuak eta banaketa arloetan banaturik.

EVOLUCIÓN ANUAL Y ACUMULADA DE LA POTENCIA INSTALADA EN ESPAÑA (EN MW)



Irudia 1-21. Spanish instalaturiko potentziaren eboluzioa

Aurreko grafikoan (irudia 1-21) argi ikusi daiteke energia eolikoaren hazkunde positiboa mende hasieratik 2012. urtera arte. Bertatik aurrera eta gaur egunera arte, energia eolikoaren garapen positibo hori gelditu egin da. Hala da, 2012 eta 2015 urteen artean ez zela energia berriztagarrikeri ezarri Espainian. Geldialdi horren ondoren, krisi ekonomikoa zela eta, eskariaren murrizketa bat ere gauzatzen da. Gainera, energia berriztagarrien proiektuek jasotzen zituzten laguntzak kendu egin ziren José Luis Rodríguez Zapatero (2004-2011) eta Mariano Rajoy-ren (2011-2018) gobernuetan.

Hurrengo irudian (irudia 1-22), 2018. urtean Espainiako autonomia erkidego bakoitzaren energia eolikoaren ekarpena adierazten da, gehituriko instalaturiko potentzia, guztira duten potentzia eta bakoitzean aurkitzen diren parke eoliko kopuruekin batera. Taulan agertzen ez direnak ez zuten ekarpenik egin.

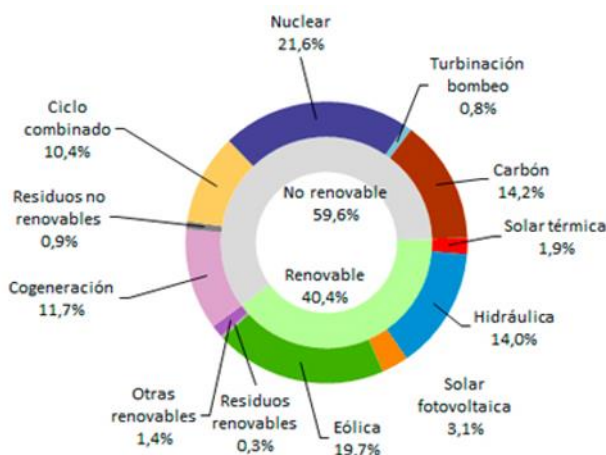
POTENCIA EÓLICA INSTALADA POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS EN 2018 (EN MW Y PORCENTAJE DE CUOTA DE MERCADO)

COMUNIDAD AUTÓNOMA	Potencia instalada en 2018	Acumulado a 31/12/2018	Porcentaje sobre el total	Nº de parques
Castilla y León		5.595	23,82%	244
Castilla-La Mancha	10,37	3.817	16,26%	144
Galicia	68	3.422	14,57%	161
Andalucía	30	3.331	14,18%	154
Aragón	90,9	2.002	8,52%	93
Cataluña	2,35	1.271	5,41%	47
Comunidad Valenciana		1.189	5,06%	38
Navarra		1.004	4,27%	49
Asturias		518	2,21%	23
La Rioja		447	1,90%	14
Murcia		262	1,12%	14
Canarias	190,165	431	1,84%	85
País Vasco		153	0,65%	7
Cantabria		38	0,16%	4
Baleares		4	0,02%	46
TOTAL	392	23.484		1.123

Fuente: AEE

Irudia 1-22. 2018-an autonomia erkidego bakoitzaren potentzia instalatua.

Hurrengo irudian (irudia 1-23), 2018. urtean Estatuan sorkuntza energetikoaren banaketa adierazten da [22].



Irudia 1-23. Espainiak sorkuntza energetikoaren iturrien aportazioa.

Ikusi daitekeen moduan (irudia 1-23), energia eolikoak suposatzen duen ehunekoa nabarmena da. Horiek normalean dauden balioak badaude ere, badaude historian zehar zenbait piko, horien artean errekorra 2019. urtearen hasieran eman zen, egunean 373 GWh-ko produkzioarekin, penintsulan ekoiztutako energiaren % 43.2-a suposatu zuena. Aurretik jasotako beste datu batzuk ere badaude, 365 GWh (2016, Otsaila) eta 353 GWh (2015, Urtarrila). Pasaden urtean jasotako datu hori, Europako zifrarik altuena ere izan zen, Alemania (162 GWh) eta Portugal (103 GWh) atzean zituelarik. Alemanian zifra horrek produziturikoaren % 10-a suposatu zen eta Portugalen ordea % 60-a [23].

Aipatzekoa da, Portugalen energia berriztagarrien produkzioarekiko lortzen dituen balioak oso altuak izaten direla, egoera zehatz batzuetan produkzioaren % 100-etik gora egonda. Horietan ere, energia eolikoak oso atal garrantzitsua betetzen du. Ezagutzera ematen ez den arren, Portugal Europako liderretarikoa da energia berriztagarriari eta energia eoliko potentzialaren aprobetxamenduari dagokionez [24].

Aurreko ataletan aipatu den moduan, gaur egungo ikerketak sorkuntza berriztagarri horien biltegitratzean dago oinarrituta, hau da, baterietan. Helburu nagusia, aerosorgailuek ekoiztutako energia biltegitratzea da, horrela eskaria dagoen momentuan kontsumitu ahal izateko. Sistema hauen adibide da Espainiako El Hierro uhartean kokaturiko zentral hidroeolikoa. Instalazioak, uhartearen eskaria energia garbiekin asetzeko helburua du, haizearekin eta urarekin. Parke eolikoak eskari osoa asetzeko gai da eta soberan dagoen energia ura maila ezberdinetan dauden deposituen artean ponpatzeko erabiltzen da. Goiko deposituan biltegitratuta geratzen den urak, salto hidraulikoaren bidez, sortuko du energia dagoen haizea nahikoa ez denean [25].

Ondorioz, Espainian, industria eolikoak barne produktu gordinaren % 0.31 suposatzen du eta teknologiaren esportazioak 2391 milioi euro suposatzen ditu urtean. Estatuko industria eolikoaren garapenak eta enpresa garrantzitsuen kopuruak, aerosorgailuen esportazioa munduko 4. izatera eraman du eta patente eolikoei dagokienez, seigarren postuan dago mundu mailan eta hirugarren European [22].

1.5 ENERGIA EOLIKOA EUSKAL HERRIAN

Energia eolikoa Nafarroa Garaian garatu zen lehen aldiz 1990eko hamarkadan. Energia berriztagarriek ekar zezaketen onuraz oharturik, Nafarroako Foru Erkidegoko Gobernuak EHN enpresa publikoa sortu zuen 1989an. 1994ko abenduan Erreniega mendian, Euskal Herriko lehen parke eolikoa eraiki zen, guztira sei aerosorgailu. Urtebete beranduago, 1996ko ekainean, Nafarroako Foru Erkidegoko Gobernuak energia eolikoa garatzeko plangintza onartu zuen eta urte gutxitan instalaturiko potentzia hamar bidez handitu zen.

2003-an, gobernuak EHN enpresaren akzioen erdia "Acciona" eraikuntza enpresari saldu zizkion.

2007 urtea amaitzean, Nafarroa Garaian zeuden ehunka aerosorgailuek Europar Batasunaren energia eoliko guztiaren %1.62 ekoizten zuten, 917 megawatt guztira. Kopuru hori Belgika, Suedia, Irlanda edo Polonia bezalako herrialdeak ekoiztutako energia eolikoaren gaineretik dago. 2007an energia eolikoak Nafarroa Garaiak behar izan zuen energiaren % 45 ekoiztu zuen.

Euskal Autonomia Erkidegoko lehen parke eolika Nafarroa Garaian baino sei urte beranduago eraiki zen Elgea mendian. Lehen parke horrek 40 aerosorgailu eta 27 MW ekoizteko gaitasuna zuen. Urte batzuk beranduago, Urkillako parkea eta Oiz mendikoa zabaldu ziren (2001 eta 2004 urteen artean).

2008. urtearen amaieran, instalaturiko potentzia eolika 958.77 megawattekoa zen Nafarroa Garaian eta 152.77 megawattekoa Euskal Autonomia Erkidegoan [26] [22].



Irudia 1-24. Oiz mendiko parke eolika [27].

Hala ere, horren guztiaren aurretik, 1984. urtean, Karrantzan 10 KW-eko "Polenko" ekipo komertzial baten instalazioaren bidez burututako proiektu pilotu eta erakusketa-proiektuak izan ziren energia eolikoaren esparruan Euskadin garatutako lehenengo jarduerak, eta horrekin batera, garapen berriei emandako bultzada ("Darrieus" ardatz bertikaleko aerosorgailuak), Arrasateko Eskola Politeknikoarekin lankidetzan.

Lehenengo garapen-etapa hori sektore eolikoan zenbait konpainia elektrikok egindako hasierako mugimenduekin batera gertatu zen. Horrela, Energiaren Euskal Erakundearen eta "Iberdrola Renovables" enpresaren arteko interesen uztartze hori 1996. urtean "Eólicas de Euskadi" enpresaren sorrerarekin gauzatu zen (% 50-eko partaidetzarekin), eta enpresa horrek egin ditu Euskadiko parke eolikoetako inbertsio gehienak. 2007an euskal energia-agentziak Iberdrolari saldu zion bere partizipazioa "Eólicas de Euskadi" enpresan.

Gaur egun, Euskadik lurreko lau parke eoliko dauzka, 143 MW-eko instalatutako potentziarekin, guztira. 2006an, CESAk (ondoren "Accionan" integratu zen) Luzero Lurmuturreko miniparke eolikoaren eraikuntza sustatu zuen (10 MW), "Eólicas de Euskadi" enpresaz kanpo eraikitako bakarra. Orduz geroztik, ez da beste parke eolikorik eraiki Euskadin.

Gehigarri gisa, potentzia txikiko 200 instalazio baino gehiago ditu Euskadik geografia osoan banatuta.

Energia eolikoarekin lortutako urteko batez besteko produkzio elektrikoa 350 GWh inguru da, hau da, euskal energia aprobetxamenduaren % 6-7 inguru energia berriztagarriekin.

2030erako Euskadiko Energia Estrategiaren (3E-2030) arabera, funtsezko zutabeetako bat da energia eolikoa Euskadiko energia berriztagarrien garapenean. Ordurako, 783 MW-eko potentzia eolikoa edukitzea espero da.

Euskadik industria-sare indartsua du sektore eolikoan, sektorean mundu osoan lider diren enpreekin. Aerosorgailuen fabrikazioko, eta parkeen sustapen eta ustiapeneko jarduera bultzatzaileen inguruan osagai eta sistema elektrikoaren fabrikazioko, ingeniartzako, instalazio eta eraikuntzako, eragiketa- eta mantentze-zerbitzuetako, teleaginte eta kontroleko teknologietako eta abarreko industria osagarri aberats bat sortu da.

Itsas energia eolikoaren esparruan, eskualdean sakon errotutako ontzigintzako eta itsas jardueretako industriak osatzen du industria osagarri hori. Oil&Gas eta antzeko sektoreetan enpresek duten esperientziak beharrezko aktore bihurtzen ditu itsas sektore eolikoaren garapenerako, eta soluzioak eman ditzakete diseinu-prozesuan zein parkearen eta haren ekipoen eraikuntzan, baita eragiketan eta parkearen mantentze-lanetan ere.

Jarduten duen nazioarteko merkatuen zati denez, industria- eta teknologia-erronka erkide batzuei egin behar die aurre euskal industria eolikoak, eta datozen urteetan ekin beharko zaie erronka horiei.

3E-2030 estrategian ezarritako helburuak lortzeko, 2017-2020 aldirako Energia Eolikoaren Plana garatu da, non zenbait jardun-ildo biltzen diren, bi ardatz handitan bildutako ekimenen bidez zabaltzen direlarik: garapen energetikoa eta sustapen industrialia.

Garapen energetikoaren kasuan, Euskadik energia eolikoaren aprobetxamendu energetikoan duen protagonismoa berreskuratzea dute ardatz gisa, energia horretarako Lurralde Plan Sektorial berri baten garapena ahalbidetuz, besteak beste [28] [27].

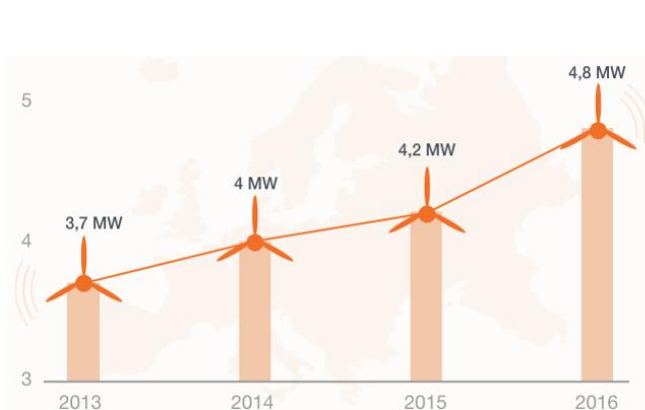
Honako hauei lotuta dago sustapen industrialia:

- Euskal industria eolikoaren lehiakortasuna indartzea, batez ere itsas energia eolikoko merkaturako duen bilakaera.
- BiMEPen eta euskal industriaren lidergoa bultzatzea zimendu flotatzaileen garapenean.
- Prestakuntza-eskaintzaren sektorerako premien egokitzapena bizkortzea.

1.6 ENERGIA EOLIKOAREN ETORKIZUNA

Energia eolikoaren kostuak murrizten lagundu duen faktoreetako bat, besteak beste, aerosorgailuen tamaina etengabe handitzea izan da. Horri esker, aerosorgailuak lehiakorak izan dira energia berriztaezinaren iturriekin eskualde askotan. Ziurgabetasuna da ea turbinen tamaina handitzen jarraitu ahal izango den edo, aitzitik, muga hori lortzen ari diren, fisikako legeen edo egitura hain handiak garraiatzeak dakartzan arazo logistikoen ondorioz [29].

Hurrengo irudian (irudia 1-25) turbina eolikoek hiru urtean izan duten hazkunde handia erakusten da. 2013 eta 2016 bitartean, batez besteko potentzia % 20 handitu zen. Nabarmentzekoa da kopuru horiek are handiagoak direla gaur egun, eta urtetik urtera handitzen doazela.



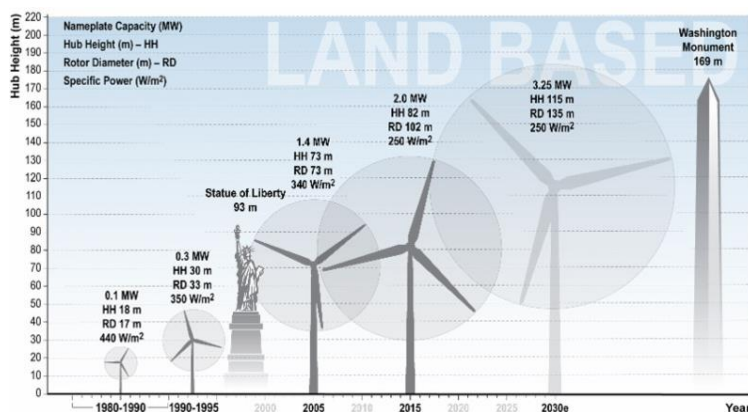
Irudia 1-25. Aerosorgailuen tamainaren etorkizuna [30].

Alde horretatik, teknologia errekorrak gainditzen ari da. 2017aren hasieran, 8 MW-ko potentzia duen aerosorgailu batekin egin ziren probak Danimarkan, eta 9 MW-ko potentzia sor zezakeen, kokalekuan nagusi ziren haizeen arabera. Turbina hori gai izan zen 216 MWh egun bakar batean sortzeko, urte batean 22.000 etxebizitza baino gehiago hornitzeko adina energia [30].

Berriki egindako azterketa baten arabera, lurrean oinarritutako turbinek eta, bereziki, itsasoan instalatzen direnek (offshore) hazkunde-potentzial handia dute, eta, horri esker, teknologia-ikuspuntutik oso garatuta dagoen energia-iturri horrek kostuak murrizten jarraitu ahal izango du etorkizun hurbilean. Artikulu horretan ezartzen diren ondorioen arabera, etorkizuneko turbinekin diseinua erabiliko diren aplikazioaren arabera izango da, baina, zalantzarik gabe, tamaina handituz joango da [31].

Kontuan hartu beharreko beste alderdi bat da hurrengo urteetan lehen belaunaldiko parke eolikoak itxiko direla, haien bizitza baliagarriaren amaierara iritsiko baitira. 2022rako, 22 GW-ko potentzia instalatua duten zenbait parkek hogeitaz beteko dituzte. Turbina zahar horietako asko potentzia handiagoko eta askoz eraginkorragoak diren beste batzuekin ordezkaturiko dira leku berean [32].

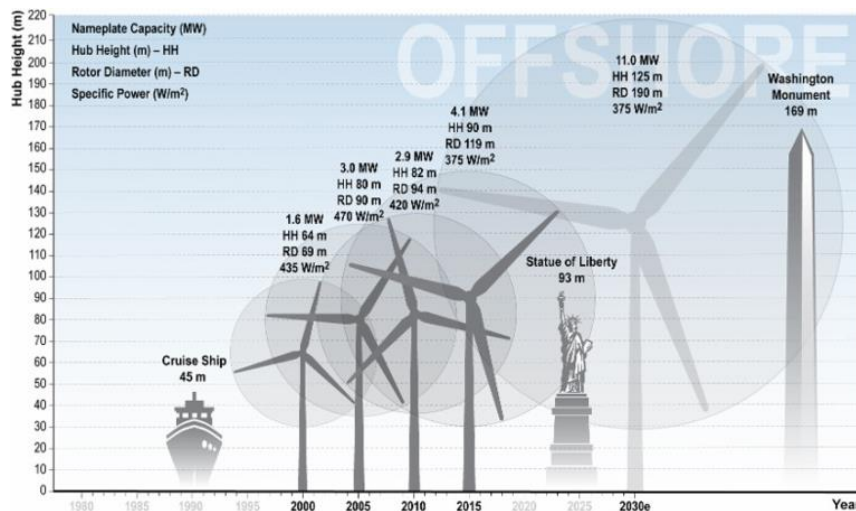
Beraz, komeni da aerosorgailuen tamaina handitzea; izan ere, jakina denez, aerosorgailu batek sortzen duen potentzia eta, beraz, sortzen duen energia aerosorgailuaren palek estalitako azalerarekiko proportzionala da. Beraz, errotorearen diametro handiagoak potentzia handiagoa eta, ondorioz, turbina gutxiago behar ditu energia jakin bat lortzeko, eta horrek kostuak nabarmen murrizten ditu. Horren arabera, lurrean oinarritutako instalazioetan (onshore), turbinekin prestazioak handitzeko joera aurreikusten da. Hurrengo irudian (Irudia 1-26) ageri da joera hori, eta hor ikus daitezke potentzian, errotorearen diametroan eta euskarri-dorrearen altueran izandako bilakaera, 1980tik hasita, eta 2030era arte izandako proiektzioa [33].



Irudia 1-26. Onshore aerosorgailuen tamainaren garapena [29].

Haize-teknologiaren goraldiaren arrazoi nagusietako bat offshore instalazioen garapena da. Itsasoko energia eolikoak eta lurrian oinarritutako energia eolikoak bide teknologiko desberdinak hartzen dituzte. Lurrian, sorgailuak ez dira hain azkar hazten, baina kostaldean gero eta potentzia handiagoak ikusten dira. Offshore eolikoak izugarri ari da hazten, Alemanian, Erresuma Batuan edo Danimarkan teknologia horren alde egindako apustuari esker. Eta turbina horiek potentzian eta, beraz, errotorearen diametroan hazten jarraituko dutela aurreikusten da. Itsasoan jarritako turbinen abantaila nagusietako bat da egitura horien logistika eta itsas kokalekuetarako garraioa sinpleagoak direla.

Hona hemen irudi bat (irudia 1-27), aurrekoa bezalako, baina kasu honetan offshore turbinen bilakaera eta aurreikuspenekin.



Irudia 1-27. Offshore aerosorgailuen tamainaren garapena [29].

Bestalde, ez da ahaztu behar turbinak fabrikatzeko kostuak alde batera utzita, hau da, turbinak sortzen dituzten fabriken inbertsio- eta eraikuntza-kostuak ikaragarriak direla. Beraz, sorgailuen dimentsioak handitzen jarraitzea errentagarria izan dadin, igoera horrek MW bakoitzeko kostuen murrizketarekin lotuta egon behar du.

Arestian aipatu bezala, offshore energia eolikoak gora egin du, eta etorkizunerako aurreikuspenek argi eta garbi adierazten dute erritmo bizian hazten jarraituko duela. Horren adibide garbia da munduko bigarren offshore parke eoliko handiena eraikitzea Ipar Itsasoan, Hornsea 1 deritzonaren (1.218 MW) atzetik, Erresuma Batuan kokatua eta eraikitzen ari dena. Jarraian, itzulita aipatzen da "El Economista" egunkarian 2019ko ekainean argitaratutako albistearen zati bat [34]. "Iberdrola energia berriztagarrien Espainiako proiektu handienaren azken faseari ekin dio":

"Hilabete honetan East Anglia Oneko itsasoko parke eolikoko aerosorgailuak muntatzen hasten aurreikusten da. 714 MW ditu, Espainiako enpresa baten energia berriztagarrien proiektu handiena da, eta 2020-an jarriko da martxan, 2800 milioi euroko inbertsioa egin ondoren. Energia sortuko du 630000 etxe britainiarren beharrei erantzuteko.

Ipar Itsasoan, Suffolk-eko (Erresuma Batua) kostaldetik 50 kilometrora, eta 300 kilometro koadroko eremua okupatuz -40000 inguru futbol-zelai-, dagoeneko, 102 plataformetatik 86 instalatu dira -jacket ingelesez-; horien ganean, 7 MW-eko potentzia unitarioko aerosorgailu erraldoiak jarriko dira, Siemens Gamesak fabrikatuak."

Aerosorgailuen teknologiak garapen handia izan duenez, energia-iturri hori da, gaur egun, energia berriztagarri modernoetako lehena, eta, eguzki-energia fotovoltaiakoarekin batera, erregai fosilak agortzeko energiaren etorkizuna da.

Datu bitxi gisa, Virginiako Unibertsitateko ikertzaile-talde bat, Sandiako Laborategi Nazionalarekin batera, Estatu Batuetako bi erakundeak 200 metro luzeko aerosorgailu-pala bat garatzen ari dira, hau da, gaur egun merkaturatzen den handiena baino 2.5 aldiz handiagoa. Beso horiek artikulazio batzuk izango dituzte haizearen indarraren arabera tolesteko, eta 50 MW-eko turbinak eraiki ahal izango dituzte.

Argi dagoena da haize-energia funtsezkoa izango dela hurrengo urteetan, eta funtsezko zeregina izango duela beharrezko energia-trantsizioan, atmosferara CO₂ gutxiago igortzeko helburuei aurre eginez eta Europako herrialdeei deskarbonizazio-proiektuan aurrera egiten utziz. Espainian, energia eolika izango da 2030ean Espainiako sistema elektrikoaren lehen teknologia. Munduko elektrizitate-sorkuntzaren bi heren iturri berriztagarriena izatea ere espero da 2040rako. Zalantzarik gabe, haize-energia izango da protagonista [22].

Aurreikuspenen arabera, instalatutako edukiera 17 GW haziko da urtean, batez beste, datozen lau urteetan, parke eolikoaren proiektu garrantzitsuei esker, bai itsasoan bai lurrean. Aurreikuspen horien arabera, Europako haize-sorkuntza 260 GW-ra iritsiko dela uste da.

Ezbairik gabe, Espainia kontinentean instalazio eoliko gehien dituen herrialdeetako bat izango da, eta lurreko turbinek 4 MW-eko potentzia izango dutela eta itsas turbinek 8 MW-eko potentzia baino handiagoa izango dutela aurreikusten da etorkizun hurbilean.

Euskal Autonomia Erkidegoan, Energiaren Euskal Erakundea, sektore eolikoan parte-hartze handia duten enpresa batzuekin batera, energia berriztagarriei buruzko proiektuak bultzatzeko gizartea osatzen ari da, eta horien artean daude parke eolikoaren instalazioak erkidegoan [28].

Horren guztiaren ondorioz, teknologia horren etorkizuna oso baikor, itxaropentsu eta etengabe hazten ari da. Izan ere, Massachusettseko Institutu Teknologikoak eta Stanforderko Unibertsitateak egindako ikerketen arabera, 2050ean posible izango da energia berriztagarriek, batez ere energia eolikoak eta eguzki-energiak, % 100 mugiaraztea [30].

1.7 WEATHER RESEARCH AND FORECASTING (WRF)

Weather Research and Forecasting Eredua (WRF) hurrengo belaunaldiko iragarpen meteorologiko numerikoko sistema bat da, ikerketa atmosferikoko aplikazioetarako eta iragarpen operatiboko aplikazioetarako diseinatua. Bi nukleo dinamiko ditu, datuak asimilatzen dituen sistema bat eta softwarearen arkitekturak konputazio sistema paralelo hedatua onartzen ditu. Meteorologia-aplikazio ugari eskaintzen ditu ereduak, dozenaka metrotik milaka kilometrora bitarteko eskalen bidez. Gainera publikoa da, edonork erabili dezake, hau da, beste modelo batzuen lizentziak ordaindu behar badira ere, WRF dohainik da.

WRF garatzeko ahalegina azken urteetan hasi zen, eta Atmosferaren Ikerketarako Zentro Nazionalaren (NCAR), Ozeanoen eta Atmosferaren Administrazio Nazionalaren (NCEP) Ingurumen Aurreikuspeneko Zentro Nazionalek eta Lurreko Sistemaren Ikerketa Laborategiak ordezkatua), Estatu Batuetako Ontzi Administrazioaren, eta Abiazioko Administrazio Federala (FAA).

Ikertzaileentzat, kondizio atmosferiko errealean (hau da, behaketa eta analisisetan) edo baldintza idealizatuetan oinarritutako simulazioak egin ditzake WRF-ek. WRF-ek

plataforma malgu eta konputazionalki eraginkor baten aurreikuspen operatiboa eskaintzen du, eta, aldi berean, ikerketa hedakorreko komunitatearen garatzaileek fisikan, zenbakietan eta datuen asimilazioan egindako azken aurrerapenak islatzen ditu. WRF gaur egun erabiltzen ari da NCEPen eta Espainiako beste zentro meteorologiko batzuetan, bai eta laborategietan, unibertsitateetan eta enpresetan denbora errealeko aurreikuspen-konfigurazioetan ere.

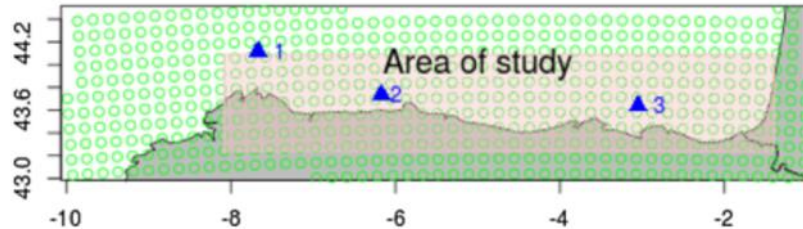
WRF-ek mundu osoan erabiltzaile ugari ditu erregistratuta (guztira 48000 baino gehiago 160 herrialdetan baino gehiagotan). WRF sistemak bi solber dinamiko ditu, ARW nukleoa (Advanced Research WRF) eta NMM nukleoa (Nonhydrostatic Mesoscale Model) izenekoak. ARWa hein handi batean NCAR Mesoscale eta Microscale Meteorology Laboratory-k garatu eta mantentzen dute. NMMren gunea Ingurumen Iragarpeneko Zentro Nazionalak (NCEP) garatu zuten, eta gaur egun HWRF (WRF urakana) sisteman erabiltzen da.

Laburbilduz, WRF eredu meteorologikoa asko erabiltzen da mundu osoko ikerketan eta iragarpen meteorologikoan. Besteak beste, lehorteak edo muturreko fenomeno meteorologikoak iragartzea eta potentzial eolikoaren aurreikustea eta aztertzea dira haren erabilera garrantzitsuenetako batzuk.

Haizeak denbora nahikoarekin eta bereizmen espazialarekin behatzeko erregistro historikorik ez badago, WRF bezalako eredu meteorologikoek parke eolikoak instalatzeko etorkizun handiko eremuetan haizeak zer balio dituen kalkulatzeko dute.

Jarraian, energia eolikoaren eta eskualde batzuetako potentzial eolikoaren arloan eredu horrekin egindako ikerketa eta azterlan batzuk jaso dira [35].

1.7.1 Mesoscale eredu batean 3DVAR datuak asimilatzeo sentsibilitatea, offshore energia eolikoaren potentziala zenbatesteko. Iberiar penintsulako iparraldeko kostaren kasu-azterketa



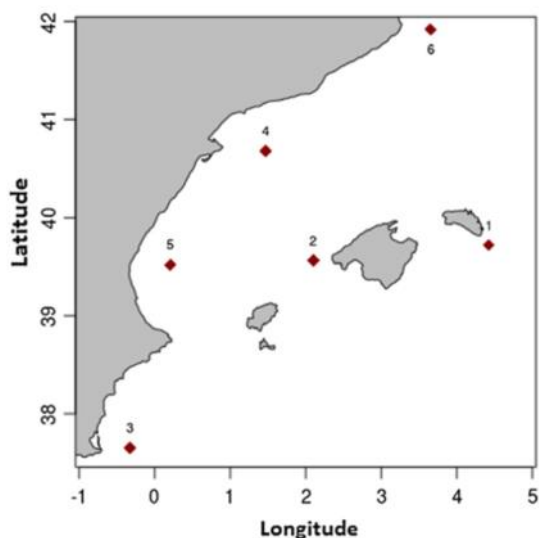
Irudia 1-28. "Iberiar penintsulako iparraldeko kostaldeko itsas energia eolikoaren potentzialaren zenbatespena" proiektuaren azterketa-eremua [36].

Lan honetan, WRFren eredu meteorologikoa hiru modutan gauzatzen da, 1990-2001 bitartean Bizkaiko Badian energia eolikoaren potentziala zenbatesteko. Lehenengo simulazioak (NODA) WRF ereduaren ohiko erabilera dakar, eta ez du datuen asimilazioa erabiltzen. Bigarrenak (12hDA) 3DVAR datuak, 00:00, UTC-rekin eta 12:00 UTC-rekin parekatzen ditu, hau da, 12 orduo. Azkenik, 6hDAk 3DVAR datuak asimilatzen ditu 00:00 UTC, 06:00 UTC, 12:00 UTC eta 18:00 UTC unitateekin, hau da, sei orduo.

Hiru simulazioak hasierako fase batean egiaztatu dira, buia-haizearen datuak erabiliz, eta, ondoren, gainazal-haizearen azterketa banatua egin da, espazioari dagokionez, Cross-Calibrated Multi-Platform (CCMP) satelite-datuetan oinarrituta. Horretarako, espazio-korrelazioaren ereduak eta gure azterketa-eremuko errorea estatistika-adierazle gisa erabili dira.

Emaitzen arabera, sei ordutik behin datuak barneratuta lortutako haize-balioek (6 hDA) egiaztatze-punturik onenak sortzen dituzte % 95eko konfiantza-mailan, eta horiek dira zehatzenak eremuan haizeari buruzko behaketak egitean. Energia eolikoaren potentzialaren zenbatespenari dagokionez, bigarren etapan, kalkuluak datuen asimilazioaren erabilerarekiko duen sentikortasuna probatuko dugu. Datuak asimilatzen dituen simulazio fidagarrienak (6hDA) datuen asimilaziorik gabeko simulazioak baino % 21 energia potentzial gutxiago duela kalkulatu du. Denbora eta espazioa behar bezala bereiziz itsas haizea behatzeko erregistro historikorik ez badago, WRF bezalako eredu meteorologikoen offshore parke eolikoetarako saiakuntza-eremuetako haize-balioak zenbatesten dituzte. Ildo horretatik, datuak barneratuz eredu meteorologikoen erabiltzeko beharra nabarmentzen du gure azterlanak, energia eolikoaren etorkizuneko ekoizpena alde aurretik kalkulatu izan baitaiteke. Horrek offshore energia eolikoan etorkizunean egingo diren inbertsioetarako arrisku eta onurei buruzko ebaluazio ekonomiko eta tekniko zehatzagoa ere egin dezake [36].

1.7.2 3DVAR datuen asimilazioa erabiliz, mendebaldeko mediterraneoan turbina-altuera desberdinetan offshore energia eolikoaren potentziala neurtzeko

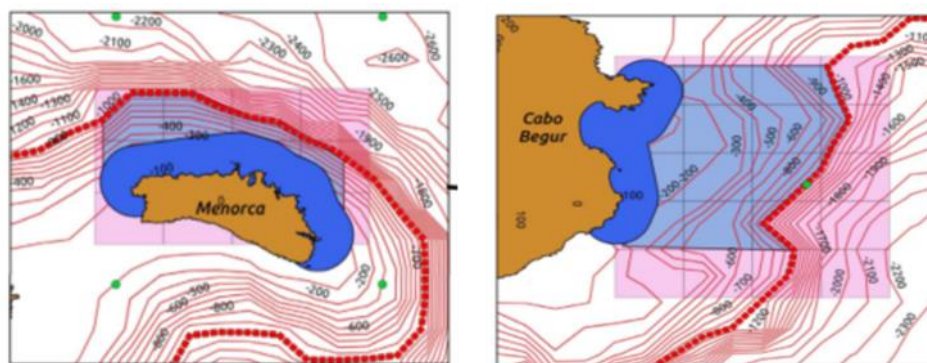


Irudia 1-29. Erabilitako buien kokapen eta azterketa eremua [37].

Artikulu honetan, offshore ahalmen eolikoa Iberiar Penintsulako kosta mediterraneoaren eta Balear Uharten inguruan neurtzen da, WRF-ren eredu meteorologikoa 3DVAR (N simulazioa) datuak asimilatu gabe eta 3DVAR (D simulazioa) datuen asimilazioarekin erabiliz. Bi simulazioak sei buiaren behaketen eta sateliteetako datuetan oinarritutako haizearen analisi espazial banatuaren kontra (Cross-Calibrated Multi-Platform bigarren bertsioa, CCMPv2) berrikusi dira, ERA-Interim-ekin (ERA-I) alderatuta. Hiru adierazle estatistiko erabili dira: Pearsonen korrelazioa, erroaren erdiko errore karratua eta desbiderapen estandarren erlazioa.

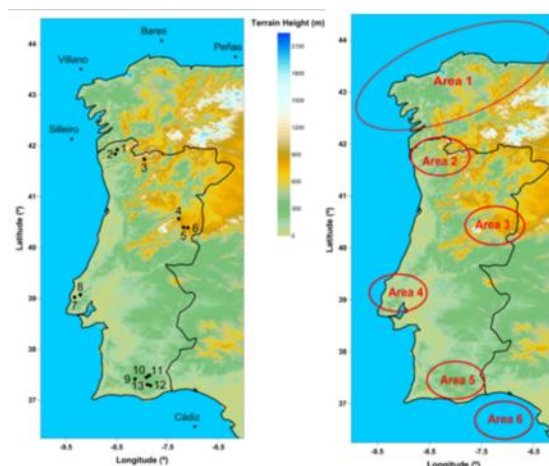
Datuak asimilatuz egindako simulazioak doitzeko onena ematen du, eta ERA-I bezain ona da, askotan % 95eko konfiantza-mailan. ERA-I eredu onena den arren, espazioari dagokionez banatutako ebaluazioan versus CCMPv2 simulazioan, D simulazioak ERA-I baino adierazle sendoagoak ditu buietatik hurbil. Gainera, simulazioaren bereizmen espaziala ERA-I baino bost aldiz handiagoa da.

Azkenik, potentzial eolikoaren zenbatespenari dagokionez, urteko eta urtaroko ahalmen-faktorearen mapak irudikatu ditugu azterketa-eremuan, eta emaitzek potentzial handiko bi eremu identifikatu dituzte Menorcaren iparraldean eta Begur lurmuturrean, non potentzial eolikoa hiru turbina altuera desberdinetan zenbatetsi baitira, simulazioaren eta datu-asimilazioaren arabera [37].



Irudia 1-30. Azterketa eremuko potentzial handien duten puntuen adierazpena [37].

1.7.3 Haizea simulatzeko eta energia eolikoa ekoizteko WRF ereduaren sentikortasuna dela eta, planetaren muga-geruzaren parametrizazioak kalkulatu dira Iberiar Penintsulako onshore eta offshore eremuetarako



Irudia 1-31. Ezkerrean, onshore eta offshore kokapenak. Eskuinean, azterketaren eremuak [38].

Lan honen helburua haizea simulatzeko eta energia eolikoa sortzeko eredu (WRF) ebaluatzea da, eta planetaren muga-geruzaren parametrizazio-eskemekiko sentikortasuna zenbatestea. WRF-aren bost simulazio egin ziren, planetaren muga-geruzaren (PBL) eta gainazal-geruzaren (SL) parametrizazio-sistemen multzoak kontuan hartuta, eta horien emaitzak bost offshore buietan eta Iberiar Penintsulan kokatutako haizea neurtzeko hamahiru estaziotan jasotako haize-datuekin alderatuta. Helburua da zehaztea eredu-konfigurazio horietatik zeinek sortzen dituen haize-simulazioak eta energia eolikoaren ekoizpenak, neurtutako haize-datuetatik hurbilago dauden zenbatespenak eta neurketetatik lortutako energia eolikoaren ekoizpen-kalkuluak. Helburua da haize-energia ebaluatzeko jarraibideak ematea, neurtutako haize-datuak eskuragarri ez dauden eta zenbakizko modulazioa beharrezkoa den eremuetan oinarrituta. Iberiar Penintsula da lan honen ardatza. Eremu horretan haize-energia asko sartzen da, aldeko baldintza eolikoak baititu. Kostalde handiarekin batera, etorkizun handiko eremua da, etorkizunean itsasoko parke eolikoak jartzeko.

Lan honetan aurkeztutako emaitzek erakusten dutenez, haize-abiadurari eta norabide-simulazioaren zehaztasunari dagokienez simulazioen artean alde handirik ikusten ez den arren, energia eolikoaren ekoizpenari dagokionez, diferentziak ez dira hutsaren hurrengoak, energia eolikoaren ekoizpenak sentikortasun handia baitu haizearen simulazio-zehaztasunarekin. ACM2-PX eskemek osatutako PBL-SL parametrizazio-multzoak ditu behatutako haize-datuekin alderatuta akatsik txikiak, onshore eta offshore gune guztiak batera hartzen baititu. PBL ACM2 eskemak tokiko eta tokikoak ez diren itxitura-eskemen ezaugarriak konbinatzen ditu, eta PX LSM eskemak azaleko meteorologiaren parametrizazio hobea ematen du, eta hori garrantzitsua izan zen ereduaren errendimenduan. Hala ere, offshore guneetarako, PBL-SL QNSE-QNSE parametrizazioek energia eolikoaren ekoizpenaren kalkulu onenak eman zituzten.

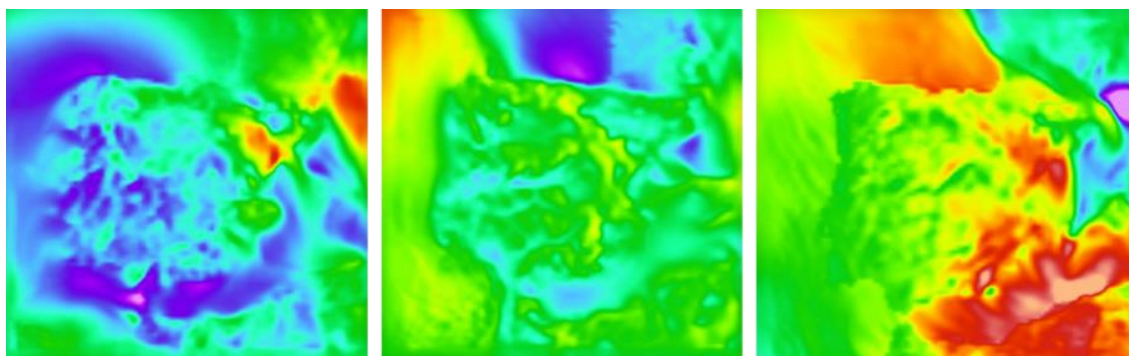
PBL eta SL eskema bakoitzak inguruko baldintza sinoptikoekin eta atmosferaren egonkortasunarekin duen mendekotasun estua dela eta, espero da eskema horiek emaitza desberdinak izatea zenbait eremu geografikotan eta/edo denboralditan. Hala ere, azterketa horretan simulazio-urte oso bat sartzen bada nabarmen zabala den eremu geografiko baterako, urteko ziklo batean izan ohi diren baldintza sinoptikoak barne,

konfiantzazko oinarri sendo bat lortzen da, lan horretatik ateratako ondorioak bestealdi eta/edo eremu geografiko batzuetan aplikatu daitezkeelako [38].

1.7.4 WRF ereduaren erabilera proiektu honetan

Azterketa honen emaitzak lortzeko, WRF ereduarekin ere simulazioak egin dira.

Proiektuaren "bideoak" karpetan, eredu horrekin egindako simulazio batzuk ikus daitezke. Simulazio horietan, modu kualitatiboan ikus daitezke haizearen portaera 2018-ko abenduko muturreko gertaeretan. Hona hemen bideo horren argazkiak (irudia 1-32).



Irudia 1-32. Iberiar penintsulako WRF-aren simulazioen bidez sorturiko bideoaren argazkiak.

Bideo honetan, Iberiar Penintsulari buruzko hilabete bateko haizearen simulazioa erakusten da. Haizearen hegoaldeko osagaia izan da nagusia, hilaren azken egunetan izan ezik, horietan bereziki, fluxu kontinentalak eman dira. Hileko bigarren herena haizetsuena izan da, oso bolada biziak egunero. Horietako hirutan 100 km/h-ko muga gainditzen da. Zehazki, 13, 16 eta 18an, antzeko egoera sinoptikoaren menpean, Penintsula mendebaldetik gurutzatzen duen ibar atlantikoa. Azken egun horretan utzi ditu boladarik altuenak, batez ere Bizkaiko eremu agerikoetan (Matxitxako 144 km/h, Arboleda 118.1 km/h, Cerroja 114.1 km/h, Oiz 112.3 km/h, Urduña 105,5 km/h, La Garbea 100.1 km/h) eta horren haizetsuak ez diren beste zonalde batzuetan ere bai (Gargardu-81,4 km/h Zizurkil 80.6 km/h).

Egokiena Euskal Herrian eta denbora luzeagoan erakustea litzateke, baina horretarako oso ekipo indartsuak beharko liriateke. Konputazionalki, azterketa egiteko erabiltzen diren ordenagailuek ez dute onartzen. Gainera, ez du logikarik WRF eredu mikroskalan egiteko. Sateliteen eta estazio meteorologikoen behaketak kalitate azterlana egiteko nahikoak izan daitezten, mesoeskalan egin behar da, gutxienez penintsulan.

Horregatik, beste tresna batzuk ere erabili dira, hurrengo ataletan azalduko den bezala.

1.8 ERA5

ERA5 ECMWF-ren (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) biranalisi atmosferikorako tresna ahaltsua da, 1979tik datuekin lan egiten duena eta denbora errealean eguneratzen dena. Tresna horrek eskala globaleko simulazioak egiten ditu, hau da, planeta osoak, eta sateliteen, estazio meteorologikoen eta buien behaketen datuak integratzen ditu.

ERA5 datu-multzoaren lehen segmentua erabilera publikorako dago orain (1979tik 3 hilabete barru arte). ECMWF-ren web orritik deskarga daitezkeen lehen datuak urte horretakoak izan arren, lehen sateliteak 1950eko hamarkadan hasi ziren datuak igortzen. ERA5-aren ondorengo jaurtiketek aurreko hamarkada horiek beteko dituzte. Espero da ERA5-aren 1950etik gaur egun arteko datu-multzo guztia erabilgarri egotea etorkizun hurbilean erabiltzeko.

ERA5-ek aldagai klimatiko, lurrezko eta ozeaniko askoren orduko zenbatespenak ematen ditu. Horretarako, 137 maila bertikal erabiltzen dira, lurrazaletik 80 km-raino. Gainera, behaketa historiko asko konbinatzen ditu kalkulu globaletan, modelatzeko eta datuak asimilatzeke sistema aurreratuek erabiliz.

Klima globalaren biranalisiak baliabide kritikoak ematen ditu klima-aldaketarekin lotutako prozesuak ulertu eta monitorizatzeko eta etorkizuneko klima-aldaketako egoera hipotetikoak konfiguratzeko. Biranalisiak iraganeko eta oraingo behaketa meteorologikoei buruzko informazioa eta aurreikuspen-eredu modernoak konbinatzen ditu, jatorriz zenbakizko iragarpen klimatikoetarako garatutako datuak asimilatzeke teknikak erabiliz. Tresna horrek klima berriaren zenbakizko deskribapen berri bat aurkezten du, eta parametro atmosferikoen zenbatespenak ditu, hala nola airearen tenperatura, haizearen presioa eta abiadura hainbat altueratan, eta azalera-parametroak, hala nola euri-kantitatea, lurzoruaen hezetasuna eta ozeano-olatuen altuera.

ERA5 da dagoeneko ECMWF-ren biranalisi atmosferikoaren bosgarren belaunaldia. ECMWF-ko klimaren biranalisiak 1980ko hamarkadan sortutako FGGE-ekin hasi ziren, eta ERA-15, ERA-40 eta, berrikiago, ERA-Interim jarraitu zuten. ERA5 orain azken azterketa horren orde jarri da. Aurreko bertsioarekin alderatuta, hauek dira aldaketarik garrantzitsuenak eta onenak:

- Espazioaren eta denboraren bereizmena asko hobetu da (75 km-tik 30 km-ra).
- Aldagai atmosferikoen ordu-estimazioak.
- Satelite bidezko behaketa gehiago.
- Sartutako ohar guztietarako sarbidea.

ERA-Interim-etik ERA5-rako trantsizioan, beste urrats garrantzitsu bat da bi hilabeteko datu-multzoa izatea. Horri esker, erabiltzaileek beren sistemak egokitu ditzakete ERA-Interim ordezkatzeko. Aldaketa hori mugarri garrantzitsua da, azken 40 urteetako datuekin lan egiteko aukera ematen baitie erabiltzaileei.

ERA5 datu-produktu guztiak sarbide eta deskarga librekoak dira, eta parametro bakoitzari buruzko informazioa dute orduero eta 31 kilometroko bereizmen horizontal batean. Datu horiek ECMWF, MARS (Meteorological Archival and Retrieval System) erakundearen datu meteorologikoen artxibo nagusiaren biltegian daude. Produktuaren parte gisa ere parametro berri asko dituzte, hala nola haizearen 100 metroko osagaiak, eta hori oso baliagarria da horrelako proiektu eta azterlanetarako [39].

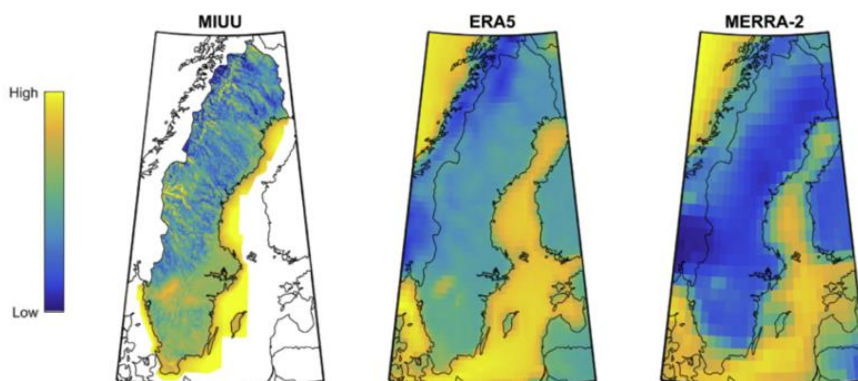
1.8.1 ERA5 energia eolikoan

Biranalisi meteorologikoen emaitzak asko erabiltzen dira bai mundu akademikoan bai industrian, energia eolikia modelatzeko. Duela gutxi, ERA5-aren biranalisi berriaren lehen pack-a atera zen. Dokumentu honen helburu nagusia da ERA5 eta MERRA-2 sistemen errendimendua konparatzea (gaur egun maiz erabiltzen den beste azterketa bat) modelatzeari dagokionez, bost herrialdetako haize-sorkuntzari buruzko datuak lortuz eta Suedian banakako mila aerosorgailu baino gehiago sortuz. Energia eoliko modelatuaren sorkuntza neurketa errealekin alderatu zen.

Beraz, ERA5-k MERRA-2 baino emaitza hobekak erakusten ditu aztertutako alderdi guztietan: korrelazioak altuagoak dira, batezbesteko absolutua eta batez besteko erro koadratikoa %20 inguru baxuagoak dira, eta datuen banaketa orduko eta datuen aldaketak neurketa errealean antzekoak dira. Halaber, epe luzeko zuzenketarekin lotutako ziurgabetasuna (beste 1-5 urteetan energiaren ekoizpena auresateko, urtebeteko neurketak eta biranalisi-datuak erabiliz) %20 txikiagoa da ERA5-rako.

Izan ere, urtebeteko lagin-datuak eta ERA5 erabiliz gero, balioespen zehatzagoak egiten dira bi urteko lagin-datuak eta MERRA-2 baino. Gainera, beste metrika bat proposatzen da, sistemaren tamaina eta parke eolikoaren sakabanaketa kuantifikatzeko.

Laburbilduz, Jon Olauson zientzialari suediarrek erakutsi du ERA5 azterketa meteorologikoa egiteko tresna fidagarriena dela, eta energia eolikoaren modelizazioaren txapeldun berria dela [40].



Irudia 1-33. Modelo meteorologikoen arteko konparaketa, ERA5 erdian [40].

1.9 IRENA

Energia Berriztagarrien Nazioarteko Agentzia (IRENA) gobernuarteko erakunde bat da, herrialdeei etorkizun energetiko jasangarrirako trantsizioan laguntzen diena, eta nazioarteko lankidetzarako plataforma nagusia, bikaintasun-zentroa eta energia berriztagarriei buruzko politika, teknologia, baliabide eta finantza-ezagutzen gordetegia da. IRENA-k energia berriztagarri mota guztiak modu orokorrean hartzea eta modu iraunkorrean erabiltzea sustatzen du, besteak beste, bioenergia, geotermia, hidroenergia, ozeanoa, eguzki- eta haize-energia garapen jasangarria, energiarako sarbidea, energia-segurtasuna eta hazkunde ekonomikoa eta karbono gutxiko oparotasuna lortzeko.

Mundu osoko herrialdeek aginduta, IRENA-k energia berriztagarrietan inbertitzeko politika gaitzaileak hartzera bultzatzen ditu gobernuak, energia berriztagarrien hedapena bizkortzeko tresna praktikoak eta aholkularitza politikoa ematen ditu, eta jakintza eta teknologia-transferentzia trukatzeko errazten du, munduko biztanleriari energia garbi eta jasangarria emateko.

Helburu horien ildotik, IRENA-k produktu- eta zerbitzu-sorta zabala eskaintzen du, hauek barne:

- Energia berriztagarrien erabileraren urteko berrikuspenak.
- Energia berriztagarriaren ahalmenaren estatistikak.
- Energia berriztagarriaren kostuaren azterketa.
- Energia berriztagarrien erabilgarritasunari buruzko ebaluazioak, eskualdeetako gobernu eta erakundeekin lankidetzan eginak, herrialde bakoitzean energia berriztagarrien garapena bultzatzeko.
- Atlas Globala, baliabideen potentziala iturriaren eta kokalekuaren arabera mapatzen duena.
- Energia berriztagarrien onurei buruzko azterlanak.
- REmap, 2030erako mundu osoan energia berriztagarrien erabilera bikoizteko ibilbide-orria.
- Energia berriztagarriaren teknologiari buruzko txostenak.
- Energia berriztagarrien eskualdeko plangintza erraztea.
- Energia berriztagarriko proiektuak garatzeko tresnak, hala nola Project Navigator, Energia Jasangarriaren Merkatua eta IRENA/ADFD proiektua.

180 herrialde baino gehiago daude aktiboki konprometituta, eta IRENA-k baliabide eta teknologia berriztagarriak sustatzen ditu, hala nola, etorkizun jasangarrirako giltzarria, eta energia berriztagarriaren potentziala lortzen laguntzen die herrialdeei [41].

1.9.1 Atlas globala

Energia Berriztagarrien Atlas Globala web-plataforma bat da, eta, horri esker, erabiltzaileek energia berriztagarrien baliabideen mapak aurki ditzakete mundu osoan.

IRENA-k koordinatzen duen ekimen honen helburua da beren herrialdeetan energia berriztagarriak zabaltzeko aukerak eta elementu horiek ez dituzten herrialdeak ebaluatzeko behar diren datuak eta ezagutzak dituzten herrialdeen arteko tartea ixtea.

Proiektu honetan bi mapa erabiliko dira, haizearen abiaduraren datuena eta biztanleriaren datuena. Horiek biak, DTU (Danimarkako Unibertsitate Teknikoak) garaturiko haizearen atlas globalean ematen dira.

Atlasak bereizmen handiko klimatologia eolikoa eskaintzen du, gainazaletik 50, 100, 200 m-ko altueran, mundu osoan (onshore eta 30 km offshore). Geruza horiek mikroeskalen modelatua erabiliz ekoitzi dira "Wind Atlas Analysis and Application Program"-en (WAsP) eta aire-abiaduren eskala txikiko aldakortasun espaziala atzematen du, bereizmen handiko orografiaren (lurraren goratzea), azaleko zimurtasunaren eta azaleko zimurtasunaren aldaketaren ondorioz. IRENA-ren Atlas Globalaren bidez partekatutako geruzek 1 km-ko bereizmen espaziala dute. Atlas osoak 250 m-ko bereizmen espaziala duten datuak ditu, eta IRENA-ren Atlas Globaleko tresna batzuk datu horietara sartzen dira estatistika agregatuetarako [42] [43].

1.10 ONDORIOAK: MODELOEN ARTEKO KONPARAKETA

WRF ereduaren bidez lortutako emaitza garrantzitsuenetako batzuek frogatzen dute aplikazio batzuetan potentzial eolikoaren gainestimazio handia dagoela eremu horri buruzko datuak lortzeko; esaterako, IDEA edo IRENA-ren atlas globalak. Azken hori ere proiektu honetan erabiltzen da, emaitzetan ikusiko den bezala.

Ikusi ahal izan denez, WRF oso eredu erabilia da gaur egun potentzial eolikoari buruzko azterketa garrantzitsuak egiteko. Hala ere, azterlan eta ikerketa horietako gehienak itsasoan, basamortuetan edo lurlean zimurtasun gutxiko lekuetan egiten dira. Aldiz, konplexuagoa eta zehatzagoa izan daiteke eremu menditsuetan, hala nola proiektu honen azterketan.

ERA5 berrazterketa haize-datuak eta emaitza batzuk lortzeko erabili da proiektu honetan. Atmosferaren geruzetan fluxu termiko bertikalak kontuan hartzen dituen tresna bakarra da. Hori oso erabilgarria da, mendietan 200 metroko altueratik gora gertatzen baita urperatze termikoaren fenomenoak. Lurzoru mota horretan, gainera, bero-fluxu bertikalak ere izaten dira, atmosfera hozten duten aintziren eraginez, esaterako, eta urperatze termiko nabarmena eragiten dute.

Faktore horiek garrantzitsuak dira datuak lortzeko orduan, alde handiak egon baitaitezke. Adibidez, fluxu termiko horiek gertatzen badira, haizearen abiadura ez da hainbeste handitzen faktore horiek kontuan hartu gabe, eta horrek desberdintasun handiak ekar ditzake potentzia edo energia kalkulatzeko orduan. ERA5 berrazterketaren desabantaila bakarra da 31 km-ko bereizmena baino ez duela, eta beste tresna batzuek, berriz, 1 km-rainoko bereizmenak dituzte, hala nola IRENA-ko Global Atlas. Izan ere, planeta osorako ordenagailu bidez ERA5 egiteko gai dena, gaur egungo teknologiarekin ezingo litzateke egin hain bereizmen txikia lortzeko.

Azpimarratu behar da, halaber, ERA5 biranalisiak emaitza bikainak ematen dituela itsasoan, ia zimurtasunik ez baitago, eta termorregulazioak eta fluxu termiko bertikalek zeregin garrantzitsua baitute. Horregatik, offshore energia eolikoari buruzko azterketa garrantzitsuetarako ere asko erabiltzen da tresna hori.

IRENA-ko Global Atlas 1 km-ko bereizmena erakusteko gai da, baina, aldiz, CFD (Computational Fluid Dynamics) irizpideak baino ez ditu kontuan hartzen, eta, beraz, baliteke haren haize-abiaduraren emaitzak potentzial hori baino handiagoa izatea.

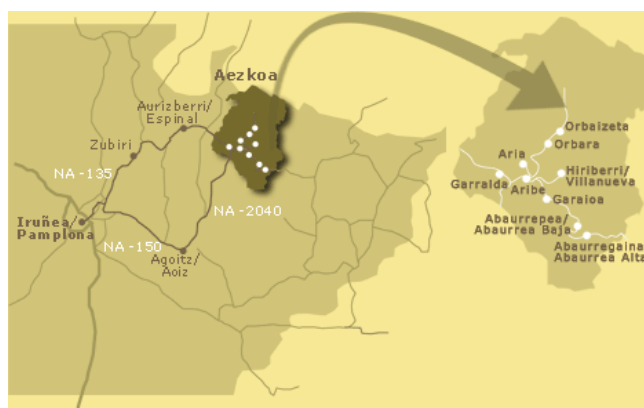
Laburbilduz, eredu edo tresna bakoitzak bere abantailak eta eragozpenak ditu. Horregatik, proiektu honetan hirurak erabili dira (WRF, ERA5 eta IRENA), bakoitzaren ezaugarri onenak erabiliz, ahalik eta emaitza errealistenak lortzeko.

2 METODOLOGIA

2.1 AZTERLANAREN EREMUA

2.1.1 Aezkoa bailara

Aezkoa bailara Zangozako Merindadeko Pirinioetako bailara da, Abaurregaina, Abaurrepea, Aria, Aribe, Garaioa, Garralda, Orbaitzeta, Orbara eta Hiriberriko udalek osatua. Muga hauek ditu: iparraldean, Frantzia; ekialdean, Zaraitzu ibarra (Otsagabia eta Jaurrieta udalerriak); hegoaldean, Urraulgoiti ibarra; eta mendebaldean, Artzibar (Orotz-Betelu barne), Burgete eta Orreaga.



Irudia 2-1. Aezkoako kokapena eta udalerrien mapa [44].

Udalerriak udal independenteak dira 1845-az geroztik, baina Ibarreko Batzordea dago oraindik. Batzorde hori bederatzi herrietako alkateek osatzen dute eta komunitatearen interesak zaintzeaz arduratzen da, bereziki Aezkoa Mendia. Aezkoako guztiek dute horretarako eskubidea [45]. Hurrengo taulan (taula 2-1) agertzen da udalerrri bakoitzari buruzko informazioa:

Udalerrria	Biztanleria	Azalera [km ²]	Altitudea [m]	Basoa [ha]
Abaurregaina	164	21,36	1040	Pagoa: 891 Haritza: 29
Abaurrepea	49	10,89	871	Pagoa: 270 Haritza: 197
Aria	70	8,32	859	Pagoa: 266 Haritza: 156
Aribe	62	4,04	701	Pagoa: 93 Haritza: 132
Garaioa	127	21,26	777	Pagoa: 1063 Haritza: 219
Garralda	200	21,51	848	Pagoa: 1126 Haritza: 198
Orbaitzeta	239	81,72	765	Pagoa: 4841 Haritza: 162
Orbara	59	8,99	770	Pagoa: 175 Haritza: 266
Hiriberri	145	21,64	930	Pagoa: 814 Haritza: 193

Taula 2-1. Aezkoa bailarako udalerrrien informazioa.



Irudia 2-2. Aezkoako mapa [46].

2.1.1.1 Klima

Klimari dagokionez, mendiko klima subatlantikoa da; nequak luzeak dira, udak laburrak eta prezipitazio ugariak. Urteko batez besteko balio adierazgarrienak, altitudearen eta orientazioaren arabera, 6 eta 12 °C bitarteko tenperatura eta 1200-2000 mm prezipitazio bitartekoak dira, 120-140 egunean eroriak; hilabete bakarra ere ez da lehorra [45].

2.1.1.2 Basoa

Basoak lurraldearen %60 hartzen du: % 70 pagoak dira, 9662 ha, gehienak Iratin. XVII. mendeaz geroztik ustiapen intentsiboa egin zaio. Aezkoan almadiak XVIII. mendean hasi ziren, eta benetako garapena XX. mendean izan zuen, Irati izeneko enpresaren bitartez.

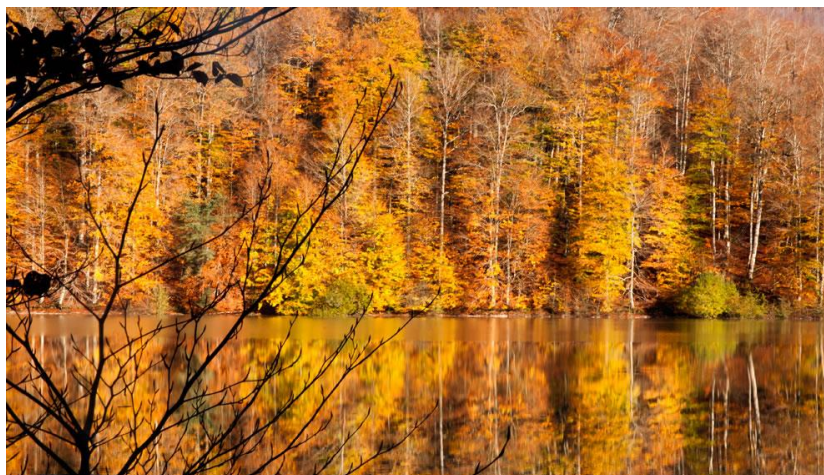
Basoaren % 15 hariztia da: Orbara, Hiriberri, Garaioa eta Garralda hartzen ditu. Haritz kandugabe espeziekoa da, Europako garrantzitsuenetakoa.

Sektore honek duen garrantziaren berri emateko, datu bat baino ez dago: gaur egun Aezkoa Ibarreko Batzarrak lortzen duen diru-kopuruaren % 60 enkantean jarritako egurretik lortzen du.

Baso asko daude oraindik, nahiz eta neurritz kanpo ustiatu diren. Pagoek eta haritzek estaliko lukete, berezko egoeran, bailararen zatirik handiena; Abaurretan bakarrik agertzen da pinu gorria (*Pinus Sylvestris*), Zaraitzu eta Erronkarikoa baino bereziagoa. Haraneko iparraldean eta hegoaldean mendietan pagadi garrantzitsuak daude, hariztiak (*Quercus petraea*) Garralda, Aria eta Aribeko behealdean [45].

- **Irati Basoa:** europa mailan dauden Pago eta Izei baso handienetakoa da. 17.000 hektarea hartzen ditu Aezkoa eta Zaraitzu iparraldean, eta tradizioz oso preziatua izan da edertasunagatik eta egurrezko erreserbengatik.

Hainbat hegaztiren habitata da, hala nola, errege-erreginen zerrendatuak eta bakunak, pintzoiak, txitxarroak, etab.; eta beste espezie batzuk, hala nola azeriak, basurdeak, orkatzak eta oreinak. Azken horiei udazkenean entzuten zaie, berrearen garaian.



Irudia 2-3. Irati basoaren argazkia [46].

Iratiko oihanean hiru gune babestu daude: Mendilatz eta Tristuibartea erreserba naturalak eta Lizardoiako erreserba integrala. Azken hori da interes ekologikorik handiena duen alderdia, pagadi eta izeien baso birjinak baititu eta animalia-espezie ugari biltzen baititu.

Iratiko ipar-mendebaldeko mugan Urkuluko dorre erromatarra dago. I. mendean eraiki zuten, Galia eta Hispania Erromatar Inperioan sartu zirela ospatzeko. Haren ondoan dago Azpegiko estazio megalitikoak [47].



Irudia 2-4. Irati basoaren mapa turistikoa. [48]

2.1.1.3 Sozio-ekonomia

Ohiko bizimodua, nekazaritzan eta abeltzaintzan oinarritua, eta natur turismoaren indar berriak, ingurumenarekin uztartuak. Bi errealitate ezberdin sinbiosian. Aezkoa bere hil edo biziko orekaren bila dabil, bere ekonomian, bere baitan, iragana eta orainaren artean, tradizioa eta aldaketan artean. Mila pertsona eskasek osatzen dute etorkizuna itxaropenaz lortu nahi duen lur honen hazia.

- **Faxeriak:** lurraldearen zati batean garatzen diren irudi juridikoak dira. Lurralde horretan, agintarien erabaki bateratuz, bi herri edo gehiagoko biztanleek ondasunen bat elkarrekin partekatzeko konpromisoa dago.

- **Aezkoa-Garazi Faxeria edo Partzuergoa:** Aezkoak mugakide duen Nafarroa Behereko Garazirekiko Partzuergoa 1556-58an adostu zuten idatziz; Nafarroako antzinakoenetako bat da. Arazo handiegirik gabe eutsi zioten partzuergoari, harik eta Garaziren garapen sozioekonomikoak partzuergoaren gaineko presioa areagotu zuen arte. Etapa zail hori 1715 eta 1833 bitartekoa izan zen; Lehenengo Karlistaldiaren ondoren konpondu zen arazoa, aetzen aldeko konpentsazio ekonomiko baten bitartez.

2.1.1.4 Demografia

Aezkoako populazioa aski zaharkitua da. Erroldaren arabera 1200 lagun bizi dira Aezkoan, nahiz eta ohiko bizilagunak 800 inguru diren. Banaketa desberdina da bederatzi herrien artean. 50eko hamarkadan hasitako emigrazioak bizkortu egin zuen herrien hustuketa. Prozesu horrek, gaur egun, oraindik ere, bere horretan dirau, arinagoa izan arren, jaiotze-eta hiltze-tasaren arteko desoreka tarteko. Hurrengoak dira Aezkoako demografiaren ezaugarriak:

- Zahartutako biztanleria. Hazkunde begetatibo negatiboa.
- Erretiratuen kopuru altuaren ondorioz dagoen biztanleria ez aktiboa.
- Espazio banaketa desberdina. Orbaitzeta, Garralda, Abaurregaina, Hiriberri eta Garaioa dira herririk handienak, eta Aria, Arike, Abaurrepea eta Orbara txikiagoak.

2.1.1.5 Turismoa

Ibarrak duen jarduerarik garrantzitsuenetako bat turismoa da. Aezkoan – xarmez beteriko eskualdea – turismoa gorantz doan sektore da. Familia askori diru-sarrera osagarria dakarkie.

Zerbitzuen sektoreak izan du, azken urteotan, gorakadarik nabarmenena, batez ere turismoari dagokionez. Egoera horrek zuzeneko eta zeharkako lanpostuak sortzea ahalbidetu du, zeinek bertan bizitzen geratu nahi dutenentzat lan aukera ekarri baitute.

2.1.1.6 Nekazaritza

Nekazaritzak garrantzi txikia du Aezkoan. Abeltzaintzaren osagarria da, eta labore nagusienak honako hauek dira: zerealak, belardiak eta patatak, eta etxeko baratzeak. Uzta motzeko lurraldea: garia, oloa, baba... Iragan den mendearen erdialdera arte ez zen Aezkoan ekoizpen handirik izan. Ereiteko patata ekoizpenean, Nafarroako lurralderik espezializatuena da; maila horretara iristeko, 1951n OPPOSA sortu izana funtsezkoa izan zen. 1982an OPPOSA-n 235 nekazarik egien zuten lan. 1999an 49k baino ez. Patatak aberastasuna ekarri zuen, baita hutsune ekonomikoa ere patataren merkatuak behera egin zuenean.



Irudia 2-5. Nekazaritza Aezkoa bailaran [46].

2.1.1.7 Energia

Aezkoan sortzen den energia-iturririk garrantzitsuena zentral hidroelektrikoek sortzen dute.



Irudia 2-6. Irabiako zentral hidroelektrikoa [49].

Ura energia hidroelektrikoa lortzeko erabiltzen da; presan bertan dagoen zentral baten bitartez sortzen dute energia, 1207 KW-eko potentzia; urteko 6000 MW-eko produkzioa.

1912 hasi ziren Irabiako urtegia eraikitzen, Iratiko basoaren erdian. Presak 12 m-ko altuera baino ez zeukan, eta elektrizitatea sortzeko eta enborrak garraiatzeko behar zen ur-kopurua askatzeko prestatuta zegoen.

Gaur egun presak 44 m-ko altuera du, eta presaren gailurraren luzera, aldetik aldera, 158 m-koa da. Gainezkabideak 387 m³/seg-ko hustuketa-gaitasuna du. Urtegiak 128 hektarea hartzen ditu, eta 14 hektometro kubiko biltzen ditu. Iratik urtean dakarren emariaren % 23 arautzen du Ariben.

Orbarako zentrala: Orbarako Betolegin dagoen zentral hidroelektrikoa 40-ko hamarkadaren bukaera aldean inauguratu zuten. Ekoizpen hidroelektrikoari dagokionez, Nafarroako hirugarrena izan zen. Gaur egun sektorearen hamaikagarrena da.

Garaioako errota: Garaioan, 1948. urtera arte, errota-zentral elektrikoa egon zen. Ciriaco Moreak eraiki zuen 1913an. Gaur egun herriaren kanpoaldean ikus daiteke, makineria, presa eta guzti [46].

2.2 BALIABIDE EOLIKOAREN AZTERKETA

Aezkoa bailararen potentzialaren azterketari ekin aurretik, garrantzitsua da faktore batzuk ezagutzea eta faktore horiek parke eoliko baten eraginkortasunean nola eragin dezaketen jakitea.

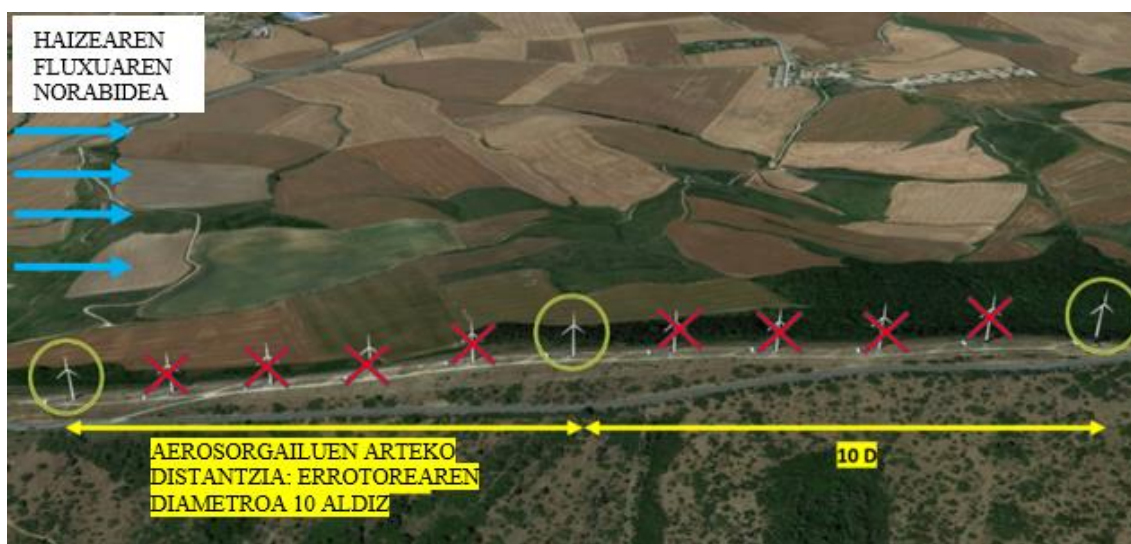
Parke eoliko baten errendimendua estuki lotuta dago aerosorgailuak eskuragarri dagoen lurraldean duten kokapenarekin; izan ere, puntu batzuen eta besteen arteko abiadura-aldeak eta estela-efektuak eragindako turbulenzien ondoriozko galerak erabakigarriak izan daitezke. Aerosorgailuen arteko distantzia haien artean sor daitekeen itzal eolikoaren arabera aukeratzen da, eta hori haizearen norabidearen eta mendikateak haize horren fluxuarekiko duen orientazioaren arabera da.

Haizea, itxuraz, erregularik gabe dabilen fluido da, baina fisikako lege batzuei jarraitzen die, fluidoaren dinamikakoei, hain zuzen. Haran estuetan, teorikoki, haizeak ahulagoak dira haran zabalagoetan baino, haizeak marruskadura eragiten baitu, baina hori ez da beti

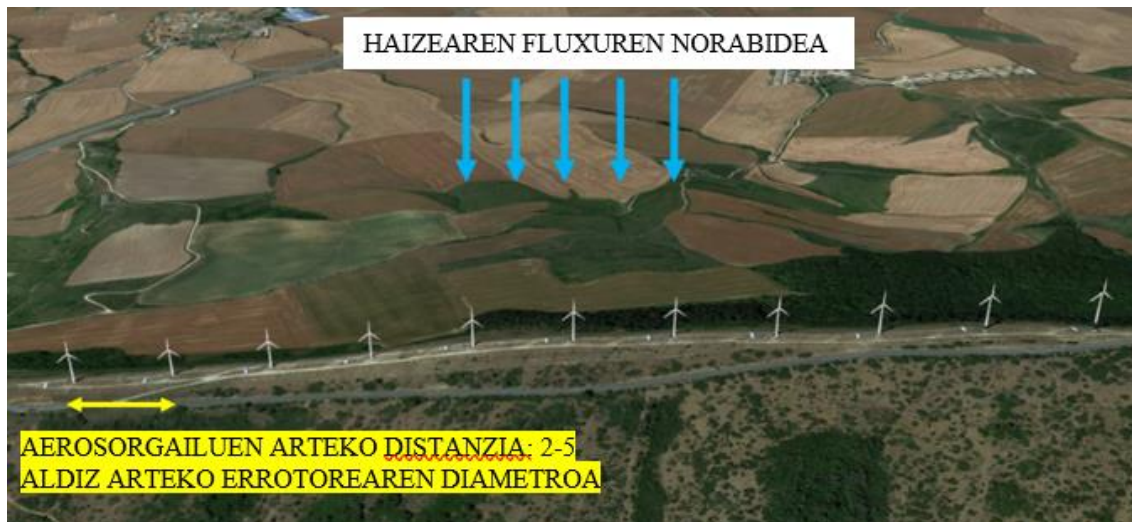
horrela gertatzen. Bernoulliren eraginez, haizeak azelerazioa jasaten du leku horietan. Hori dela eta, parke eolika haran baten barruan jarriko balitz, komenigarria litzateke aerosorgailuak haize-fluxuarekiko lerro paraleloan jartzea, nahiz eta aukera txarra izango litzatekeen luraren okupazioaren ikuspegitik. Hala ere, horrek garrantzia hartzen du minieolika eraikinetan integratzeko aplikazioetan, ez baitago espazioaren okupazio- eta aprobetxamendu -arazorik.

Nolanahi ere, proiektu honetan mendikate edo zerra txikietan soilik egingo dira potentzial-azterketak; beraz, hurrengo paragrafoetan azaltzen diren kasuak bakarrik hartuko dira kontuan.

Lehenik eta behin, mendikatea haize-fluxu nagusiarekiko paralelo badago, turbulenzien arrastoa gainditzeko, tarte handi samarra utzi beharko da aerosorgailuen artean. Errotorearen diametroa halako hamar izatea gomendatzen da. Kasu honetan bezala, aukeratutako turbinaren errotoreak 126 m-ko diametroa duenez, gutxienez 1260 metroko distantzia utzi beharko litzateke aerosorgailuen artean; beraz, 5 km-ko luzera duen gailur batean, 4 aerosorgailu bakarrik jar litezke, egoerarik onenean.



Hala ere, kasurik onena gertatzen da haize-sorgailua edo instalatutako aerosorgailuen linea bertan nagusi den haize-fluxuarekiko perpendikularra denean. Hala, ez da beharrezkoa izango aerosorgailuen artean distantzia hain handia uztea, aerosorgailuek sor ditzaketen turbulentziak saihesteko. Kasu horretan, turbinaren errotorearen distantzia halako 2-5 izatea komeni da. NREL 5 MW turbinaren errotorea 126 metroko diametrokoa denez, 252 eta 630 metroko tarte utzi beharko litzateke aerosorgailuen artean. Hala, turbina gehiago jar litezke, erabilgarri dagoen espazioa ahalik eta gehien aprobetxatuz, hurrengo irudian adierazten den bezala.



Irudia 2-8. Parkearekiko haizearen fluxu perpendikularrekin utzi beharreko aerosorgailuen arteko distantzia.

Kontuan hartu beharreko beste faktore bat lurraren zimurtasuna da. Gainazal baten zimurtasuna haren elementuen tamainaren eta banaketaren araberakoa da. Kasu honetan, zimurtasuna inguruko landarediak emango du nagusiki. Zimurtasun-longitueda (Z_0) izeneko parametroaren bidez ebaluatzen da, eta horrek adierazten du haizearen batez besteko abiadura zero den altuera.

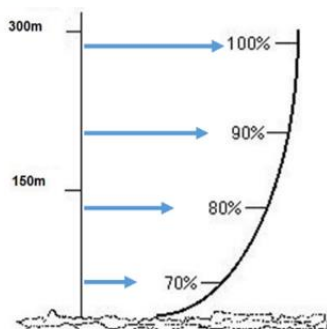
Hurrengo irudian (irudia 2-9) zimurtasun-balioak ageri dira, gainazal-motaren arabera.



Irudia 2-9. Zimurtasunaren balioak lurrazalaren ezaugarrien arabera.

Azterlan honetako kasu gehienetan, zimurtasuna 0.03 (eraikuntzarik eta zuhaitzik gabeko eremua) eta 0.20 (zuhaitz ugari) artekoa izango da.

Alde horretatik, zimurtasunaz gain, beste faktore batzuek ere eragiten dute. Aire-fluxuak Lurraren gainazalarekin duen marruskaduraren ondorioz, haizearen profil bertikala ez da konstantea, marruskaduragatik deformatzen da eta altuerarekin handitzen da, hurrengo irudian ikus daitekeen bezala. Horregatik, mendien goialdean eraginkorragoak dira dorre altuagoak dituzten turbinak.



Irudia 2-10. Haizearen profil bertikala.

Bestalde, oztopo batek lurzoruan eragiten duen efektuak, hala nola muino batek edo goragune batek, azelerazioa eragin dezake, baldin eta oztopo horrek forma edo malda leuna badu, edo abiadura murriztu dezake gailurra edo oztopo akutua bada. Desberdintasun horiek irudi honetan ere ageri dira grafikoki.

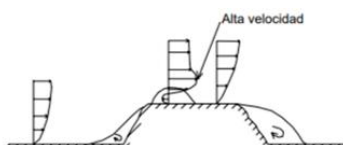


Fig. 15. Influencia de un obstáculo de pendientes suaves.

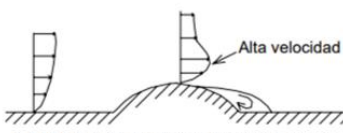


Fig. 16. Influencia de un obstáculo de pendientes abruptas.



Irudia 2-11. Oztopoen eragina haizearen profil bertikalean.

Azkenik, airearen dentsitatea ere oso faktore garrantzitsua da baliabide eoliko aztertzeko. Airearen beraren masaren eta okupatzen duen bolumenaren arteko erlazioa da. Arau orokor gisa, abiadura baldintza beretan, potentzia handiagoa lortuko da aire trinkoagoekin (beroak) dentsitate txikiagoko aireekin (hotzak) baino. Aire-masa trinkoenak lurrazaletik eta itsasotik hurbil daude, eta dentsitate txikienekoak, berriz, atmosferaren goiko geruzetara igotzen dira. Horregatik dute errendimendu handiena offshore turbina eolikoek. Hala ere, presioarekin kontrakoa gertatzen da: presio handiagoan, airearen dentsitatea ere handitu egingo da, eta, presio txikiagoan, airea ez da hain dentsua izango [50].

2.3 DATUEN ERABILERA R PROGRAMAREKIN

Atal honetan, gero erakutsiko diren haize arrosak nola egin diren azalduko da. Horretarako, R programa erabili da. R softwarea datu base handiko datuak lantzeko, irudikatzen eta erabiltzen da. Programa honen abantaila lizentzia librea duela da. Proiektuan programa hau erabili behar zen bi datu iturri erabili dira, WRF eta ERA5. Bi datu horiek jasotzeko formatua ezberdina denez, bakoitzarentzako kode bat sortu behar izan da.

Hurrengo ataletan, modelo bakoitzari dagokion kodea erakutsi eta azalduko da, funtzio bakoitzarekin lortu nahi dena esanez.

2.3.1 WRF

Hurrengo da WRF datuak irakurtzeko eta horiekin lan egiteko erabili den R programaren kode osoa. Gero atalez atal azalduz joango da pauso bakoitzarekin lortu nahi izan dena.

```
# Lan karpeta
setwd("C:/Users/usune/OneDrive/Desktop/GRAL/RSTUDIO")

nn<-23

# Sortutako irudien izena ezarri
if(nn==23){titulo<-"WRF 3"}
if(nn==24){titulo<-"WRF 4"}
if(nn==28){titulo<-"WRF 1"}
if(nn==29){titulo<-"WRF 2"}

# Funtzioa, datuetan oinarrituz haizearen abiadura eta norabidea kalkulatzeko
uv2wdws <- function(u,v) {

  degrees <- function(radians) 180 * radians / pi

  mathdegs <- degrees(atan2(v, u))
  wdcalc <- ifelse(mathdegs > 0, mathdegs, mathdegs + 360)
  wd <- ifelse(wdcalc < 270, 270 - wdcalc, 270 - wdcalc + 360)
  ws <- sqrt(u^2 + v^2)

  return(cbind(wd, ws))
}

# Datuak gordeta dauden fitxategien izenak eta horiek irakurtzeko kodea
file_u10<-"WRF_u10_ARW_ordenatuta.csv"
file_v10<-"WRF_v10_ARW_ordenatuta.csv"

data_u10<-read.table(file_u10,sep=";",dec=","")
data_v10<-read.table(file_v10,sep=";",dec=","")
n_data<-which(data_u10[1,]==nn)

u10_select<-data_u10[-c(1:3),n_data]
v10_select<-data_v10[-c(1:3),n_data]
# Lortutako emaitzak 100 metroko altuerara igotzea
dir<-data_vel_dir[,1]
vel_100<-data_vel_dir[,2]*log(100/0.25)/log(10/0.25)

# Lortutako emaitzak 100 metroko altuerara igotzea
vel_200<-data_vel_dir[,2]*log(200/0.25)/log(10/0.25)

# Haize arrosak osatzeko datuen antolaketa altitude bakoitzarentzako
data_vel_dir<-as.data.frame(uv2wdws(u10_select,v10_select))
data_vel_dir_100<-data.frame(dir,vel_100)
data_vel_dir_200<-data.frame(dir,vel_200)

# Haize arrosak irudikatze kodea
library(openair)
name<-"Haizearen abiadura"
png(paste("windrose_WRF_200_",nn,".png",sep=""))
windRose(data_vel_dir_200, ws = "vel_200", wd = "dir",
  ws.int = 1, angle = 22.5,
  breaks = 25, offset = 5, normalise = FALSE,
  max.freq = 20,paddle = FALSE,key.header =name ,
  key.footer = "(m/s)", key.position = "right",
  key = TRUE, dig.lab = 5, statistic = "prop.count",
  pollutant = NULL, annotate = FALSE,
  border = NA, smooth = TRUE,main=titulo)
dev.off()
```

Irudia 2-12. WRF datuekin lan egiteko sortutako R kodea.

Hasteko, kodearen hasieran datuak gordeta dauden lan karpeta zein den adierazi behar da. Jarraian, gero haize arrosek osatzean erabilitako fitxategiaren arabera izena izatea eskatzen da.

```
# Lan karpeta
setwd("C:/Users/usune/OneDrive/Desktop/GRAL/RSTUDIO")

nn<-23

# Sortutako irudien izena ezarri

if(nn==23){titulo<-"WRF 3"}
if(nn==24){titulo<-"WRF 4"}
if(nn==28){titulo<-"WRF 1"}
if(nn==29){titulo<-"WRF 2"}
```

Irudia 2-13. R kodea, lan karpeta eta fitxategi bakoitzeko izenak definitu.

Ondoren, lehenengo kalkuluaren atala dator. Horietan osatu den funtzioaren bidez, gerora sartuko diren datuekin egin beharreko kalkuluak zeintzuk diren azaltzen da. Beraz, datu moduan haizearen u eta v aldagaiak izanda, horietatik haizearen abiadura eta norabidea lortzeko kalkuluak egin dira. Horren segidan, datuak irakurtzeko eskatu zaio programari.

```
# Funtzioa, datuetan oinarrituz haizearen abiadura eta norabidea kalkulatzeko
uv2wds <- function(u,v) {

  degrees <- function(radians) 180 * radians / pi

  mathdegs <- degrees(atan2(v, u))
  wdcalc <- ifelse(mathdegs > 0, mathdegs, mathdegs + 360)
  wd <- ifelse(wdcalc < 270, 270 - wdcalc, 270 - wdcalc + 360)
  ws <- sqrt(u^2 + v^2)

  return(cbind(wd, ws))
}

# Datuak gordeta dauden fitxategien izenak eta horiek irakurtzeko kodea
file_u10<-"WRF_u10_ARW_ordenatuta.csv"
file_v10<-"WRF_v10_ARW_ordenatuta.csv"

data_u10<-read.table(file_u10,sep=";",dec=",")
data_v10<-read.table(file_v10,sep=";",dec=",")
n_data<-which(data_u10[1,]==nn)

u10_select<-data_u10[-c(1:3),n_data]
v10_select<-data_v10[-c(1:3),n_data]
```

Irudia 2-14. R kodea, abiadura eta norabidearen kalkulurako funtzioa eta datuek irakurtzea.

Ondoren, kalkuluarekin jarraitzeko, kontuan izan behar da WRF modeloak ematen dituen datuak, erliebearekiko 10 m-ko altuerakoak direla. Ondoren ERA5 eta IRENA-ren datuekin konparaketa egiteko, hurrengo kode zatian ageri den formularen bidez 100 eta 200 m-ra igo da haizearen abiaduraren emaitza. Amaitzeko, hiru altitudeen emaitzak bateratu egin dira norabidearekin, horrela haize arrosak osatzeko aldagai egokia sortzeko.

```
# Lortutako emaitzak 100 metroko altuerara igotzea
dir<-data_vel_dir[,1]
vel_100<-data_vel_dir[,2]*log(100/0.25)/log(10/0.25)

# Lortutako emaitzak 100 metroko altuerara igotzea
vel_200<-data_vel_dir[,2]*log(200/0.25)/log(10/0.25)

# Haize arrosak osatzeko datuen antolaketa altitude bakoitzarentzako
data_vel_dir<-as.data.frame(uv2wdws(u10_select,v10_select))
data_vel_dir_100<-data.frame(dir,vel_100)
data_vel_dir_200<-data.frame(dir,vel_200)
```

Irudia 2-15. R kodea, datuak 100 eta 200 metrotara igo eta antolatu.

Azkenik, aldagai horiek erabilia haize arrosak egitea eskatu zaio programari. Hurrengo kodean, haize arrosak izan behar dituen ezaugarriak definitzen dira.

```
# Haize arrosak irudikatzeke kodea
library(openair)
name<-"Haizearen abiadura"
png(paste("windrose_WRF_200_",nn,".png",sep=""))
windRose(data_vel_dir_200, ws = "vel_200", wd = "dir",
          ws.int = 1, angle = 22.5,
          breaks = 25, offset = 5, normalise = FALSE,
          max.freq = 20, paddle = FALSE, key.header = name,
          key.footer = "(m/s)", key.position = "right",
          key = TRUE, dig.lab = 5, statistic = "prop.count",
          pollutant = NULL, annotate = FALSE,
          border = NA, smooth = TRUE, main=titulo)
dev.off()
```

Irudia 2-16. R kodea, haize arrosa definitzea.

Programa horretan, erabili diren WRF-aren puntu ezberdinekin eta altitude ezberdinekin lan egiteko, hasierako **nn** aldagaia eta gero haize arrosatan irudikatu nahi den prestatuturiko "data frame" edo matrizea aldagaia aldatuz joan behar da.

2.3.2 ERA5

ERA5 datuei dagokienez, beste kode bat osatu da. Helburua berdina denez oso antzekoak dira. Hurrengo da ERA5 datuak irakurtzeko, kalkuluak burutzeko eta azkenik haize arrosa irudikatzen erabili den kode osoa.

```
# Lan karpeta
setwd("C:/Users/usune/OneDrive/Desktop/GRAL/RSTUDIO")

# Fitxategiaren izena
file<-"euskaletia.nc"

# NetCDF-a irakurri "RNetCDF" libreriarekin
library("RNetCDF")

# Funtzioa, datuetan oinarrituz haizearen abiadura eta norabidea kalkulatzeko
uv2wdws <- function(u,v) {

  degrees <- function(radians) 180 * radians / pi

  mathdegs <- degrees(atan2(v, u))
  wdcalc <- ifelse(mathdegs > 0, mathdegs, mathdegs + 360)
  wd <- ifelse(wdcalc < 270, 270 - wdcalc, 270 - wdcalc + 360)
  ws <- sqrt(u^2 + v^2)

  return(cbind(wd, ws))
}

# Datuak gordeta dauden fitxategiak irakurtzeko kodea
file_nc<-open.nc(file)
print.nc(file_nc)

# Aldagaiak irakurri
time<-var.get.nc(file_nc,"time")
hours_since<-"hours since 1900-01-01 00:00:0.0"
dates<-utcal.nc(hours_since,time)
lon<-var.get.nc(file_nc,"longitude")
lat<-var.get.nc(file_nc,"latitude")

# Unitatea = "m s**-1"
u10<-var.get.nc(file_nc,"u10")

# Unitatea = "m s**-1"
v10<-var.get.nc(file_nc,"v10")

# Fitxategia itxi
close.nc(file_nc)

# Longitude, latitude posizioa aukeratu
n_lon<-13 #lon[1]==-4.799988
n_lat<-4 #lat[1]==43.8
lon[n_lon]
lat[n_lat]

# NC_DOUBLE u100(longitude, latitude, time)
u10_select<-u10[n_lon,n_lat,]

# NC_DOUBLE v100(longitude, latitude, time)
v10_select<-v10[n_lon,n_lat,]

# Haize arrosak osatzeko datuen antolaketa altitude bakoitzarentzako
data_vel_dir<-as.data.frame(uv2wdws(u10_select,v10_select))

# Haize arrosak irudikatzen kodea
library(openair)
name<-"Haizearen abiadura"
png(paste("windrose_ERA5_100.png",sep=""))
windRose(data_vel_dir, ws = "ws", wd = "wd",
  ws.int = 1, angle = 22.5,
  breaks = 25, offset = 5, normalise = FALSE,
  max.freq = 22,paddle = FALSE,key.header =name ,
  key.footer = "(m/s)", key.position = "right",
  key = TRUE, dig.lab = 5, statistic = "prop.count",
  pollutant = NULL, annotate = FALSE,
  border = NA, smooth = TRUE,main="ERA5 100 m")
dev.off()
```

Irudia 2-17. ERA5 datuekin lan egiteko sortutako R kodea.

ERA5-ek eskaintzen dituen datuak NetCDF moduan daude idatzita. Fitxategi mota horiek oso ohikoak dira horrelako proiektuetan, izan ere, datuak dimentsio ugariko fitxategi bakar batean elkartzeko aukera ematen baitu. Fitxategi honetan datu ugari ageri dira, hala ere proiektuaren helburua betetzeko datu horien artean longitudea, latitudea, denbora erabiliko dira ardatz gisa, eta ondoren bi aldagai ezberdinetan **u10** eta **v10** datuak atxikiko zaizkie.

Hasteko, WRF-en kodean bezala, lan karpeta zein den zehaztu, kasu honetan horrekin batera fitxategiaren izena zein den adierazi eta gero, haizearen abiadura eta norabidea kalkulatzeko funtzioa idatzi dira.

```
# Lan karpeta
setwd("C:/Users/usune/OneDrive/Desktop/GRAL/RSTUDIO")

# Fitxategiaren izena
file<-"euskalerrria.nc"

# NetCDF-a irakurri "RNetCDF" libreriarekin
library("RNetCDF")

# Funtzioa, datuetan oinarrituz haizearen abiadura eta norabidea kalkulatzeko
uv2wdws <- function(u,v) {

  degrees <- function(radians) 180 * radians / pi

  mathdegs <- degrees(atan2(v, u))
  wdcalc <- ifelse(mathdegs > 0, mathdegs, mathdegs + 360)
  wd <- ifelse(wdcalc < 270, 270 - wdcalc, 270 - wdcalc + 360)
  ws <- sqrt(u^2 + v^2)

  return(cbind(wd, ws))

}
```

Irudia 1-18. R kodea, lan karpeta definitu, fitxategiaren izena eman eta abiadura eta norabidea kalkulatzeko funtzioa.

Ondoren, datuak dituen fitxategia irekiko da eta beharrezkoak diren aldagaiak, aurretik aipatu direnak, atera eta lehen azaldu bezala antolatu egingo dira.

```
# Datuak gordeta dauden fitxategiak irakurtzeko kodea
file_nc<-open.nc(file)
print.nc(file_nc)

# Aldagaiak irakurri
time<-var.get.nc(file_nc,"time")
hours_since<-"hours since 1900-01-01 00:00:0.0"
dates<-utcal.nc(hours_since,time)
lon<-var.get.nc(file_nc,"longitude")
lat<-var.get.nc(file_nc,"latitude")

# Unitatea = "m s**-1"
u10<-var.get.nc(file_nc,"u10")

# Unitatea = "m s**-1"
v10<-var.get.nc(file_nc,"v10")

# Fitxategia itxi
close.nc(file_nc)
```

Irudia 2-19. R kodea, nc fitxategiaren aldagaiak irakurtzea.

Jarraian, erabiliko den puntuaren longituda eta latitudea identifikatu eta haizearen aldagaien barruan duen posizioarekin bilatuko da. Horrela, haize arrosa osatzeko erabiliko diren datuak "data frame" edo matrize batean antolatuko dira.

```
# Longitude, latitude posizioa aukeratu
n_lon<-13 #lon[1]==-1.2000122
n_lat<-4 #lat[1]==42.9
lon[n_lon]
lat[n_lat]

# NC_DOUBLE u100(longitude, latitude, time)
u10_select<-u10[n_lon,n_lat,]

# NC_DOUBLE v100(longitude, latitude, time)
v10_select<-v10[n_lon,n_lat,]

# Haize arrosak osatzeko datuen antolaketa altitude bakoitzarentzako
data_vel_dir<-as.data.frame(uv2wds(u10_select,v10_select))
```

Irudia 2-20. R kodea, erabiliko diren koordenatuak zehaztu eta datuak antolatzea.

Amaitzeko, haize arrosak irudikatuko da, hurrengo kodearen zatian horrek izan behar dituen ezaugarriak deskribatzen dira.

```
# Haize arrosak irudikatzeako kodea
library(openair)
name<-"Haizearen abiadura"
png(paste("windrose_ERA5_100.png",sep=""))
windRose(data_vel_dir, ws = "ws", wd = "wd",
          ws.int = 1, angle = 22.5,
          breaks = 25, offset = 5, normalise = FALSE,
          max.freq = 22,paddle = FALSE,key.header =name ,
          key.footer = "(m/s)", key.position = "right",
          key = TRUE, dig.lab = 5, statistic = "prop.count",
          pollutant = NULL, annotate = FALSE,
          border = NA, smooth = TRUE,main="ERA5 100 m")
dev.off()
```

Irudia 2-21. R kodea, haize arrosa definitzea.

2.4 TURBINAREN AUKERAKETA

AEBko Energia Saileko (DOE) Energia Berriztagarrien Laborategi Nazionalak (NREL) eta Teknologia Eolikoaren Zentro Nazionalaren (NWTC) bidez, ezaugarri estandarreko turbina eoliko bat diseinatzeko eta garatzeko hainbat azterketa egin ditu. Haren txostenak "NREL offshore 5 MW baseline" izeneko turbina horren zehaztapenak dokumentatzen ditu. Hasiera-hasieratik, ahalik eta aplikazio arruntenetan eta estandarizatuenetan erabil zitekeen aerosorgailu handi baten ezaugarri zehatzak ezartzea zuen helburu. Gainera, turbina itsasoan, offshore aplikazioetan nahiz lurrian (onshore) erabil daiteke.

Turbinaren propietateak ezarri aurretik, makinaren tamaina eta potentzia izendatua aukeratu behar izan ziren. Itsasoan instalatutako turbinetarako egituraren euskarriaren kostu handiak zirela eta, hasieratik ulertu zen instalazio hori errentagarria izateko turbinaren potentzia izendatua gutxienez 5 MW izan behar zela. Hasieran, 5 eta 20 MW bitarteko turbinak hartu ziren, baina ondorioztatu zen 5 MW-eko turbina estandar bat erabiltzea, mundu mailako beste azterketa garrantzitsu batzuetako datuetan eta informazioan oinarritutako zenbait arrazoiengatik.

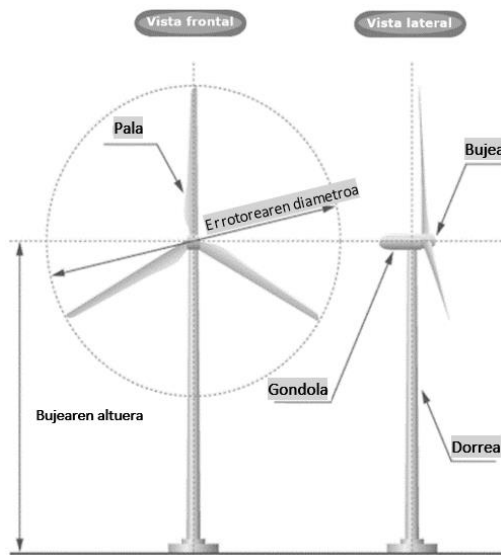
"NREL offshore 5 MW baseline" turbina modernoa da, teknologikoki oso garatua, eta gaur egun merkatuko handienetakoa ez den arren, gaur egun eraginkorrenetakoa eta aztertuenetakoa bada, potentzia handia ematen du.

Hurrengo taulan (taula 2-2) ematen dira turbina horren ezaugarri garrantzitsuenak:

Potentzia	5 MW
Errotorearen orientazioa, konfigurazioa	Haizealdera kokatua, 3 pala
Kontrola	Abiadura aldakorra
Potentzia tresneria	Abiadura altua, Multifase kaxa
Errotorearen diametroa	126 m
Bujearen diametroa	3 m
Bujearen altuera	90 m
Habiaratze abiadura, nominala, gelditzea.	3 m/s, 11,4 m/s, 25 m/s
Errotorearen habiaratze abiadura eta nominala	6,9 rpm, 12,1 rpm
Palen punten abiadura nominala	80 m/s
Bujearen masa	56.780 kg
Errotorearen masa	110.000 kg
Gondolaren masa	240.000 kg
Dorrearen masa	347.460 kg
Luzera	61,5 m
Masa eskalaren faktorea	4,536 %
Integratutako masa totala	17.740 Kg
Masaren bigarren inertzia momentua	11.776.047 Kg·m ²
Masaren lehenengo inertzia momentua	363.231 Kg·m ²
CM-ren kokapena	20,475 m
Amortiguazio estrukturalaren erlazioa	0,477 %

Taula 2-2. NREL 5MW baselin turbinaren ezaugarriak.

Potentzial-azterketa egiteko kontuan hartu beharreko datu garrantzitsuenak hauek dira: hiru palako aerosorgailu bat da, 5 MW-eko potentzia izendatua duena, 126 m-ko diametroa duen errotore bat; cut-in-a 3 m/s-ko haizearekin sortzen da, eta cut-off-a 25 m/s-ko abiaduran.



Irudia 2-22 .Turbinaren osagaien eta neurrien irudia.

Ardatz bertikalean, potentzia aerodinamikoa MW-etan adierazten da, eta horizontalean, haizearen abiadura. Ikus daitekeen moduan eta lehen esan bezala, turbina 3 m/s-ko haize-abiaduran hasten da funtzionatzen, 11 m/s inguruan abiadura izendatura iristen da eta 25 m/s-ko abiadura maximoarekin gelditzen da, 2-1. taulan zehaztu bezala [51].

Aurreko hori izango da beraz proiektu honen kalkuluak burutzeko hautatu den aerosorgailua. NREL 5 MW turbina proiektuaren potentzia-kalkuluetarako aukeratu da, eman nahi zaion helburu edo aplikazio nagusia dela eta, potentzia handiko parke eoliko bat instalatzea, alegia. Hala ere, gaur egun badaude potentzia ertaineko turbinak (100 kW - 1 MW) ingurumenaren gaineko eraginari dagokionez legezko muga batean daudenak, eta horien instalazioa interesgarria izan liteke biztanleriatik gertuko edo mendilerro txikiagoetan. Adibidez, aipatzekoak dira Argolabe enpresak egin dituen bi instalazio; lehenengoa 2011. urtean Miñanoko parke teknologikoan eraikitako 100 KW -ko TURBEC turbina, elektrizitate iturri eta ikerkuntzetarako baliabide bilakatu dena; bigarrena, 2016. urtean Arabako Errioxan Fernández de Piérola ardandegian instalaturiko 100 KW-ko T100 turbina da, bertan, aerosorgailuak sortzen duen energia kontsumitutakoaren bikoitza denez, autokontsumitzeko eta soberakinak sarera saltzeko haina elektrizitate dago [52].

2.5 POTENZIA KALKULUAK

Energia elektrikoaren edozein sistemaren ezaugarri garrantzitsuenetako bat potentzia izendatua da, hau da, zenbat kW sor ditzake etengabe eta potentzia maximoan. Sistemak sorgailu bat badu, potentzia izendatua sorgailu horren potentzia efektiboak ematen du. Horrek esan nahi du, sorgailuak potentzia izendatua urte oso batean entregatuko balu, hornitutako energia potentzia izendatuaren eta urteko 8760 orduen arteko biderkadura izango litzatekeela. Energia sistemek, eta batez ere aerosorgailuek, urte osoan potentzia osoan funtzionatzen ez dutenez, kopuru hori baino gutxiago sortzen dute.

Kapazitate-faktorea, CF (kapazitate faktorea), aldagai errealistagoa da 0 eta 1 arteko balioarekin, eta potentzia izendatua eta emandako energia erlazionatzen ditu:

$$AEP \left(\frac{kWh}{urte} \right) = P_R (KW) \times 8760 \left(\frac{h}{urte} \right) \times CF$$

Non P_R potentzia izendatua baita (kW), eta CF, berriz, kapazitate-faktorea, hau:

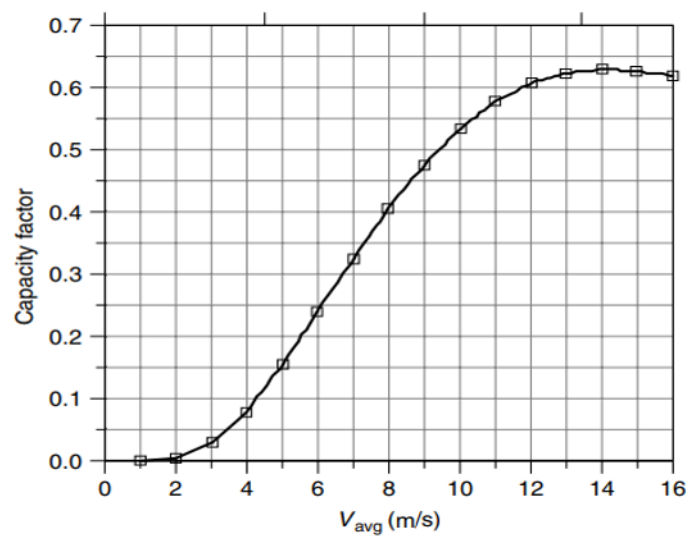
$$CF = 0,087 \times \bar{U} - \frac{P_R (KW)}{D^2}$$

Ekuazio horren jatorria tamaina, potentzia eta konpainia desberdineko hainbat turbinarekin egindako azterketetan dago, eta munduko hainbat lekutan funtzionatzen du. Sortzen duten AEP-a ikusi eta doikuntza batzuk egin ondoren, ekuazioa lortzen den kurba lortzen da, lineala, eta horrek asko sinplifikatzen ditu kalkuluak.

Kapazitate-faktorea sartzeko benetako asmoa da hornitutako energia zenbatesteko erabiltzea, eta lekuari eta aerosorgailuari buruzko informazio gutxi dagoenean ahalmen-faktorea kalkulatzeko modu erraz bat aurkitzea. Bestela esanda, azterketa horien helburua ekuazio bat estandarizatzea da, edozein turbina eolikoren potentzia-kalkuluetan erabili ahal izateko.

Jarraian emandako irudiak adierazten duen moduan, 4 m/s eta 10 m/s bitarteko haizeetan, makina baten kapazitate-faktorea nahiko lineala da. Bitarteko altuagoak dituzten haizeetan, gero eta handiagoa izango da haizearen zati handi bat haizearen abiadura izendatuaren gaineratik, eta kapazitate-faktorea berdintzen edo jaisten hasiko da. Azkenik, bihurtzea zapaldu egiten da batez besteko haizearen abiadura abiatze-abiadurara hurbiltzen denean, haizearen zati handi batek ez baitu energia elektrikorik sortzen.

Garrantzitsua da aipatzea S formako kurba turbina espezifiko baterako sortu zela, Rayleighen banaketa estatistikoa irarritzen dioten haizeekin lan eginez.



Irudia 2-23. Rayleigh-en banaketa estatistikoa [53].

Ondorioz, turbina guztiek kurba mota bera dute, eta linealtasun-puntu optimoa dute haizearen batez besteko abiadura-tartean.

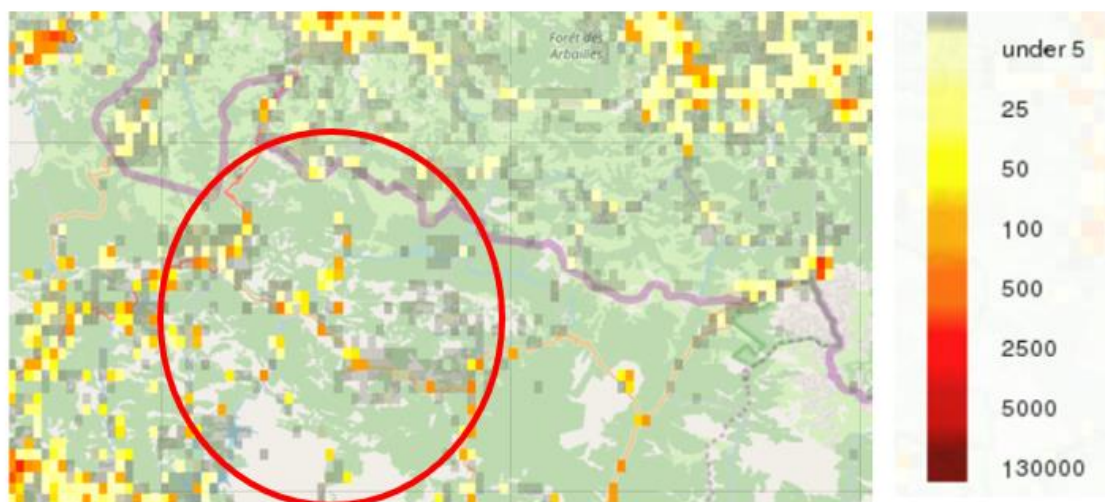
3 EMAITZAK

3.1 AZTERTUTAKO MENDI ETA MENDILERROAK

3.1.1 Biztanleria kontzentrazio zonaldeak

2.1.1. atalean azaldu den moduan, Aezkoa bailarako biztanleria kontzentrazioa nahiko txikia da. Ohiko biztanleak 800 inguru dira eta udalerrri ezberdinetan daude banatuta.

Hurrengo irudia IRENA-ren atlas globalaren bidez eskuratu da. 1 km-ko zehaztasuna du mapak, eta bertan, puntu bakoitzean bizi den pertsona kopurua adierazten du grafikoki. Ikusi daitekeen moduan, orokorrean biztanleria gutxi dago zonalde gehienetan, mendialdean adibidez (aztertuko den zonaldea). Hala ere badaude zenbait biztanleria foku herri nagusienetan, horiek Orbaitzeta, Hiriberri, Garralda eta Abaurregaina dira.



Irudia 3-1. IRENA, biztanleriaren kontzentrazio mapa.

Hortaz, esan beharra dago, biztanleriari dagokionez, parke eolicoa eraiki daitezkeen zonaldeetan orokorrean ez dagoela arazorik. Hala ere, 3.1.3. atalean mendilerro bakoitzaren ezaugarrietan barne, herriren edo etxebizitza bat hurbil egon balitz, kontuan hartuko da.

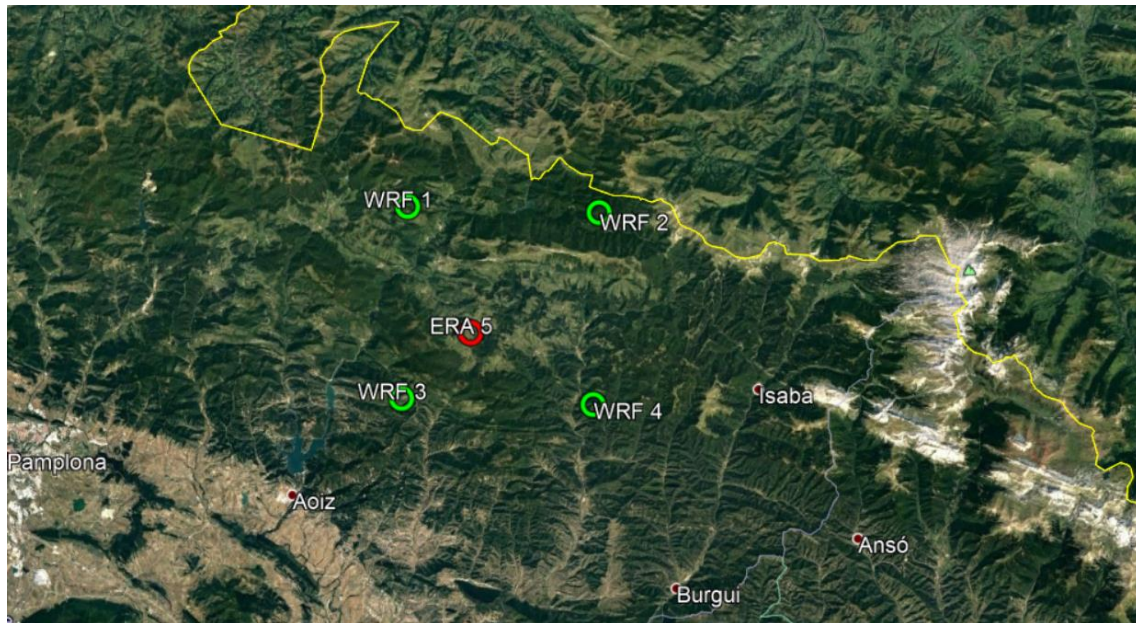
3.1.2 Haizearen potentzial azterketa (haize arrosak)

Atal honetan, bailarako haizearen ezaugarri aztertuko da. Proiektu honen 1.7, 1.8. eta 1.9. ataletan azaldu bezala, WRF, ERA5 eta IRENA-ren atlas globalarekin egingo da lan. Gogoratu beharra dago, WRF eta ERA5 modelo meteorologikoek eskaintzen dituzten datuen arteko distantzia, gure azterketa zonaldearentzako nahiko handia dela. Beraz, proiektuan lantzen diren puntuetatik hurbilen dauden datuak erabiliko dira. IRENA-k ordea, 1 km-ko distantzia eskaintzen du ematen dituen datu puntuen artean.

Hurrengo atalean, proiektu honen oinarri den WRF modeloarekin eskuratutako datuak beste modelo meteorologikoekin konparatuko da. Horretarako, eta beste egoeraren batean baliagarri izaten jarraitzeko, WRF modeloaren datuak altitude ezberdinetara eramán dira. Horrek, etorkizunean aerosorgailu ezberdinak erabiltzeko informazioa izatea ahalbidetuko du. Gainera, erliebetik abiatuta ERA5 100 m-ko altitudean dago eta IRENA-

k jasotzen dituen datuak 50, 100 eta 200 m-tara, horietatik 100 eta 200 m-tara eramango da WRF konparaketa zehatzagoa burutu ahal izateko.

WRF eta ERA5-en datuen formatuagatik, beharrezkoa izan da eskaintzen zituzten koordinatu puntu guztien artean Aezkoa bailaran edo inguru hurbilean kokatzen zirenak aukeratzea. WRF-aren kasuan, 4 puntu hurbil aurkitu dira; ERA5-ekin ordea, azterketa eremuan kokatzen den puntu bakarra dago. Hori, biek eskaintzen dituzten datuen kokapenaren artean 15 km (WRF) eta 25 km-tako (ERA5) distantzia dutelako da. Hurrengo irudian (irudia 3-2) agertzen dira aukeratutako puntu horiek mapan kokatuta, gorritz ERA5 modeloaren puntua eta berdez WRF modeloarena.



Irudia 3-2. Erabili diren WRF eta ERA5 puntuen adierazpena mapan.

Aurreko irudian (irudia 3-2) ageri diren puntuen koordinatuak hurrengoak dira:

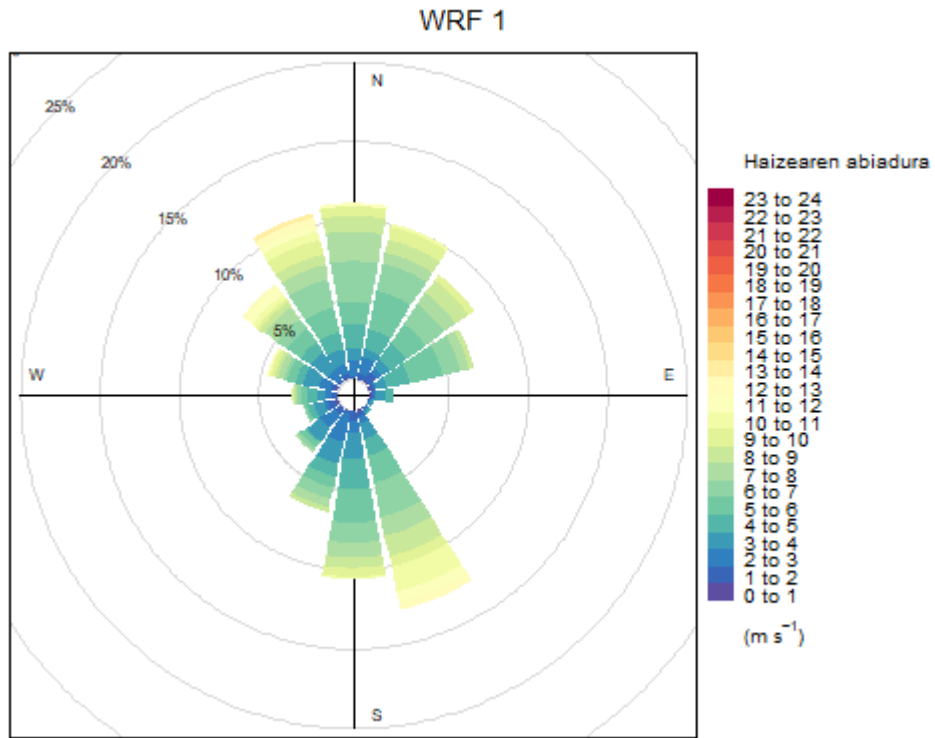
Puntua	Latitudea	Longitueda
WRF 1	42.85	- 1.27
WRF 2	42.85	- 1.08
WRF 3	42.99	- 1.26
WRF 4	42.98	- 1.08
ERA5	42.90	- 1.20

Taula 3-1. Erabiliko diren WRF eta ERA5 puntuen koordinatuak.

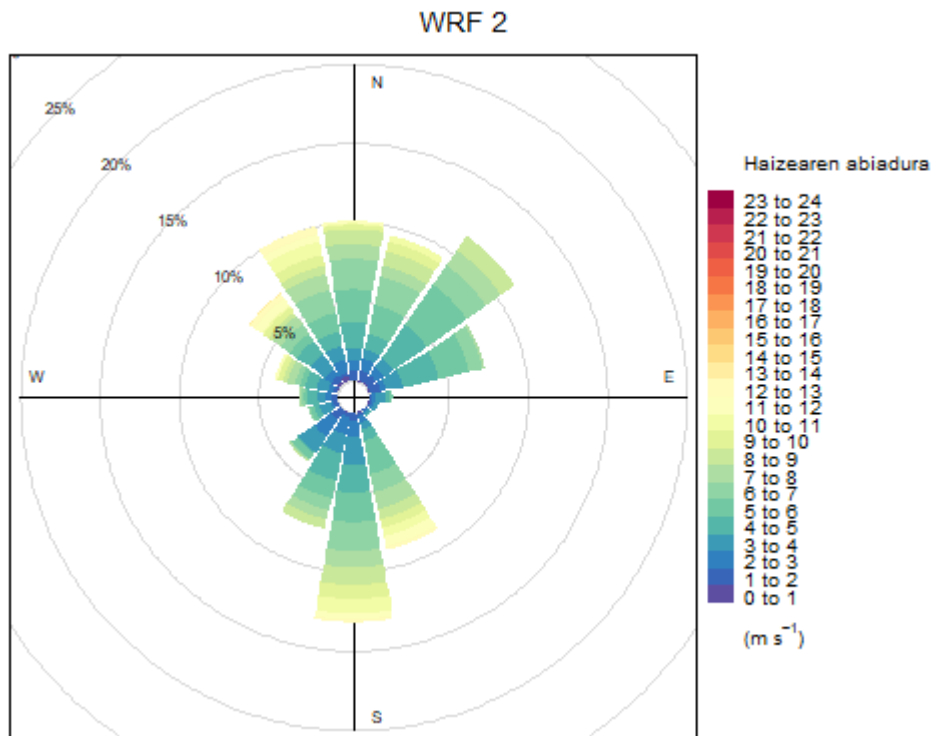
IRENA-ri dagokionez, 1 km-ko distantziako zehaztasuna eskaintzen du, eta gainera datuak sarean aurkitzen den mapa batean eskuratzen dira. Horregatik erabiliko da modelo hori hurrengo atalean egingo den mendilerroen azterketarako, tontor bakoitzaren ezaugarriak ezagutzeko aukera ematen baitu.

3.1.2.1 WRF 10 metrotan

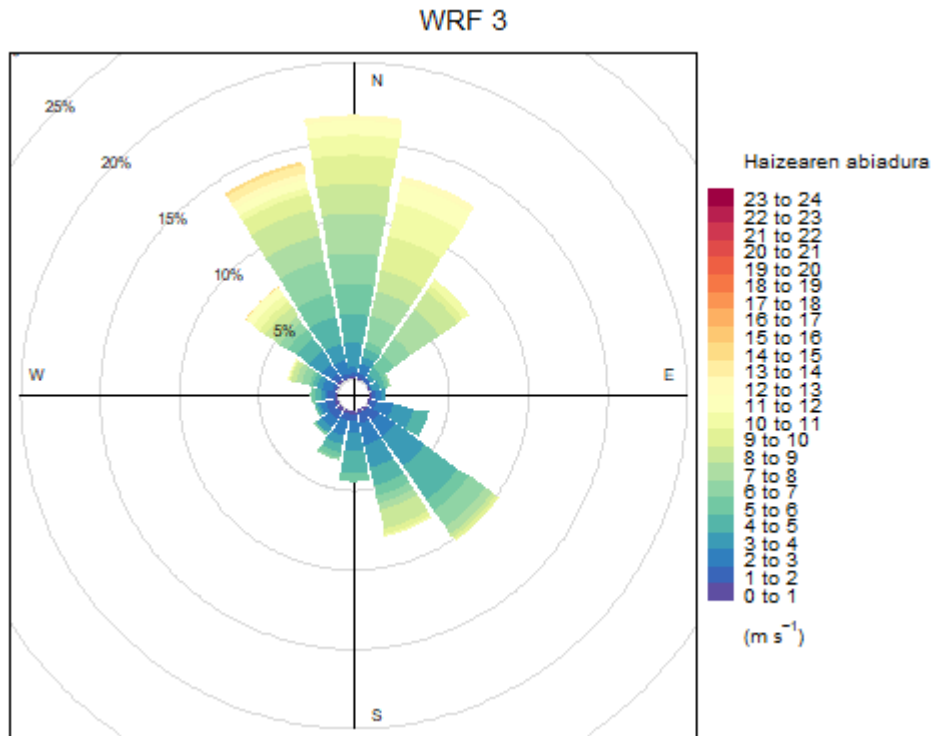
Atal honetan, WRF-ak haren ezaugarriengatik berez ematen dituen datuak aurkituko dira, erliebeak duen altitudetik hasita 10 m-ra hain zuzen ere. Hasteko aurretik erakutsi diren lau puntuen haize arrosak emango dira indibidualki, horien datu eta maiztasun eskala argi ikusi ahal izateko. Ondoren, lau haize arrosa horiek, mapan dagozkien koordinatuetan kokatuko dira. Horrekin, haizearen norabidea zein den ezagutuko da, horrela, parke eolikoaren antolaketa egiterakoan, eremu bakoitzean haize sorgailuen arteko distantzia zein izan behar duen jakiteko.



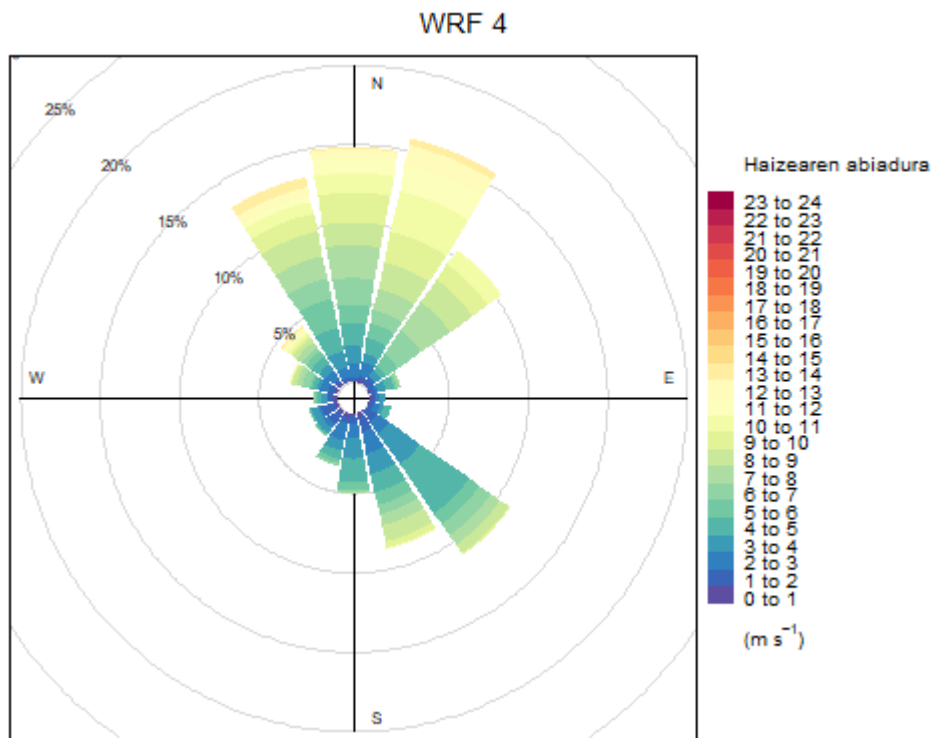
Irudia 3-3. WRF 1 puntuko haize arrosa, 10 metroan.



Irudia 3-4. WRF 2 puntuko haize arrosa, 10 metroan.



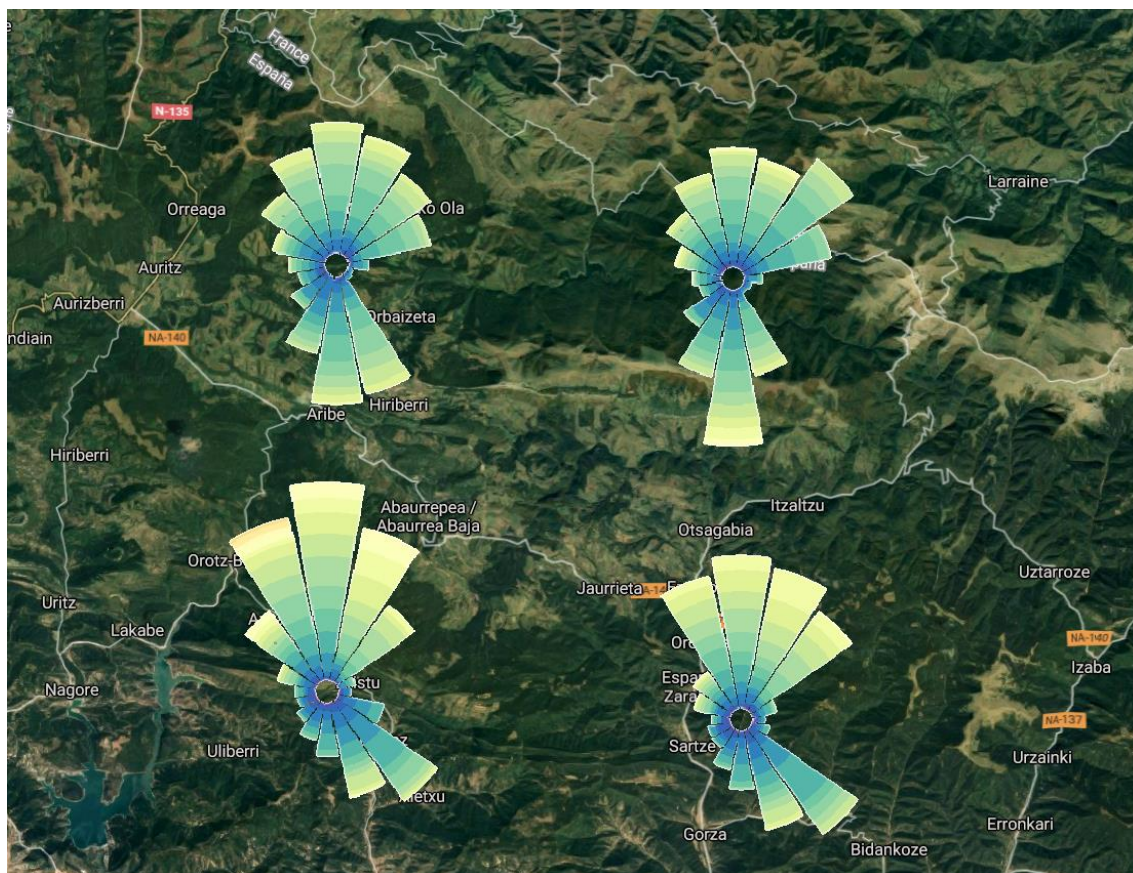
Irudia 3-5. WRF 3 puntuko haize arrosa, 10 metroan.



Irudia 3-6. WRF 4 puntuko haize arrosa, 10 metroan.

Aurreko lau haize arrosetan ikusi daitekeen moduan, lehenengo eta bigarren puntuan dagoen haizearen abiadura altuen maiztasuna txikiagoa da. Hala ere, maiztasunei erreparatuta argi ikusi daiteke normalean 6-10 m/s-ko haize abiadura izaten dela orokorrean. Honako hauek hasierako balioak dira, aldaketarik jasan ez dutenak.

Hurrengo mapari (irudia 3-7) esker, aurkeztu diren haize arrosen eragina ikusi daiteke Aezkoako bailaran. Esan beharra dago, orokorrean norabide bera badute ere, bigarren puntuaren eta gainerakoen artean norabide aldaketa nabaritzen dela hegoaldeko haizeekiko. Gerora, parke eolikoaren antolaketa aurkezterakoan, kontuan izan beharko da aurreko hori, izan ere, aerosorgailuen artean utzi beharreko distantzia, dagoeneko azaldu den moduan, norabidearen menpe dago.



Irudia 3-7. WRF puntuetako haize arrosa 10 metrora mapan kokatuta.

3.1.2.2 WRF 100 metrotan (ERA5 eta IRENA)

Egoera hau aztertzeko, WRF-ak eskaintzen dituen datuak 10 metrotatik 100 metrora igaro dira. Hori egiteko hurrengo formula erabili da:

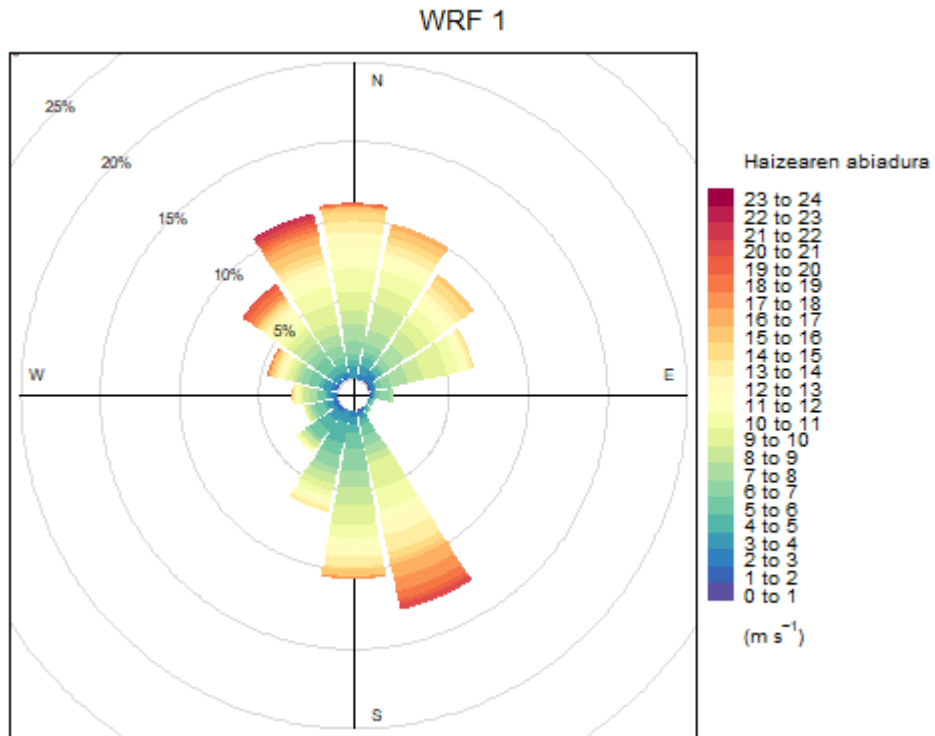
$$\bar{U}_{m2} = \bar{U}_{m1} \cdot \log\left(\frac{m1}{Z_0}\right) / \log\left(\frac{m2}{Z_0}\right)$$

Z₀ zimurtasun faktorea da, horrek inguruko erliebe edo oztopoak zenbakiz adierazteko aldagaia da. Egoera honetan zimurtasun altua erabili da, 0.25. Aurreko formula horrela geratuko litzateke egoera honetako aldagaiekin:

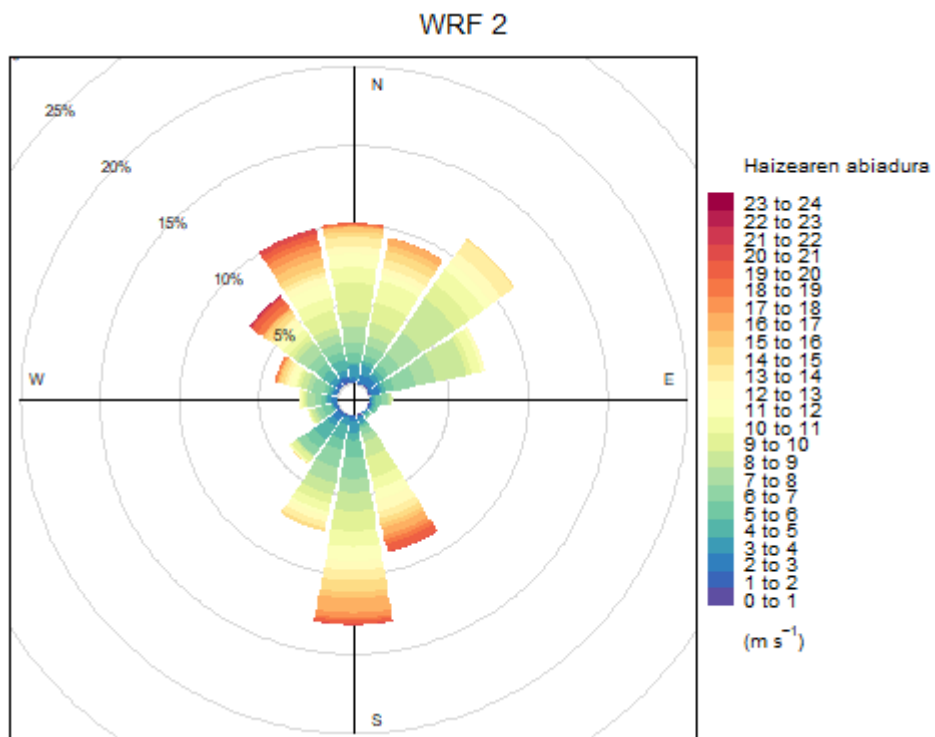
$$\bar{U}_{100} = \bar{U}_{10} \cdot \log\left(\frac{100}{0,25}\right) / \log\left(\frac{10}{0,25}\right)$$

Eraldaketa horrek bi abantaila dauzka. Alde batetik, ERA5 eta IRENA-ren datuekin konparaketa zehatzagoa egiten uzten du. Beste aldetik, proiektu honetan dagoeneko NREL turbina aukeratu baldin bada ere, turbina altuera ezberdinentzako izango diren haizearen ezaugarriak ezagutzeko ere balio du.

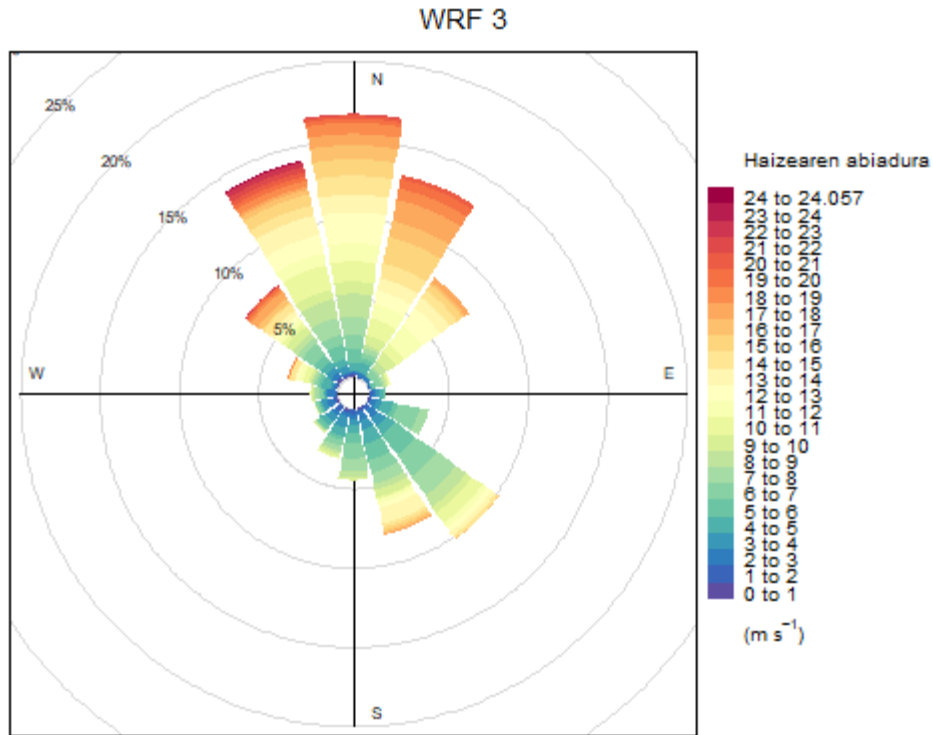
Hurrengoak dira WRF modeloaren puntuen lau haize arrosak datuak 100 metrotara igo ondoren.



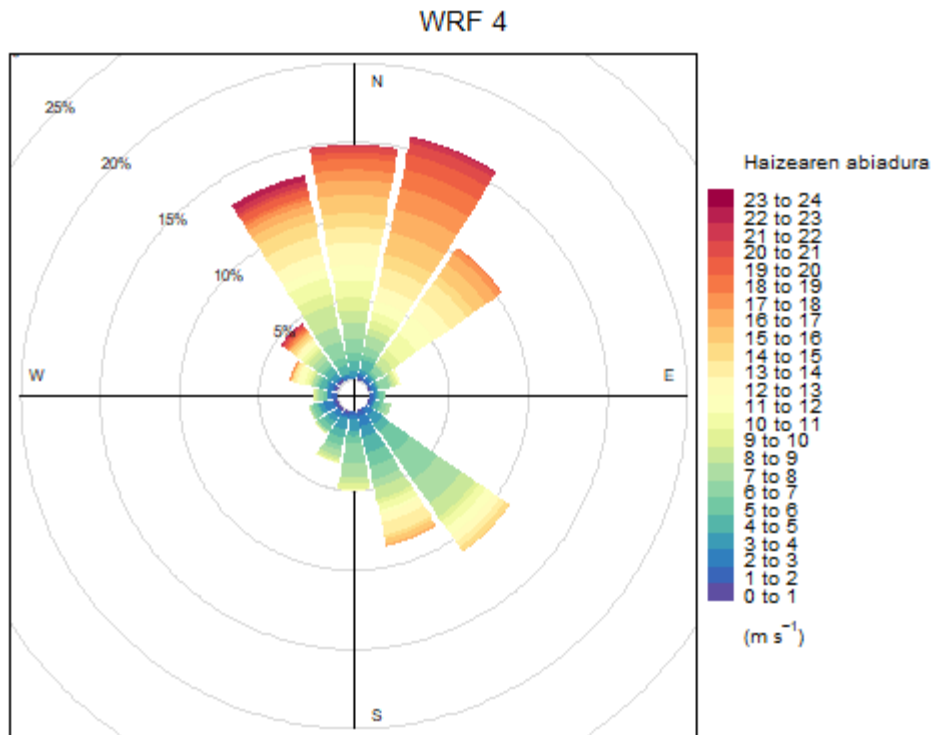
Irudia 3-8. WRF 1 puntuko haize arrosa, 100 metrotan.



Irudia 3-9. WRF 2 puntuko haize arrosa, 100 metrotan.



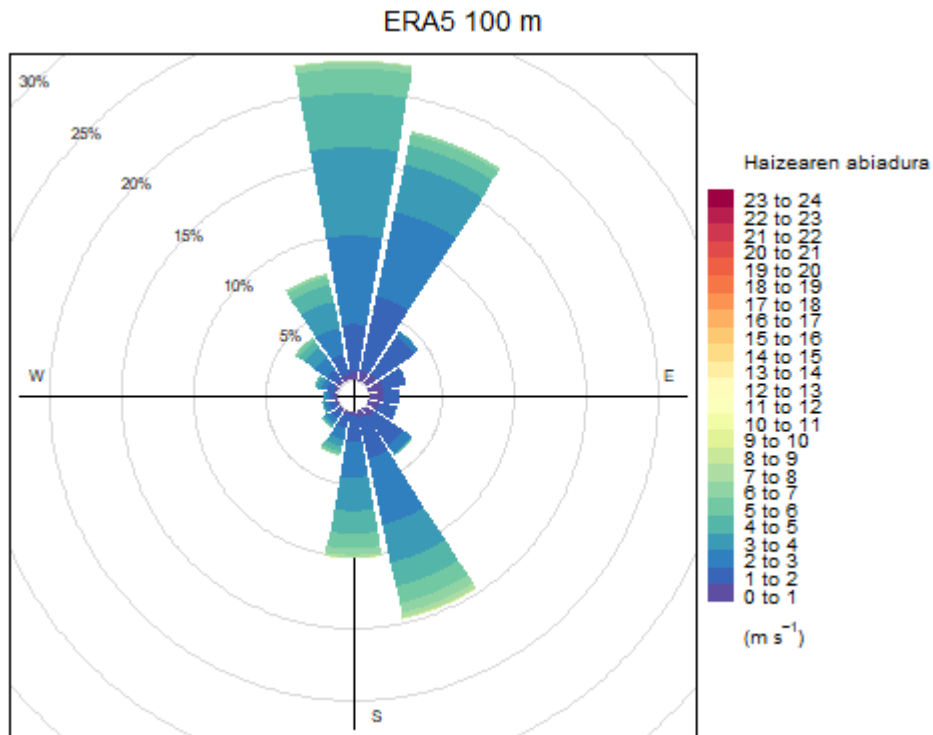
Irudia 3-10. WRF 3 puntuko haize arrosa, 100 metrotan.



Irudia 3-11. WRF 4 puntuko haize arrosa, 100 metrotan.

Normala den moduan, norabidean ez dago aldaketarik, igoera horrek haizearen abiadura datuetan besterik ez du eragina. Datu horien aldaketa argia ikusten da, egoera honetan, haizearen abiadura maximoak 22 m/s-ra ere iristen hirugarren eta laugarren puntuan.

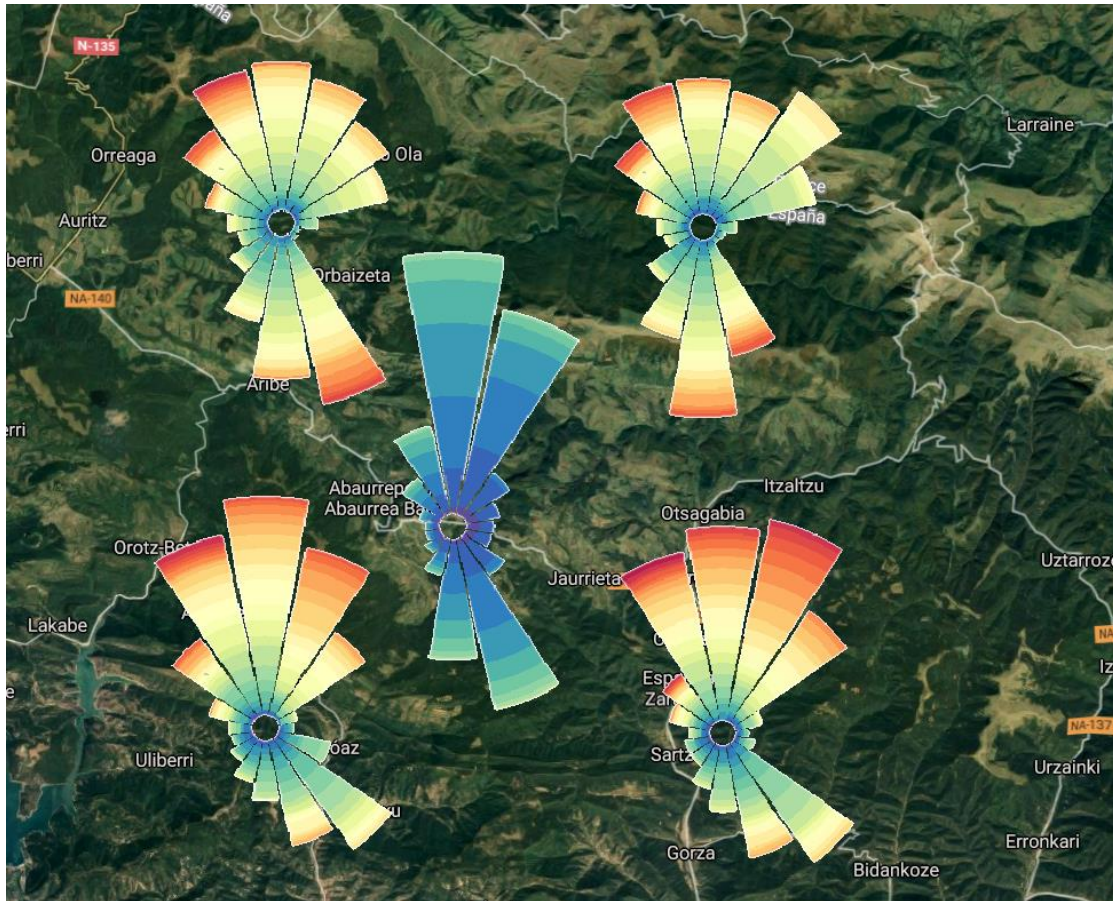
Hurrengo, ERA5 modeloak 100 metrako ematen dituen haizearen ezaugarrien datuekin osaturiko haize arrosa da.



Irudia 3-12. ERA5 puntuko haize arrosa, 100 metrotan.

Ikusi daitekeen moduan (irudia 3-12), ERA5-ek ematen dituen haize abiadurak WRF modeloak ematen dituenak baino askoz ere txikiagoak dira. Oso garrantzitsua da honako datu hauek kontuan izatea, izan ere, hobe da azterketa bat egiterakoan maximoak eta minimoak ondo ezagutzea. Proiektu honetan egin ezin izan den arren, aukerarik honena modelo meteorologiko hauen guztien emaitzak datu errealekin konparatzea da. Era horretan, aukerarik fidagarriena zein den ezagutu eta aurreikuspen hobea egitea lortuko da.

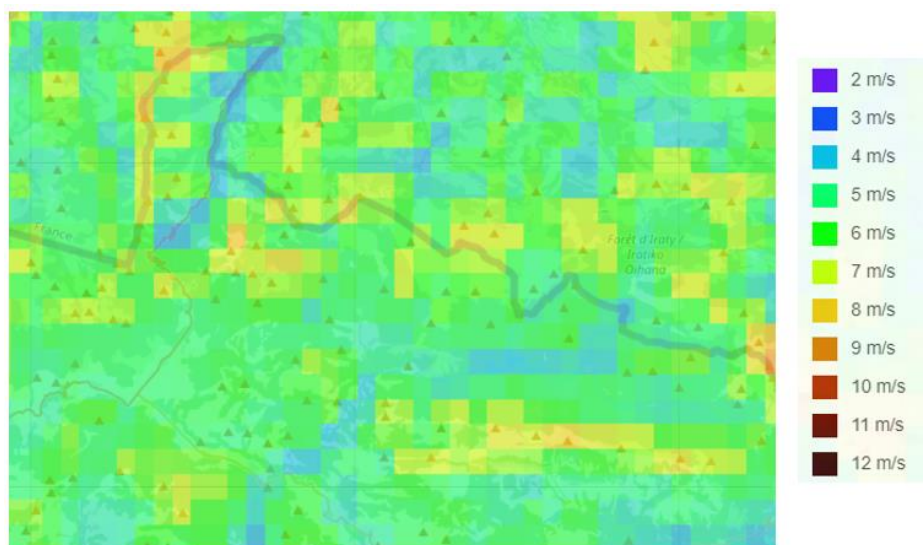
Hurrengo WRF modeloaren eta ERA5 modeloaren haize arrosak mapan dagozkien lekuan kokatuta adierazten dira (irudia 3-13).



Irudia 3-13. WRF eta ERA5 puntuetako haize arrosak 100 metrora mapan kokatuta.

Horietan ondo ikusten da haize abiaduraren datuen arteko desberdintasuna. Hala ere, esan beharra dago, haizearen norabideari dagokionez datuak ia berdinak direla. Bi modeloen konparaketa puntu berdinean egin ezin daitekeen arren, ez dutelako koordinatu berdinetan lan egiten, hurbil dauden puntuen artean konparaketa baliozkoa da horrelako datuen aldaketa dagoenean. ERA5 modeloaren haize arrosa, eremu osoaren ordezkari da horregatik WRF-eko puntu guztiekin antza dauka.

Hurrengoa da IRENA-ren atlas globalarekin 100 m-tara eskuratzen diren datuen mapa.



Irudia 3-14. IRENA-ren atlas globalaren haize abiaduraren mapa, 100 metrotan [54].

Irudian ikusi daitekeen moduan, WRF-aren emaitzekiko nahiko ezberdinak badira ere, ERA5-arenak baina antzekoagoak dira. Izan ere, IRENA-ren datuen arabera, beste modeloekin datuak jaso diren puntuetan 6-9 m/s arteko datuak jasotzen ditu. Esan beharra dago IRENA-k haize abiaduraren batz bestekoa jasotzen duela, aurreko haize arrosetan ordea, haize abiadura puntu maximoak ere azaltzen dira. Hortaz, WRF-ak 9-14 m/s-ko tartean maiztasun handiagoa duela jakinda, datuak nahiko hurbilak dira.

3.1.2.3 WRF 200 metrotan (IRENA)

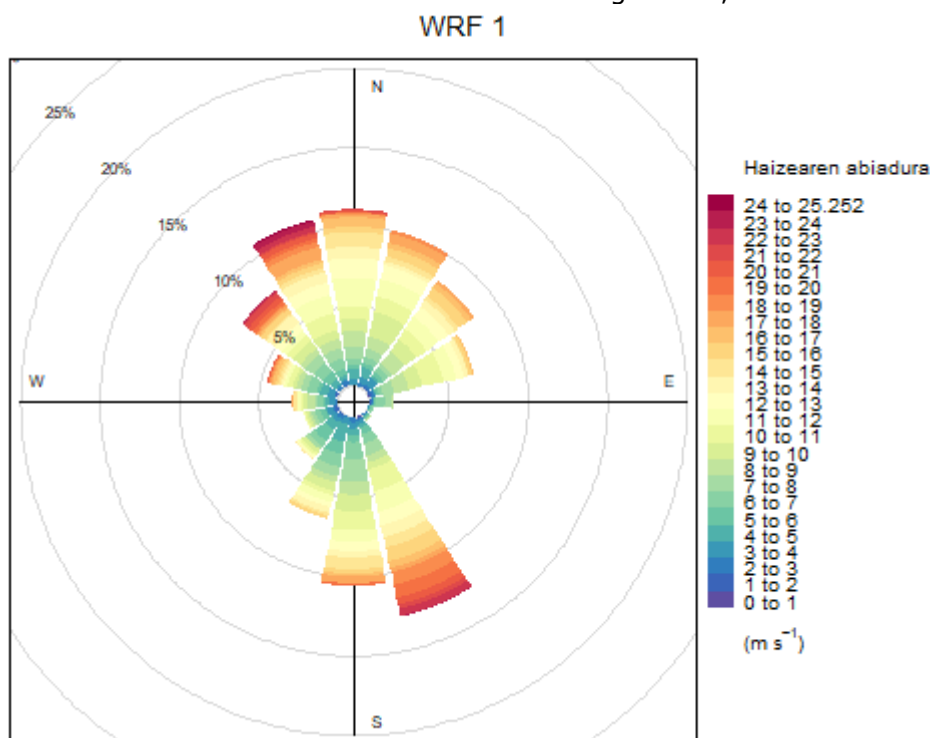
Azkeneko kasurako, WRF modelo 200 metrora igoko da lehen erabili den formula berarekin. Hori horrela, IRENA Atlas Globalak eskaintzen dituen datuekin egingo da konparaketa.

Formula osatzeko zimurdura balio berdina erabiliko da, hortaz horrela geratuko da formula:

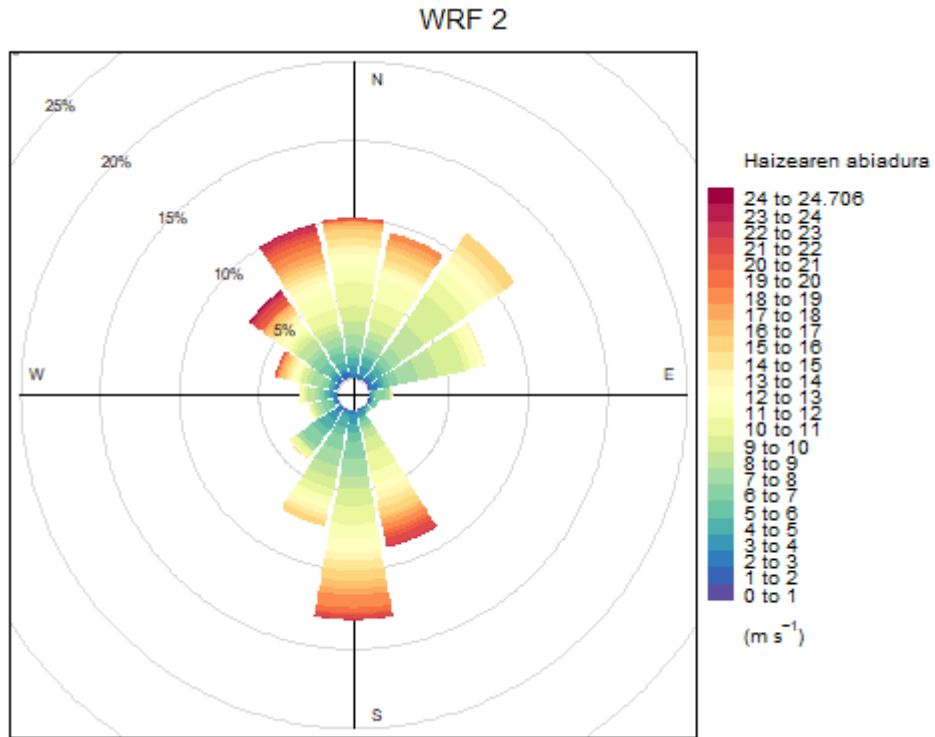
$$\bar{U}_{200} = \bar{U}_{10} \cdot \log\left(\frac{200}{0.25}\right) / \log\left(\frac{10}{0.25}\right)$$

Aldaketa horrek lehen aipatu diren bi abantailak eskainiko ditu berriz, IRENA-rekin ahalbidetzen duen konparazio zehatzagoa eta proiektu honetan aukeratu ez den beste altuera edo diseinua duen turbina batentzako haizearen propietateen azterketa.

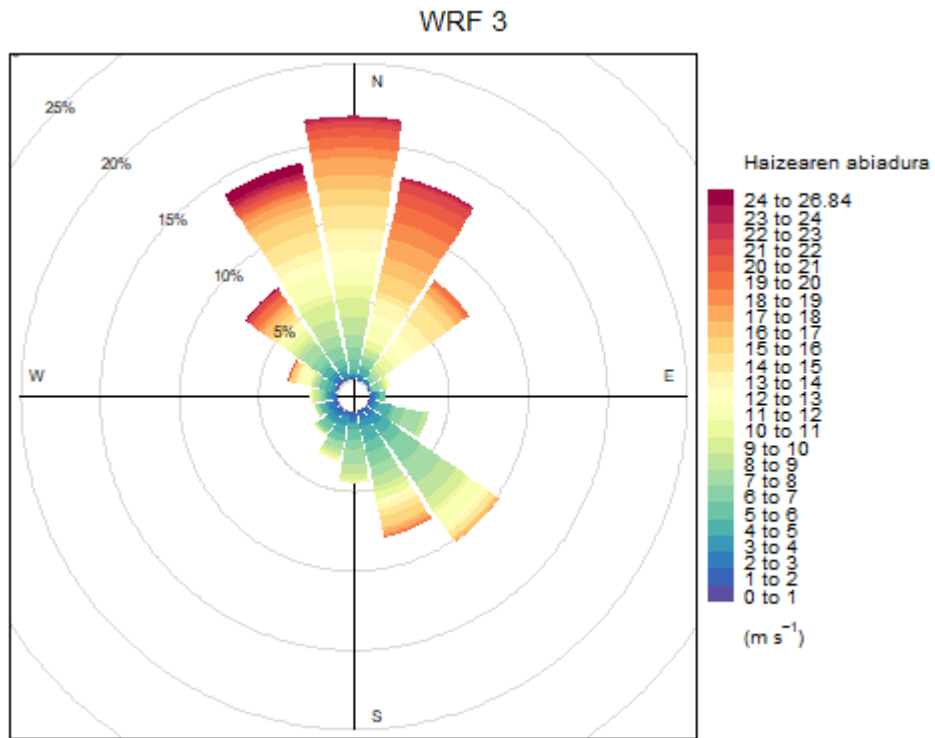
Hurrengo lau irudietan WRF modeloaren haize arrosak ageri dira, 200 metrotako datuekin.



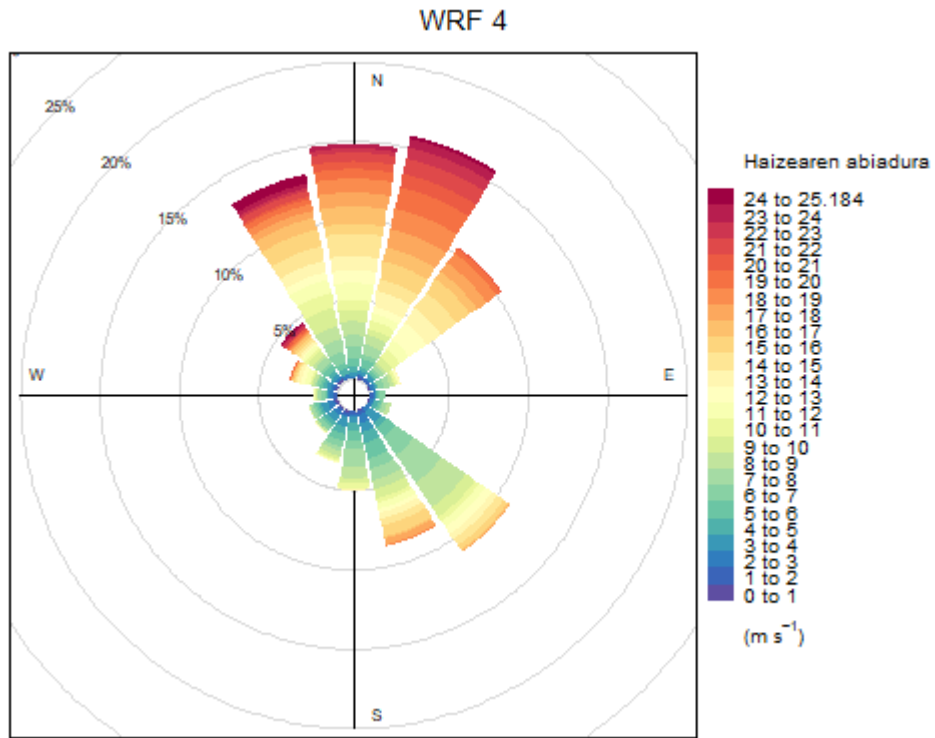
Irudia 3-15. WRF 1 puntuko haize arrosa, 200 metrotan.



Irudia 3-16. WRF 2 puntuko haize arrosa, 200 metrotan.



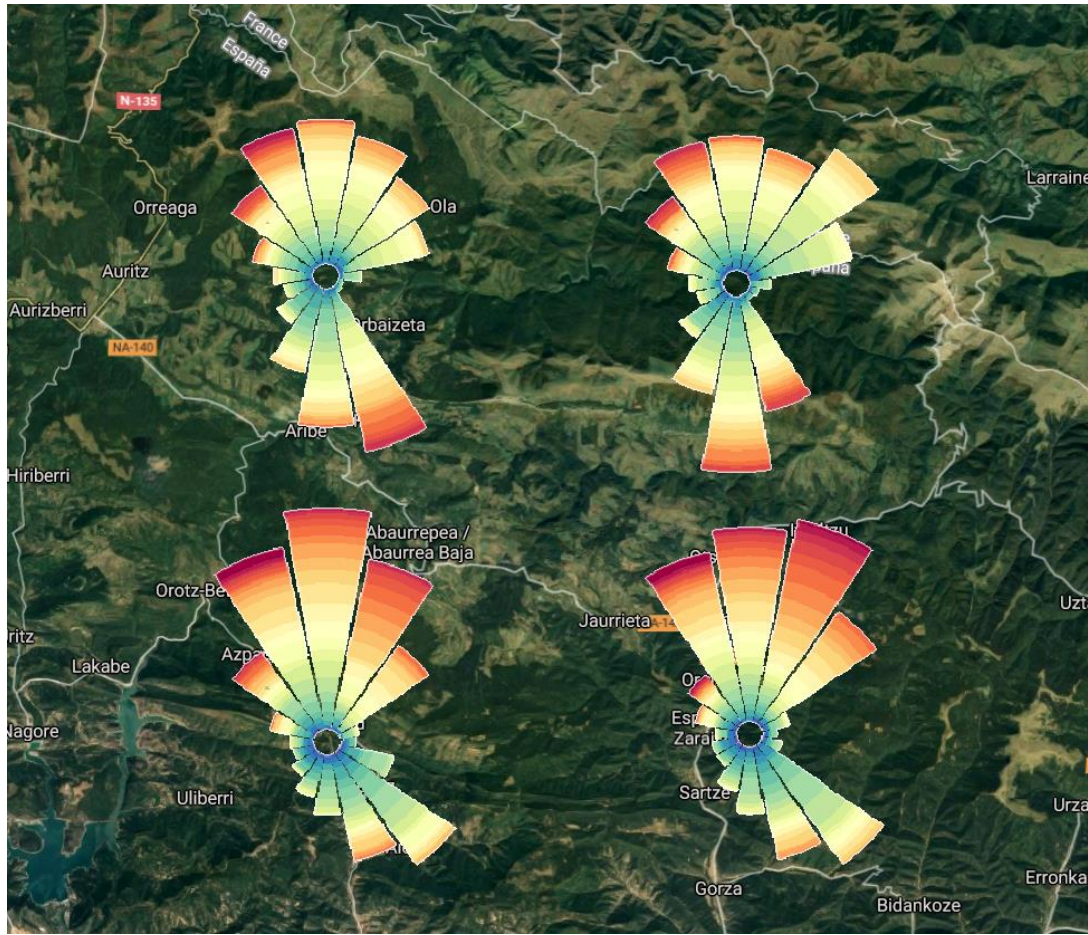
Irudia 3-17. WRF 3 puntuko haize arrosa, 200 metrotan.



Irudia 3-18. WRF 4 puntuko haize arrosa, 200 metrotan.

Aurrekoan bezala, hauetan ere argi ikusten da nola altuera handitu ahala orduan eta haize abiadura altuagoak egongo diren.

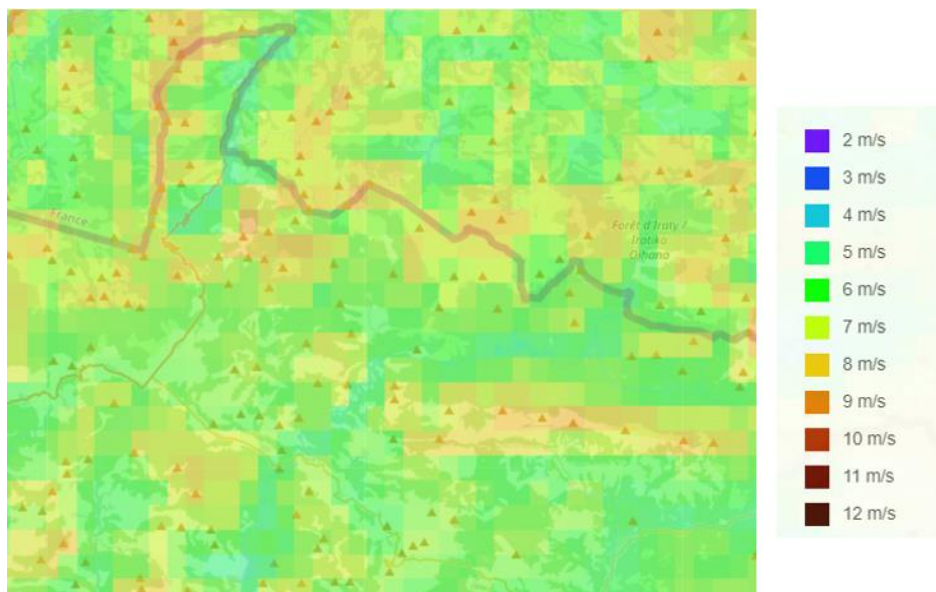
Hurrengo da WRF-ekin eskuraturiko 200 metrotan dauden haize arrosen adierazpena maparen gainean (irudia 3-19).



Irudia 3-19. WRF puntuetako haize arrosa 200 metrora mapan kokatuta.

Mapa horrekin argiago ikusten da puntuen arteko abiadura aldaketa. Aipatzekoa da, lehenengo bi puntuak aurkitzen diren eremuko mendien altitudea handiagoa izan arren, puntu horietan zehazki zimurtasun faktore nahiko handia dago, beraz, haizeari oztopoak jartzen dizkiote.

Hurrengoa da IRENA-k eskaintzen duen zonaldeko haize abiaduraren mapa (irudia 3-20).



Irudia 3-20. IRENA-ren atlas globalaren haize abiaduraren mapa, 200 metrotan [54].

IRENA-ren maparen arabera, argi ikusten da WRF modeloaren puntuen zonaldean haizearen abiadura handiagoa dela, bailara osoarekin alderatuta. Gainera, IRENA-k eskaintzen dituen datuen arabera, haizearen abiaduraren balioak WRF-en puntuetan 9-10 m/s-koak dira. Ondorioz, haize arrosen maiztasun handien duten abiaduren oso gertu daude, antzekotasun handiago du beraz WRF-ak IRENA-rekin ERA5-ekin baino.

Hori horrela, WRF eta IRENA-ren datuen ezberdintasuna dela eta, hurrengo atalean IRENA erabiliko denez mendilerroen azterketa egiteko, 200 m-ko altuerakoa erabiliko da, horrela WRF-ek eskaintzen dituen 100 m-tako altuerako datuetatik hurbilago egoteko. Hori erabaki da, proiektu honetan aukeratu den turbinaren altuera 100 m-tatik hurbilago dagoelako.

3.1.3 Mendilerroen azterketa

Proiektua, aurretik azaldu den bezala, Nafarroako Aezkoa bailaran kokatuta dago. Hurrengo ataletan egingo den analisia egiteko, bailaran dauden mendiak identifikatu egin dira.

Pirinioetatik hurbil dagoen zonaldea da eta beraz, mendi gehienek 1000 m baino gehiago dauzkate. Hala ere, atal honetan mendi guztiak aurkeztuko badira ere, hurrengo ataletan horien bereizketa bat egitea beharrezkoa izango da eta bertan tontor bakoitzaren ezaugarriak sakonago aztertuko dira, horietan jotzen duen haizearen analisiarekin batera.

Mendi guztiak ez erabiltzearen arrazoia bakoitzaren ezaugarrietan datza. Euskal Herrian, orokorrean, baso ugari dago eta berdina gertatzen da Aezkoan. Bailara barnean dauden mendiak erreparatzean, askoren tontorreraino basoa iristen dela ikus daiteke. Lan honetan egingo den analisiaren helburua, energia berriztagarriekin loturik dago, energia eolikoarekin hain zuzen ere. Beraz, proiektuaren memorian aerosorgailuak eraikitzeke diseinurik egiten ez den arren, horrelako bat eraiki aurretik egiten diren ikerketak egiten dira, etorkizunean parke eoliko bat eraiki nahi izanez gero, eskuratutako datuak baliagarriak izango direlakoan.

Azterketa hori egiteko tontorrak mendilerroetan antolatu dira eta ondoren mendien ezaugarri nagusiak bereizteko taula bat osatu da. Horretan, tontor bakoitzaren altitudea adierazten da lehenengo; bigarren zutabea, tontorrera iristeko erraztasuna adieraziko da eta azkenengo zutabeetan tontorrean edo inguru hurbilean oztoporen bat (basoa, antenak...etab.) dauden adieraziko da zimurtasunaren eskala batekin.

IRISGARRITASUNA	
Oso ona	5
Ona	4
Bitartekoa	3
Txarra	2
Oso txarra	1

Taula 3-2. Irisgarritasuna ebaluatzeko erabilitako zenbakizko eskala.

BEGETAZIOA	ZIMURTASUNA Z_0 (mm) (Begetazioa)	
Belardia	0.01	5
Sastraka	10	4
Zuhaitz gutxi	100	3

Zuhaitz dezente	250	2
Pinudiak / Baso itxia	500	1

Taula 3-3. Zimurtasuna ebaluatzeko erabilitako zenbakizko eskala.

Azterketarako irizpide horiek bakarrik kontuan hartu diren arren, beste faktore batzuk ere balioztatu behar dira, hala nola inguruko ehiza-komunitatea, edo parke eolikoak jartzearen aurka beren ikuspuntua defendatzen duten gizarte-taldeak, ikusmen-, ingurumen-, nortasun-, kultura- eta are afektibitate-inpaktuengatik, eta horrek gizarte-erresistentzia handia ekar lezake.

Zerra bakoitzari dagokion atalean, mendilerroaren satellite mapa bat atxiki zaio, horrela mendien kokapena nolako den ezagutzera emateko. Mapa horietan tauletan ageri ez diren zenbait tontor agertzen dira, taulan horietako batzuk jaso dira zonaldea aztertu ahal izateko.

Taulan haizearen abiadura zehazteko, 3.1. atalean, biztanleria kontzentrazioak identifikatzeko erabili den IRENA-ren atlas globala erabiliko da. WRF eta ERA5 modeloekin alderatuta, zehaztasun handiagoa du eta beraz, tontor bakoitzarentzako datuak eskuratu daitezke. Beraz, taularekin batera, mapa horren irudia ere atxikiko zaio mendilerro bakoitzari.

Garrantzitsua da aipatzea alde nabarmena dagoela 3.1.2 atalean adierazten diren haize arrosen batez besteko abiaduren eta tauletan adierazitakoaren artean. Hori, taulen abiadurak IRENA-ren Global Atlas-en bidez lortu direlako gertatzen da; izan ere, nahiz eta zenbait faktore garrantzitsu kontuan hartu ez, bereizmen handiagoa du. Haize-arrosak, berriz, WRF eta ERA5-en datuetatik abiatuta eraiki dira. Datu horiek, oro har, emaitza fidagarriagoak izan arren, askoz bereizmen txikiagoa dute.

3.1.3.1 Abaurrea mendilerroa



Irudia 3-21. Abaurrea mendilerroaren kokapena mapan.

Abaurrea mendilerroa Hiriberri herriaren hegoaldean eta Abaurrepearen iparraldean kokatzen den zerra da. Aurretik esan bezala, Pirineotatik hurbil dagoen zonaldea izanda, tontor gehienak 1000 metrotik gorako garaiera dute.

Hurrengo mapan, tontor horiek adierazten dira dagozkien altitudearekin batera:



Irudia 3-22. Abaurrea mendilerroaren tontorrek [55].

Argi geratzen den moduan, mendilerro hau zenbait herritatik oso hurbil aurkitzen da, horrek parke eoliko baten eraikuntzaren erabakiaren aurka egin dezake, zonalde horietan izan ditzakeen inpaktuen ondorioz.

Aurreko mapako zenbait tontorren azterketa egin da hurrengo taulan ikusi daitekeen moduan.

Mendia	Altitudea (m)	\bar{U} (200 m)	Irisgarritasuna	Z ₀
Artekia	1025	6.4	4	2
Bonbagaina	1188	6.4	2	1
Gazteluaundi	1081	6.1	3	2
Gaztelutxia	1061	6.7	3	2
Gazteluzar	1156	6.7	5	3
Itzagibel	1169	6.4	5	4
Mitxiliburua	1063	6.7	5	4
San Miguel	1138	6.1	3	1
Ugatreina	1171	6.4	3	3

Taula 3-4. Abaurrea mendilerroaren tontorren azterketa.



Irudia 3-23. IRENA, Aburrea mendilerroaren haizearen abiadura mapa [54].

IRENA-ren atlas globalarekin eskuraturiko haizearen abiaduraren batz besteko datuei dagokienez, zonaldean potentzial nahiko ona dago. Hala ere, taulan adierazten diren beste aldagaiei erreparatuz, irisgarritasuna oso txarra ez bada ere, zonaldean dauden baso, herri eta erliebeak zimurtasun faktorean eragina du. Hortaz, aukera hobeak daudenez gero, proiektu honen irizpideak jarraituta, Aburreako mendilerroa ez da parke eoliko bat eraikitzeko aukera egokia.

3.1.3.2 Abodi mendilerroa



Irudia 3-24. Abodi mendilerroaren kokapena mapan.

Abodi mendilerroa Hiriberri eta Orbaizetaren ekialdera kokatuta dagoen zerra da. Hurrengo mapan ikusi daitekeen moduan, badauzka zenbait tontor aurreko herri horietatik hurbil daudenak. Hala ere, maparen bigarren zatiari erreparatuta, argi ikusten da zein den mendilerro honen luzera eta ezker aldean herrietatik hurbil geratzen diren herriez gain, ekialdera bidean zibilizaziotik nahiko urrun dauden tontor ugari aurkitzen direla.



Irudia 3-25. Abodi mendilerroaren mendebaldeko tontorrak [55].



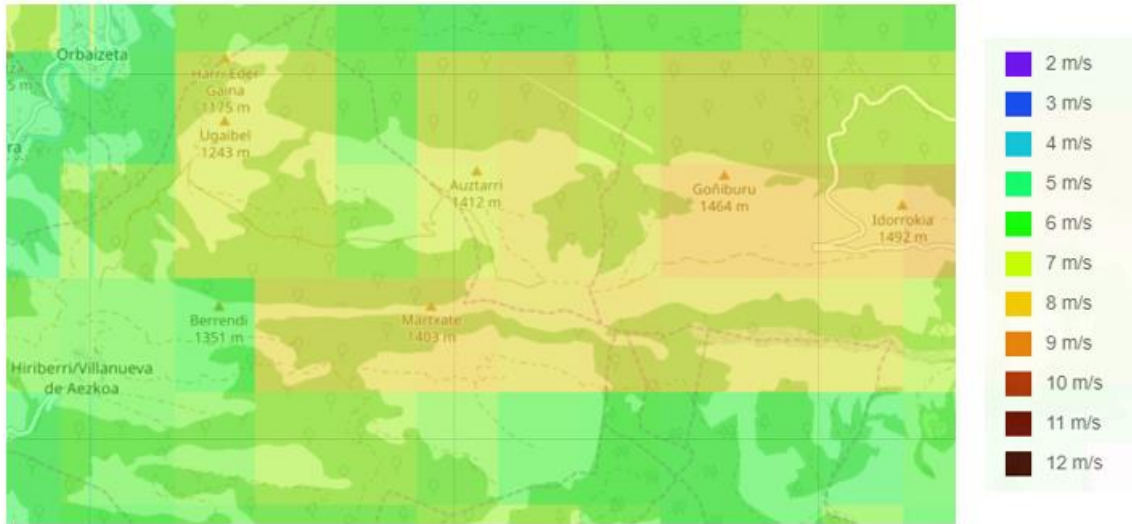
Irudia 3-26. Abodi mendilerroaren ekialdeko tontorrak [55].

Aurreko mapako zenbait tontorren azterketa egin da hurrengo taulan ikusi daitekeen moduan.

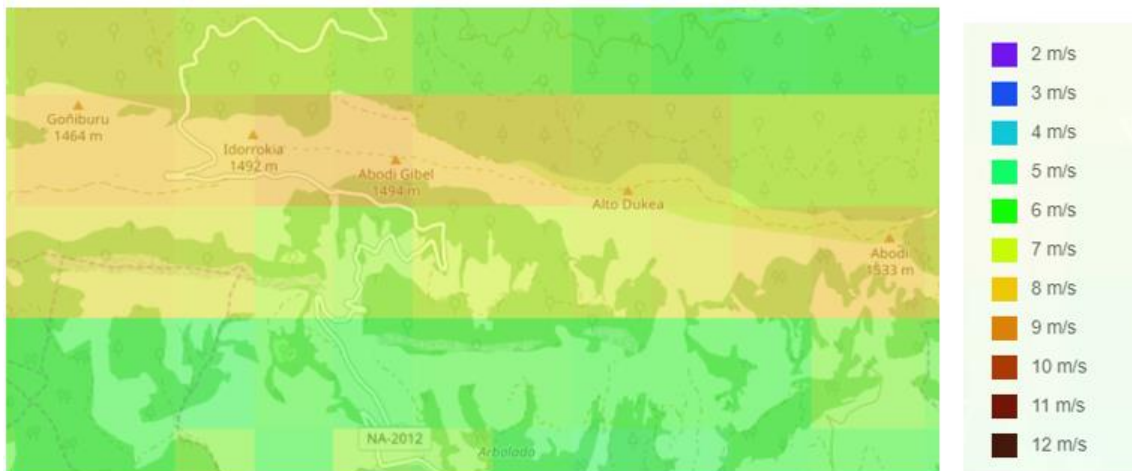
Mendia	Altitudea (m)	\bar{U} (200 m)	Irisgarritasuna	Z ₀
Abodi	1531	8.1	5	5
Abodi oeste	1496	8.4	5	5
Artatxo	1078	7.4	4	5
Auztarri	1416	7.2	5	5
Azalegi	1165	7	5	5
Berrendi-Abodi	1354	6	2	1

Goñiburu	1461	8.1482	4	5
Harri Eder Gaina	1175	7.3	2	1
Idorrokia	1491	7.9	5	5
Martxate	1403	7.8	3	1
Pettuberro	1096	5.9	2	2
Ugaibel	1243	7.3	4	3

Taula 3-5. Abodi mendilerroaren tontorren azterketa.



Irudia 3-27. IRENA, Abodi mendilerroaren mendebaleko haizearen abiaduraren mapa [54].



Irudia 3-28. IRENA, Abodi mendilerroaren ekialdeko haizearen abiaduraren mapa [54].

Satelite maparekin egin den moduan, IRENA atlas globaletik eskuraturiko datuen mapa ere bi zatitan banatu da mendilerroaren luzera dela eta. Taulan zein mapetan ikusi daitekeen bezala, zonaldea oso haizetsua da, hori batez ere, tontorretara basoa ez iristearen ondorio izan daiteke, hori berez, mendien altitudearen eragina da.

Beste aldetik, irisgarritasun aparta duen zerra da, tontor guztietatik hurbil errepideren bat ageri da, gainera, tontorrera pista dago gehienetan. Azkenik, aurretik aipatu den bezala, tontorren garaiera eta basoaren faltaren ondorioz, zimurtasun faktorea txikia da. Horregatik guztiagatik, mendilerro honek dauzkan ezaugarriak ezin hobek dira parke eoliko baten eraikuntzarako.

3.1.3.3 Areta mendilerroa



Irudia 3-29. Areta mendilerroaren kokapena mapan.

Areta mendilerroa Abaurreagaina herriaren mendebaldean dago kokatuta, Aezkoa bailararen mugan zehazki. Abaurreagaina eta Abaurrepea herriak eta Orotz-Betelu herriez gain, ez dauka inguruan beste biztanleria kontzentrazio handirik. Hala ere, kontuan izan behar da herri horien eta zerraren arteko distantzia ez dela oso handia eta beraz horrek arazoak sor ditzake.

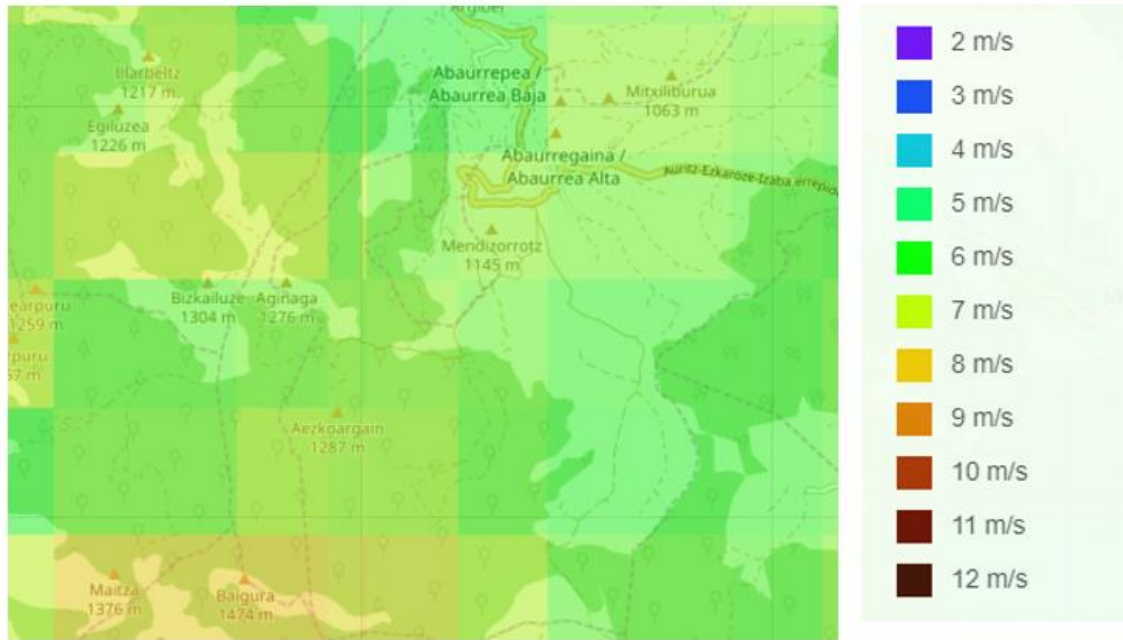


Irudia 3-30. Areta mendilerroaren tontorrak [55].

Aurreko mapako zenbait tontorren azterketa egin da hurrengo taulan ikusi daitekeen moduan.

Mendia	Altitudea (m)	\bar{U} (200 m)	Irisgarritasuna	Z ₀
Baigura	1477	7.8	1	1
Bizkailuz	1341	7.1	3	2
Egiluzea	1226	6.5	4	4
Mendizorrotz	1145	6.6	4	3

Taula 3-5. Aretan mendilerroaren tontorren azterketa.



Irudia 3-31. IRENA, Areta mendilerroaren haizearen abiaduraren mapa [54].

Mendilerroaren inguruak oso haizetsuak badira ere, aztertu diren tontorren erdiak oso irisgarritasun txarra eta zimurdura faktore altua dute. Horrek eta hasieran aipaturiko herriekiko hurbiltasunak, proiektu honen arabera ematen zaizkion ezaugarriak txarrak izatea suposatzen du. Beraz, mendilerro hau, ez da kontuan izango gerora garatuko diren parke eolikoaren atalean.

3.1.3.4 Garralda mendilerroa



Irudia 3-32. Garralda mendilerroaren kokapena mapan.

Garralda mendilerroa, Garralda herriaren iparraldean aurkitzen da. Inguruko herri handi bakarra den arren, zonaldean baserri ugari agertzen dira. Gainera, mendilerroko tontorrek orokorrean basoz inguratuta daude eta altitude ezberdintasun nabarmena dago tontorra eta inguruko zonaldeen artean.

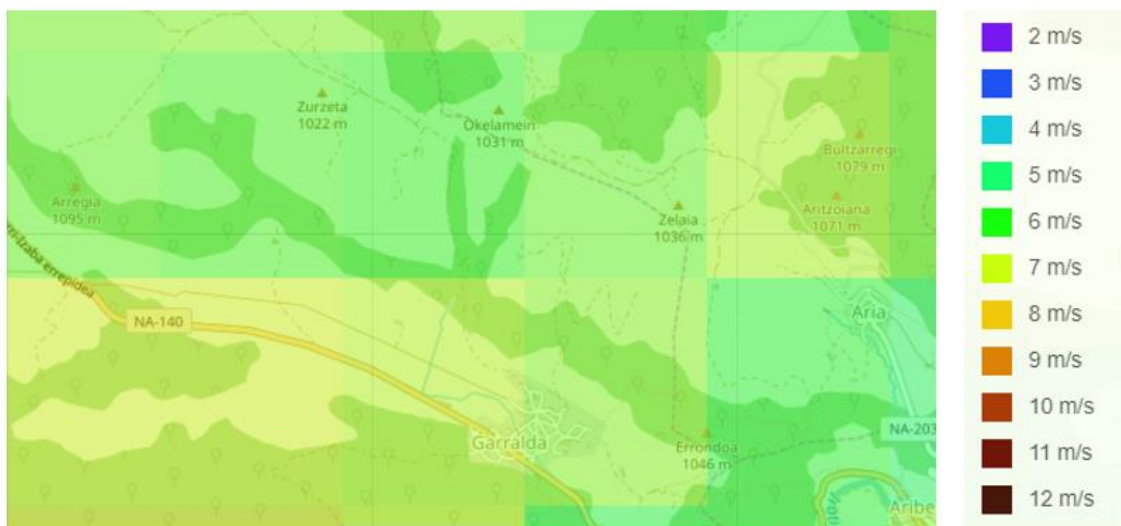


Irudia 3-33. Garralda mendilerroaren tontorrak [55].

Aurreko mapako zenbait tontorren azterketa egin da hurrengo taulan ikusi daitekeen moduan.

Mendia	Altitudea (m)	\bar{U} (200 m)	Irisgarritasuna	Z ₀
Arregia	1095	6.4	4	3
Bultzarregi	1079	6.5	4	1
Erodoa	1046	5.9	2	1

Taula 3-6. Garralda mendilerroaren tontorren azterketa.



Irudia 3-34. IRENA, Garralda mendilerroaren haizearen abiaduraren mapa [54].

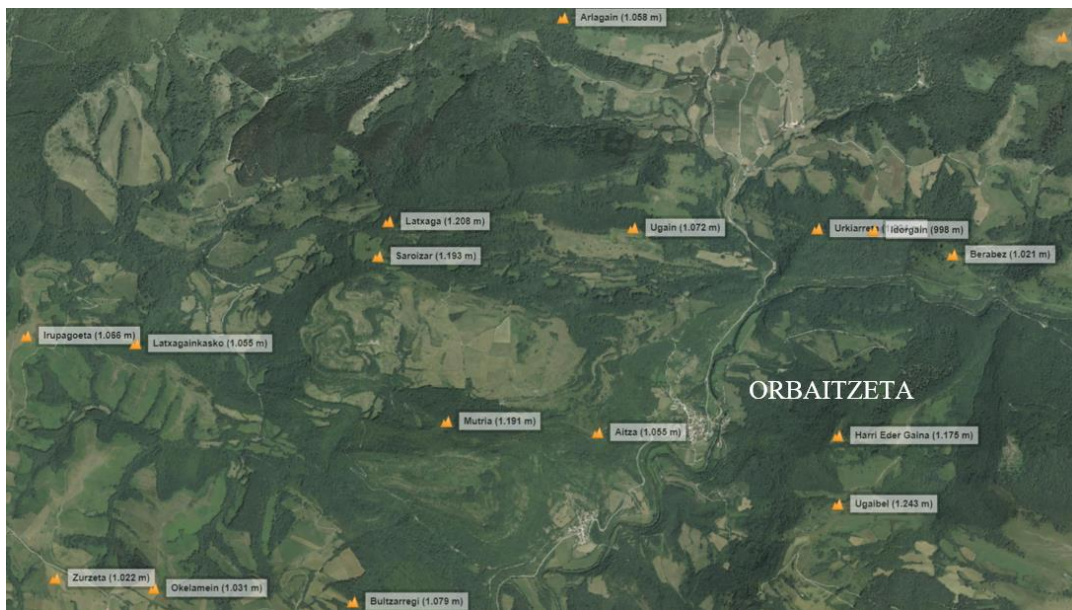
Datuei dagokienez, zonaldean haize potentzial oso ona dago eta irisgarritasuna orokorrean oso ona da, zonaldean sakabanatuta dauden etxebizitzien ondorioz. Hala ere, aurreko arrazoi beragatik eta erliebearen ezaugarri aldakor eta basoz estalitako tontorren ondorioz, mendilerro honetan ez da parke eolikorik ezarriko.

3.1.3.5 Latxaga mendilerroa



Irudia 3-35. Latxaga mendilerroaren kokapena mapan.

Latxaga mendilerroa Orbaizeta herriaren ipar-mendebaldean kokatzen da. Honako zerra honek, aurreko Garralda mendilerroaren antzeko ezaugarriak dauzka. Mendilerroak duen erliebearen eta aurkitzen diren basoen ezaugarriak, parke eoliko bat eraikitzeko beharrezkoak diren aurkakoak dira. Zonaldean Orbaizeta da dagoen herri bakarra, gainera, Garraldan ez bezala, ez da baserri edo etxebizitza ugari agertzen mendien artean.

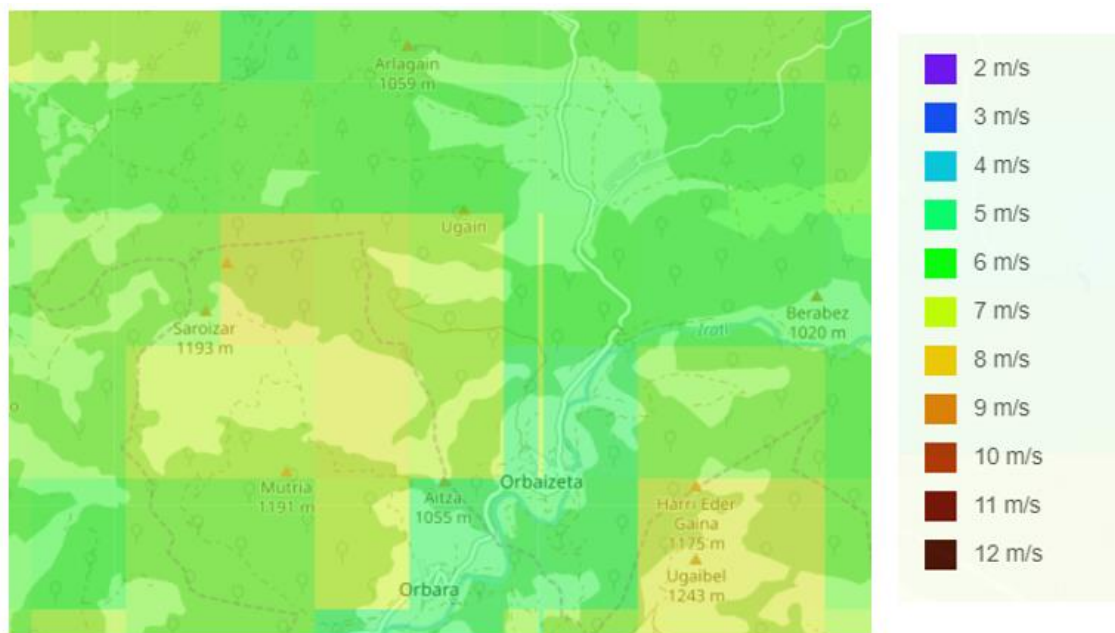


Irudia 3-36. Latxaga mendilerroaren tontorrak [55].

Aurreko mapako zenbait tontorren azterketa egin da hurrengo taulan ikusi daitekeen moduan.

Mendia	Altitudea (m)	\bar{U} (200 m)	Irisgarritasuna	Z ₀
Aitza	1055	7	2	2
Arlagain	1058	6.3	2	1
Latxaga	1204	6.6	3	2
Mutria	1191	6.5	3	1
Saroizar	1193	6.6	3	4
Ugain	1072	6.1	4	3

Taula 3-7. Latxaga mendilerroaren tontorren azterketa.



Irudia 3-37. IRENA, Latxaga mendilerroaren haizearen abiaduraren mapa [54].

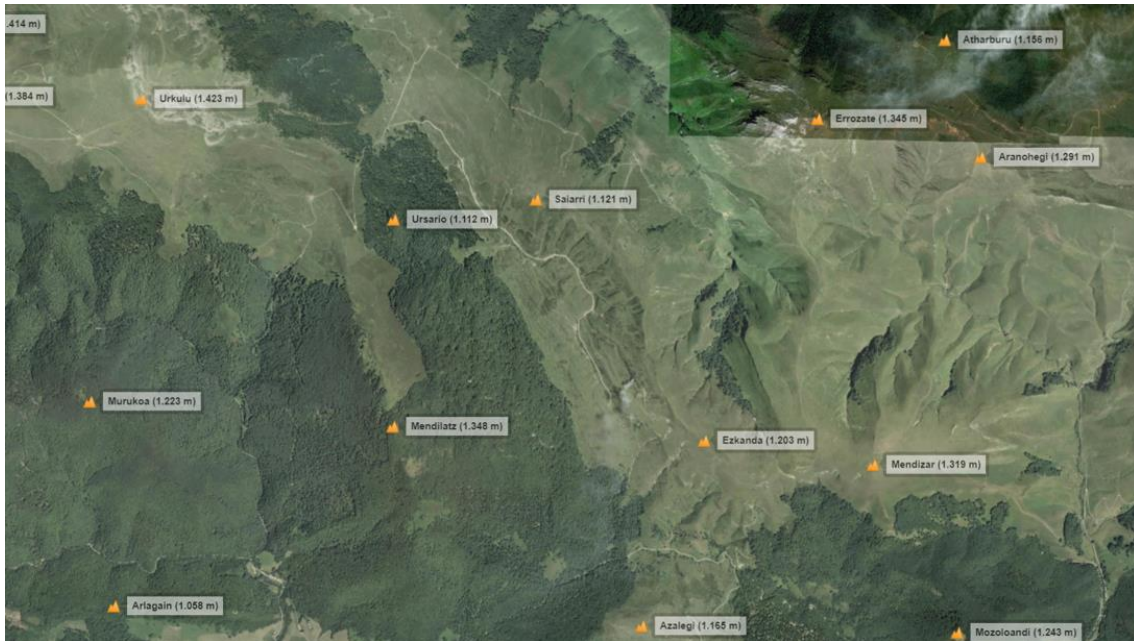
Datu horiek adierazten duten moduan, zonalde haizetsua bada ere, irisgarritasun txarra du, seguruenik etxebizitza gutxi daudelako inguruan. Gehitzeko, agertzen diren basoen eta erliebeak sortzen dituen oztopoen ondorioz, zimurtasun faktorea handiegia da bertan parke eoliko bat eraikitzeko.

3.1.3.6 Mendilatz mendilerroa



Irudia 3-38. Mendilatz mendilerroaren kokapena mapan.

Mendilatz mendilerroa Aezkoa bailararen iparraldeko mugan kokatuta dago. Pirinioekiko hurbiltasunak, mendien altitudeak handiagoak izatea eragiten du, beraz, bertan agertzen diren basoak eta landaredia ez dira ugariak. Horrez gain, altitude horri esker, ez da inguruan herririk ez etxebizitzarik ageri.



Irudia 3-39. Mendilatz mendilerroaren tontorrak [55].

Aurreko mapako zenbait tontorren azterketa egin da hurrengo taulan ikusi daitekeen moduan.

Mendia	Altitudea (m)	\bar{U} (200 m)	Irisgarritasuna	Z ₀
Mendilatz	1348	6.4	2	2
Saiarri	1121	7.5	5	5
Ursario	1112	6.5	5	5

Taula 3-8. Mendilatz mendilerroaren tontorren azterketa.



Irudia 3-40. IRENA, Latxaga mendilerroaren haizearen abiaduraren mapa [54].

Aztertu diren hiru tontorretatik bakarrean daude iristeko eta baso egotearen arazoak. Hala ere, argi ikusi daitekeen moduan, zonalde oso haizetsua da. Orokorrean irisgarritasun oso ona du eta mendilerroaren tontorretan zelaia agerienez, zimurtasun faktore txikia du. Horregatik eta zonaldearen zabaleragatik, parke eolikoa eraikitzeko leku aproposa da.

3.1.3.7 Mendizar mendilerroa



Irudia 3-41. Mendizar mendilerroaren kokapena mapan.

Mendilatz mendilerroaren antzera, Mendizar mendilerroa Aezkoa bailarako iparraldeko mugatik hurbil dago kokatuta. Orokorrean biztanleria gutxiko eremua da, Urkiarreta tontorrari itsatsita dago zonaldean ageri den etxebizitza multzo bakarra.



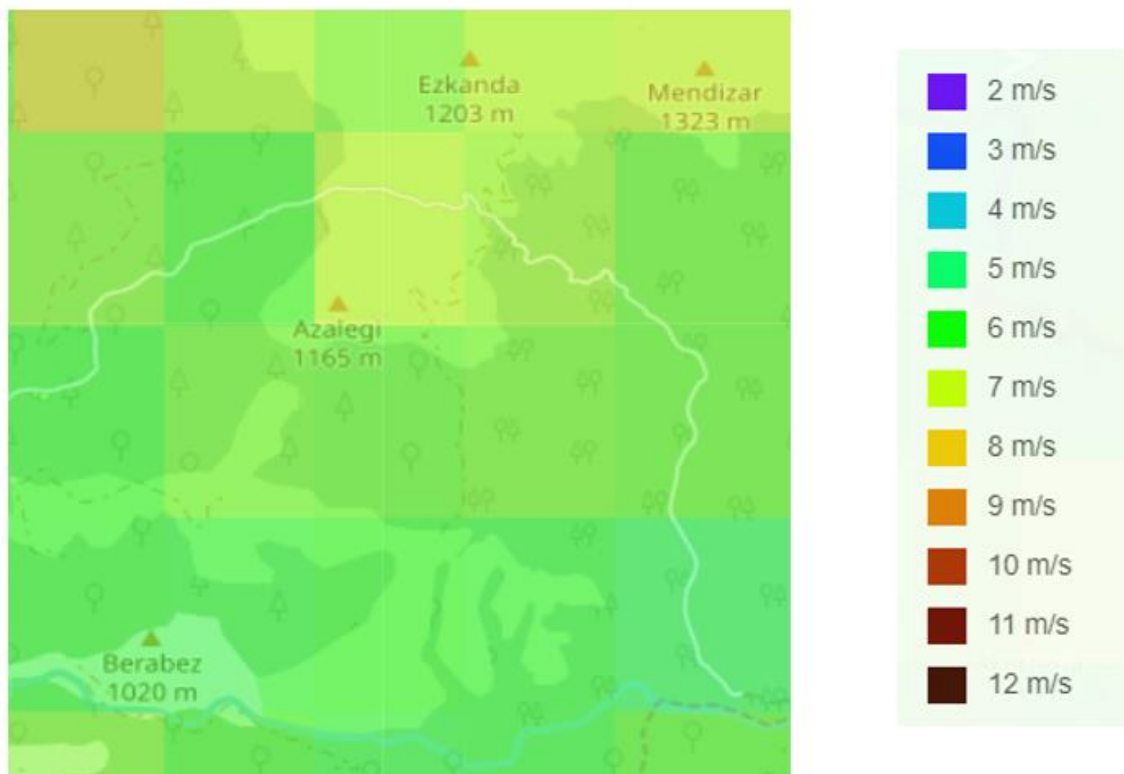
Irudia 3-42. Mendizar mendilerroaren tontorrak [55].

Aurreko mapako zenbait tontorren azterketa egin da hurrengo taulan ikusi daitekeen moduan.

Mendia	Altitudea (m)	\bar{U} (200 m)	Irisgarritasuna	Z_0
Aritzelatx	1143	6.8	5	4
Berabez	1021	5.9	2	2
Ezkanda	1203	6.5	4	5

Idorgain	998	5.9	3	2
Mendiziar	1323	7.1	4	5
Urkiarreta	1004	5.9	3	2

Taula 3-9. Mendiziar mendilerroaren tontorren azterketa



Irudia 3-43. IRENA, Mendiziar mendilerroaren haizearen abiaduraren mapa [54].

Zonaldean dagoen haizearen abiadura nahiko ona da. Beste aldagaiei dagokienez, bi multzotan banatu daiteke mendilerro hau. Iparralderago dauden tontorrek (Ezkanda, Mendiziar eta Aritzelatx) zimurtasun oso txikia dute baina irisgarritasuna okerragoa da. Hegoalderago daudenak (Urkiarreta, Idorgain eta Berabez), biztanleria kontzentrazio puntuetatik hurbilago daudenez, irisgarritasun hobea dute, baina altitude txikiagoak, zimurtasunaren faktorea handiagotzea eragiten du. Hala ere, orokorrean proiektuari dagozkion aldagaiekiko erlazio ona azaltzen denez, parke eolikoa eraikitzek leku egokitzat emango da.

3.1.3.8 Mozolo mendilerroa



Irudia 3-44. Mozolo mendilerroaren kokapena mapan.

Mozolo mendilerroa ere iparraldean dago kokatuta, mugatik oso hurbil. Hala ere, Iratiko Oihanetik hurbil egotearen ondorio dira bertako baso itxiak eta landaredia ugariak. Hala ere, mendilerroaren azterketa egitea erabaki da, zonalde haizetsua denez gero, ekoizpen handiago behar izatekotan aukeratzat jo baitaiteke. Hurrengo mapan (irudia 3-45) ikusi daitekeen moduan, inguruan ez da herririk edo etxebizitzarik ageri.



Irudia 3-45. Mozolo mendilerroaren tontorrak [55].

Aurreko mapako zenbait tontorren azterketa egin da hurrengo taulan ikusi daitekeen moduan.

Mendia	Altitudea (m)	\bar{U} (200 m)	Irisgarritasun a	Z ₀
Mozoloandi	1243	6.4	1	2
Mozolotxiki	1255	6.3	1	1

Taula 3-10. Mozolo mendilerroaren tontorren azterketa.



Irudia 3-46. IRENA, Mozolo mendilerroaren haizearen abiaduraren mapa [54].

Lehen esan bezala, zonalde haizetsua bada ere, irisgarritasuna eta zimurtasun ezaugarriak oso txarrak dira. Horregatik, beharrezkoa ez bada, eta aukera hobeak daudela jakinda, ez da parke eolikoa eraikitzeko aukeratzat izango.

3.1.3.9 Ortzantzurieta mendilerroa



Irudia 3-47. Ortzantzurieta mendilerroaren kokapena mapan.

Ortzantzurietako mendilerroa Aezkoa bailarako ipar-mendebaldean dago kokatuta. Horretan, ezaugarri oso ezberdinak dituzten bi tontor aukeratu dira azterketa burutzeko. Horren iparraldean egotearren eta altitude handien ondorioz, zonaldean ez da etxebizitza edo herririk ageri.

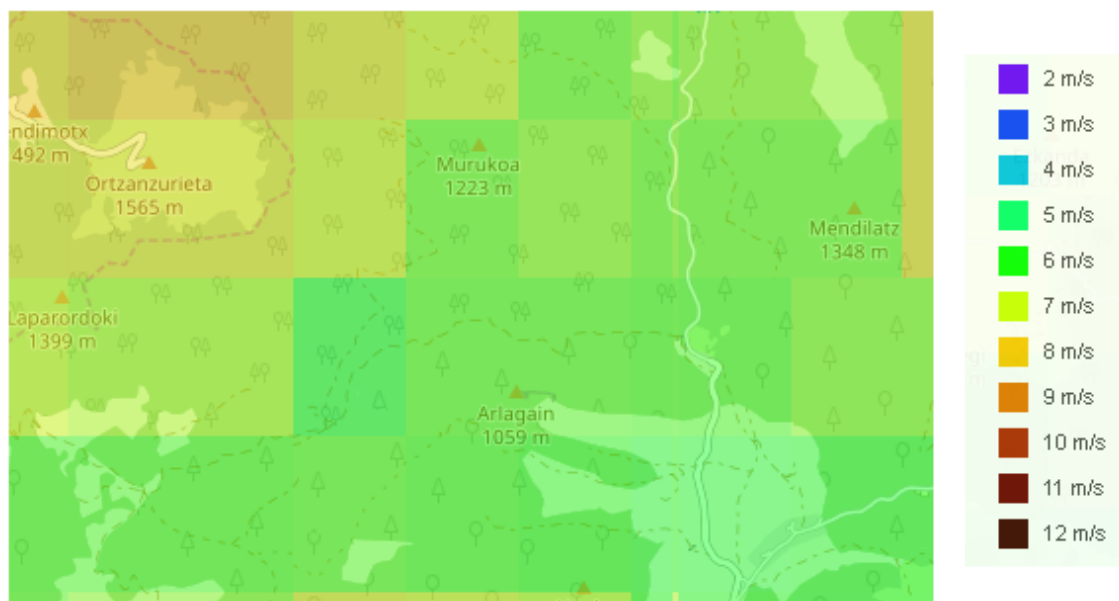


Irudia 3-48. Ortzantzurieta mendilerroaren tontorrak [55].

Aurreko mapako zenbait tontorren azterketa egin da hurrengo taulan ikusi daitekeen moduan.

Mendia	Altitudea (m)	\bar{U} (200 m)	Irisgarritasuna	Z ₀
Murukoa	1223	6.4	1	1
Ortzantzurieta	1566	7.6	5	5

Taula 3-11. Ortzantzurieta mendilerroaren tontorren azterketa.



Irudia 3-49. IRENA, Orzantzurieta mendilerroaren haizearen abiaduraren mapa [54].

Argi ikusi daitekeen moduan, bi tontorren arteko ezberdintasuna aldagai guztietan nabaritzen da. Hasteko, Orzantzurieta tontorra, haizetsua da, irisgarritasun oso ona du eta zelaiez estalia egonda, oso zimurtasun faktore txikia dauka. Murukoaren kasuan ordea, basoz estalia dago tontorra eta horiek oztopo bat suposatzen dute zimurtasun faktorea handituz; gainera, basoaren eraginez, irisgarritasuna oso txarra da. Laburbilduz, mendilerroak dauzkan zenbait ezaugarriren ondorioz, ezingo da parke eoliko bat eraikitzeko kontuan izan. Hala ere, Orzantzurieta tontorrek gerora aztertuko den Urkulu mendilerroarekiko duen hurbiltasunaren ondorioz, eta biek antzeko ezaugarriak dituztenez, Urkulu mendilerroa parke eoliko batentzako egokia baldin bada, tontor hau gehitu dakioko.

3.1.3.10 Otsa mendilerroa



Irudia 3-50. Otsa mendilerroaren kokapena mapan.

Otsa mendilerroa Garralda herriaren hego-mendebaldean dago. Tontor bakarra izan da kontuan, inguruan daudenak dagoeneko mugetatik kanpo edo beharrezkoak diren minimoak betetzen ez dituztelako (adb. zabalera). Mapan ikusi daitekeen moduan inguruan ez da herririk edo etxebizitzarik ageri.

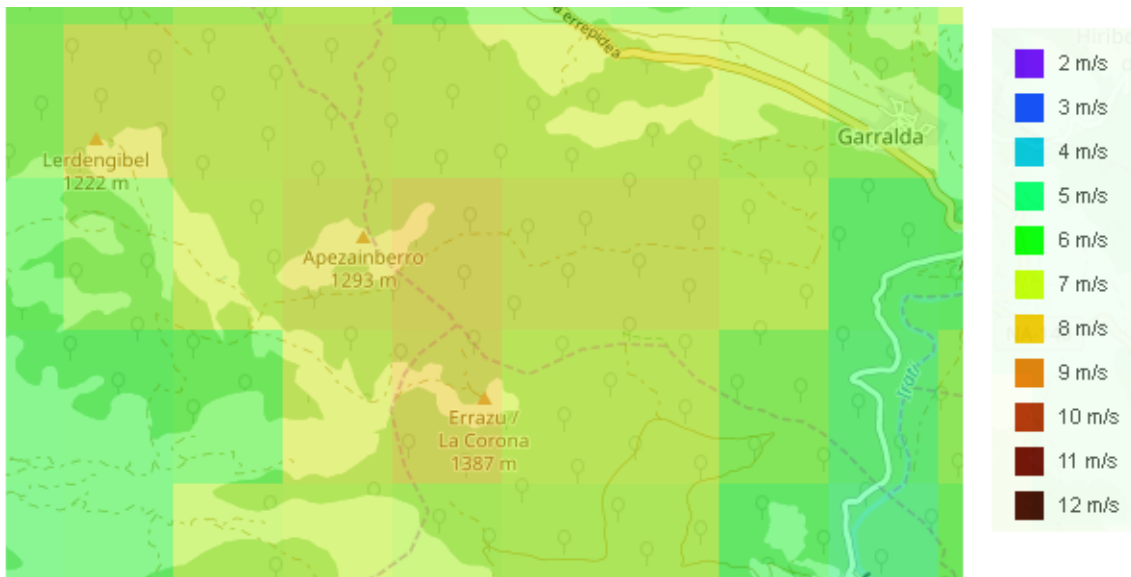


Irudia 3-51. Otsa mendilerroaren tontorrak [55].

Aurreko mapako tontor baten azterketa egin da hurrengo taulan ikusi daitekeen moduan.

Mendia	Altitudea (m)	\bar{U} (200 m)	Irisgarritasuna	Z_0
Corona-Bidausi	1387	7.9	4	4

Taula 3-12- Otsa mendilerroaren tontorren azterketa.



Irudia 3-52. IRENA, Otsa mendilerroaren haizearen abiaduraren mapa [54].

Tontor hau kontuan hartzeko arrazoi nagusia haren haizearen ezaugarriak dira. Mapan ikusi daitekeen moduan baso nahiko itxia ageri den arren, tontorrean zelaia dago. Gainera, irisgarritasun oso ona du eta beraz parke eoliko bat sortzeko aukera nahiko ona izan daiteke.

3.1.3.11 Urkulu mendilerroa



Irudia 3-53. Urkulu mendilerroaren kokapena mapan.

Urkulu mendilerroa, aurretik aipatu den moduan, Aezkoa bailarako iparraldeko mugan kokatzen da. Biztanleria kontzentrazioarik gabeko zonaldea da eta iparraldeko beste mendilerroen ezaugarriak ditu, horien artean, garaiera.

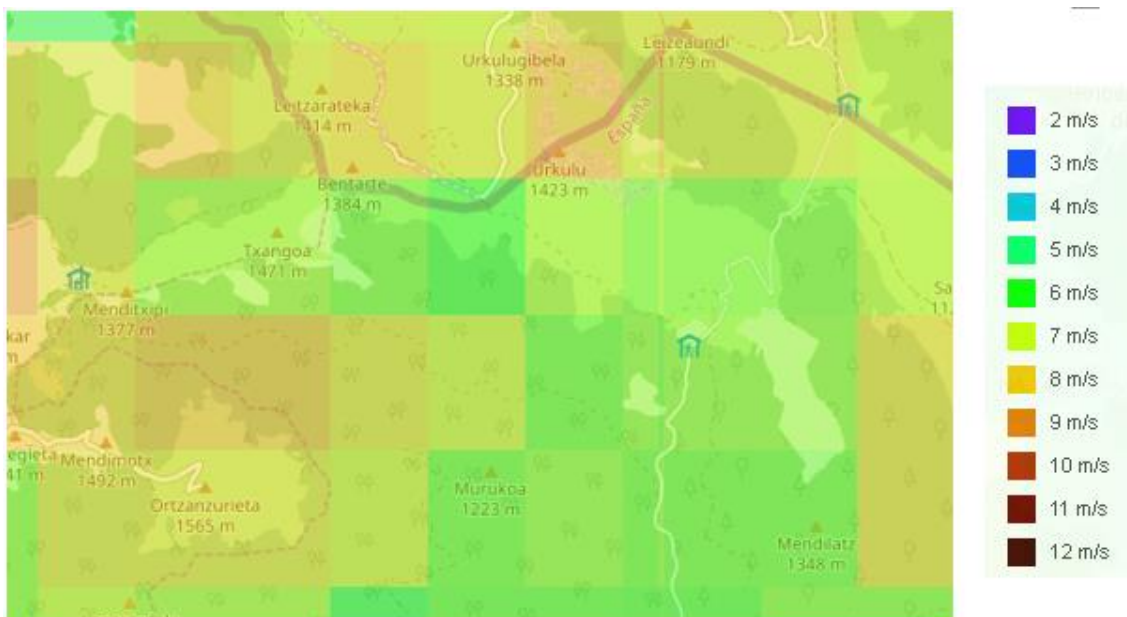


Irudia 3-54. Urkulu mendilerroaren tontorak [55].

Aurreko mapako zenbait tontorren azterketa egin da hurrengo taulan ikusi daitekeen moduan.

Mendia	Altitudea (m)	\bar{U} (200 m)	Irisgarritasuna	Z ₀
Menditxipi	1377	7.6	5	5
Txangoa	1471	6.8	5	5
Urkulu	1419	8.3	5	5

Taula 3-13. Urkulu mendilerroaren tontorren azterketa.



Irudia 3-55. IRENA, Urkulu mendilerroaren haizearen abiaduraren mapa [54].

Aztertu diren mendilerroen artean haizetsuena da Urkulukoa. Gainera, altitudeari esker, tontorrean zelaiak aurkitzen dira eta ez dago basorik. Horrez gain, herri edo etxebizitzarik ageri ez den arren, pistak daude tontorretaraino eta beraz irisgarritasun bikaina du. Horregatik mendilerroa kontuan izatea ezinbestekoa da.

Aipatu beharra dago, eremu honetan Urkulu barne, antzeko ezaugarriak dituzten lau mendilerro elkartzeko direla (Mendilatz, Mendizar, Ortantzurieta eta Urkulu). Mendilerro horietako tontor asko bata besteari jarraian daude (Ortantzurieta, Menditxipi, Txangoa, Urkulu, Ursario, Saiarri, Ezkanda eta Mendizar), horrek parke eoliko bateratu handi bat sortzeko aukera ematen du.

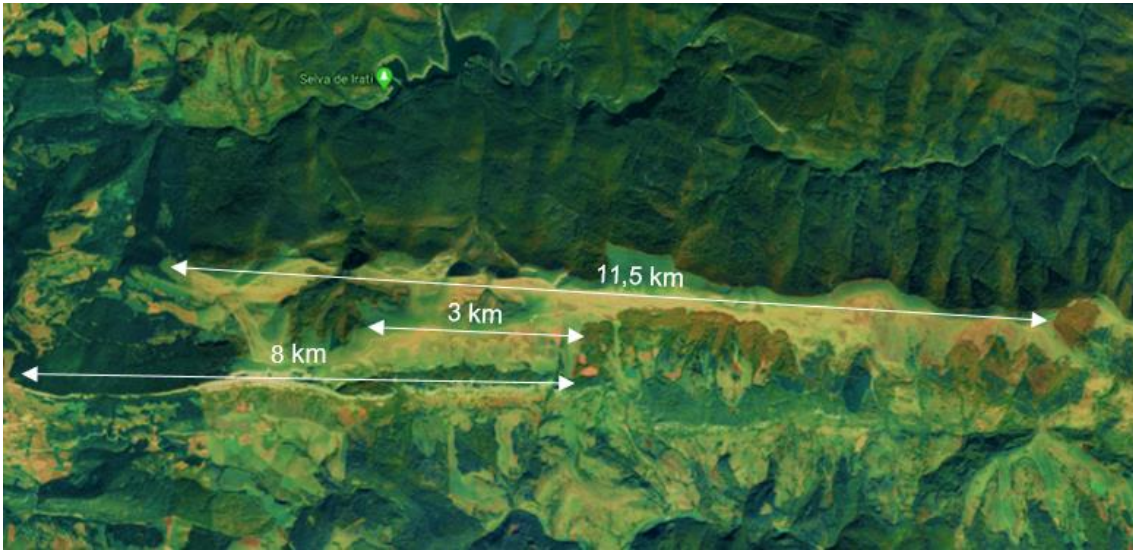
3.1.4 Parke eolikoaren antolaketa

Atal honetan, 3.1.3. atalean aztertutako mendilerroen artean egokiak direnak izango dira kontuan. Horietan, parke eolikoaren antolaketa aukerak aurkeztuko dira. Horrela bakoitzean aerosorgailu kopuru maximoa zein izango den jakingo da eta hurrengo ataleko kalkuluak burutu ahal izango dira.

Hori egiteko, haizearen ezaugarrien arabera aerosorgailuen arteko distantzia egokia erabili da. Hala ere, nabarmendu beharra dago hurrengoak adibideak besterik ez direla eta beste antolaketa batzuk ere egokiak izan daitezkeela. Hurrengoaren helburu nagusia, kalkuluak osatzeko eta beraz, parke eoliko horiekin ekoiztu daitekeen energiaren zenbatekoaren ideia bat izatea da.

3.1.4.1 Abodi mendilerroa

Abodi mendilerroa eremu oso handia da eta horrek parke eoliko garrantzitsu bat eraikitzeko aukera ematen du. Hurrengo irudian ikusi daitekeen moduan, aerosorgailuak kokatzeko hiru lerro marraztu dira. Aurreko ataletan adierazi den haizearen norabidea perpendikularra denez, egoera ezin hobea da. Horrela, aerosorgailuen arteko distantzia diametroaren bikoitza izango da.



Irudia 3-56. Abodi mendilerroaren distantzia neurketak.

Hori horrela distantzia bakoitzerako hurrengoak dira aerosorgailu kopuruak:

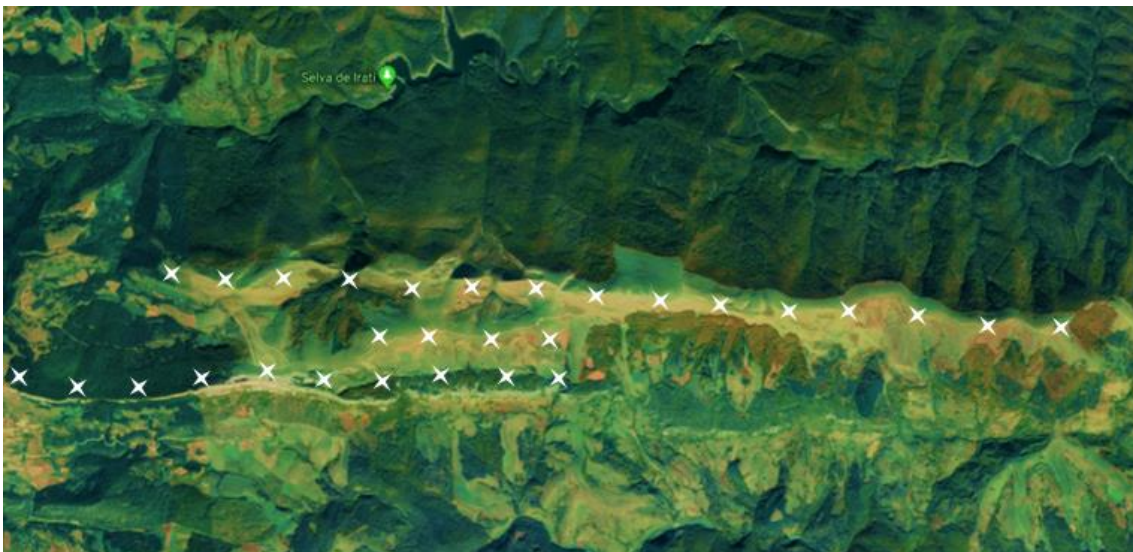
$$Turb = \frac{11.500\ m}{126 \cdot 2} = 45.63 \rightarrow 45$$

$$Turb = \frac{3000\ m}{126 \cdot 2} = 11.9 \rightarrow 11$$

$$Turb = \frac{8000\ m}{126 \cdot 2} = 31.7 \rightarrow 31$$

Beraz mendilerro honetan kokatu daitezkeen turbina kopuru maximoa antolaketa horrekin 87 da.

Hurrengo irudian ematen da zonaldean eraikitako parke eoliko baten antolaketa.



Irudia 3-57. Abodi mendilerroan proposaturiko parke eolikoaren antolaketa.

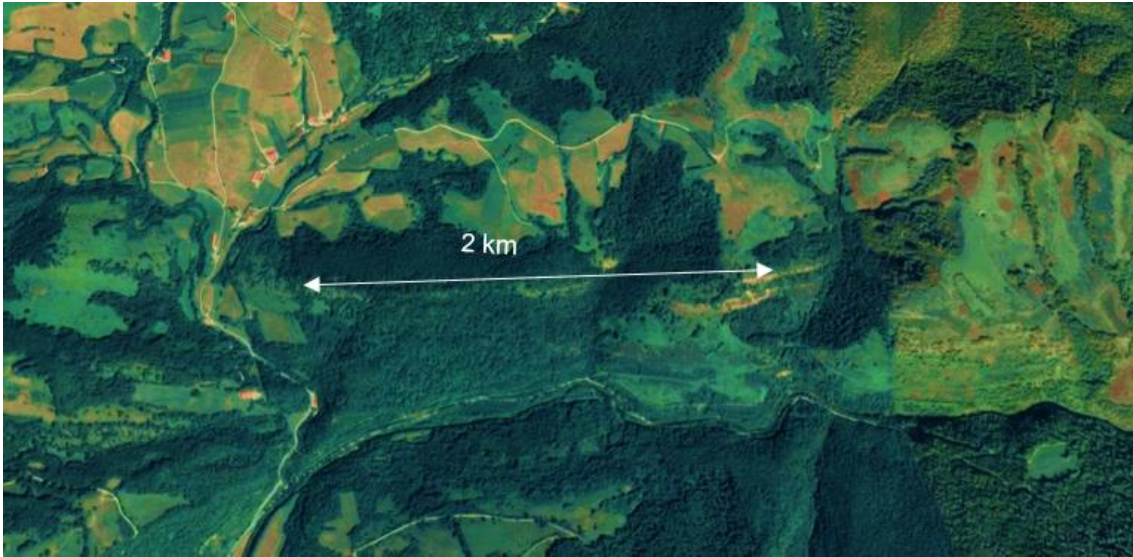
Aurreko irudian izar formako marka bakoitza aerosorgailu bati dagokio. Aerosorgailu kopuru txikiagoarekin egin da, irudian gehiago jartzekotan ez bailitzake ondo ikusiko.

Lerro bakoitzean joan behar diren aerosorgailu kopurua dagoeneko ezarri da aurreko formulekin.

3.1.4.2 Mendizar mendilerroa

Mendizar mendilerroan banaturik aurkitzen diren bi lerro erabiliko dira. Lehenengoa eta ezaugarri hobek dauzkana gero hainbat mendilerroren tontorrek elkartuz sortuko den parke handiago baten parte izango dira. Bigarren lerroa ordea hiru tontor txikiagoek osatzen dute, Urkiarreta, Idorgain eta Berabez zehazki.

Hurrengo irudian zonaldean dagoen azaleraren adierazpena ageri da.

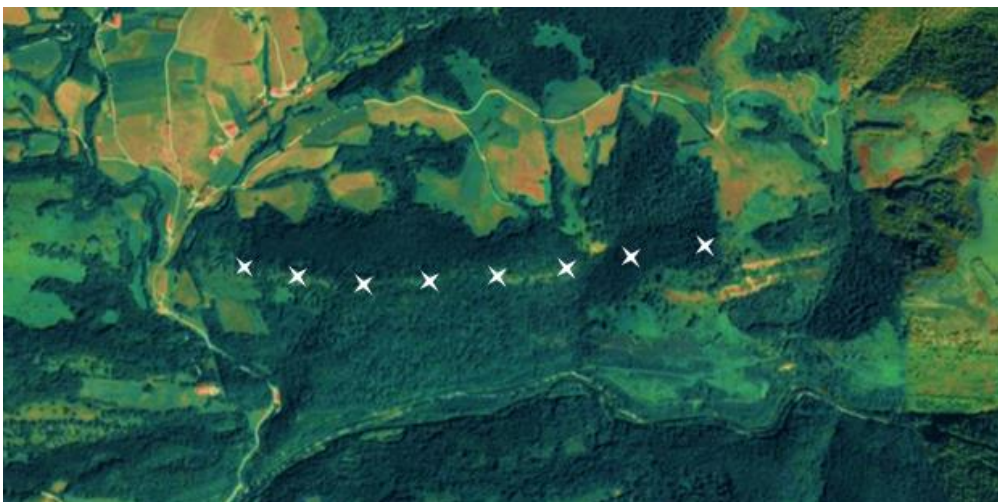


Irudia 3-58. Mendizar mendilerroaren distantzia neurketak.

Mendilerroa haizearekiko perpendikular aurkitzen denez aukeraturiko turbinaren diametroaren bikoitza utziko da turbinen artean, hortaz hurrengo kalkulua osatzen da:

$$Turb = \frac{2000\ m}{126 \cdot 2} = 7.94 \rightarrow 8$$

Hori horrela, 8 aerosorgailu kokatuko dira. Ondorengo irudian izar formako marka bakoitzak aerosorgailu bat ordezkatzeko du.



Irudia 3-59. Mendizar mendilerroan proposaturiko parke eolikoaren antolaketa.

3.1.4.3 Otsa mendilerroa

Otsa mendilerroan tontor bakoitza izan dugu kontuan, hala ere, tontorraren mendebaldean zonalde lau bat agertzen da eta parke eolikoa zabaltzeko erabiliko da. Hurrengoa da eremu horren distantzia adierazten duen irudia.



Irudia 3-60. Otsa mendilerroaren distantzia neurketak.

Ikusi daitekeen moduan, tontorraren ondoko eremuan turbinaz osaturiko bi ilarra jarriko dira. Biek 3 km-ko luzera dute, eta haizearekiko ez daudenez guztiz perpendikular, diametroaren neurria baino bost aldiz luzeagoko distantzia utziko da turbinen artean. Hori horrela, hurrengoa da turbina kopurua kalkulatzeko formula.

$$Turb = \frac{3000 \text{ m}}{126 \cdot 5} = 4.76 \rightarrow 4 \rightarrow \times 2$$

Beraz, mendilerro horretan, guztira 8 aerosorgailu eraiki daitezke proposaturiko antolaketa erabiltzen bada. Hurrengo irudian, aerosorgailu horiek irudikatu dira maparen gainean izar formako marka batekin.



Irudia 3-61. Otsa mendilerroan proposaturiko parke eolikoaren antolaketa.

3.1.4.4 Mendilatz, Mendizar, Ortzantzurieta eta Urkulu mendilerroak

Aurretik aipatu den bezala, Aezkoa bailarako iparraldean aurkitzen diren zenbait mendilerro eta tontor elkarren jarraian daude eta antzeko ezaugarriak dauzkate. Beraz, horiek guztiak elkartzuz parke eoliko handi bakarra diseinatzeko aukera dago. Horren barruan, Ortzantzuertako Ortzantzurieta tontorra, Urkulu mendilerro osoa, Mendilatz mendilerroa eta Mendizar mendilerroko Ezkanda, Mendizar eta Aritzelatuz aurkitzen dira. Azalpenak eta ondorengo kalkuluen ulermena errazteko, M.M.O.U. izena emango diogu elkarketa horri, mendilerroen lehenengo hizkiak elkartzuz.

M.M.O.U. parkearen barruan, lau mendilerro edo horien tontorren bat sartzen da. Hurrengo irudian zonalde osoaren mapa ageri da, distantziak eta antolaketa gainean irudikaturik duela.



Irudia 3-62. M.M.O.U elkarketaren distantzia neurketak.

Orientazio ezberdineko lerroak daudenez, bakoitzean distantzia bat jarri beharko da aerosorgailuen artean. Gorriz markatuta dauden lerroetan diametroaren neurria baino hamar aldiz luzeagoa den distantzia utziko da aerosorgailuen artean. Besteetan ordea, diametroaren balio bi aldiz besterik ez.

Gorritz dauden lerroek kalkuluak hurrengoak dira:

$$Turb = \frac{1500 \text{ m}}{126 \cdot 10} = 1.19 \rightarrow 1$$

$$Turb = \frac{3000 \text{ m}}{126 \cdot 10} = 2.38 \rightarrow 2$$

$$Turb = \frac{2600 \text{ m}}{126 \cdot 10} = 2.06 \rightarrow 2$$

$$Turb = \frac{1300 \text{ m}}{126 \cdot 10} = 1.03 \rightarrow 1$$

Gainerako zonaldeen kalkuluak hurrengoak dira:

$$Turb = \frac{2900 \text{ m}}{126 \cdot 2} = 11.51 \rightarrow 11$$

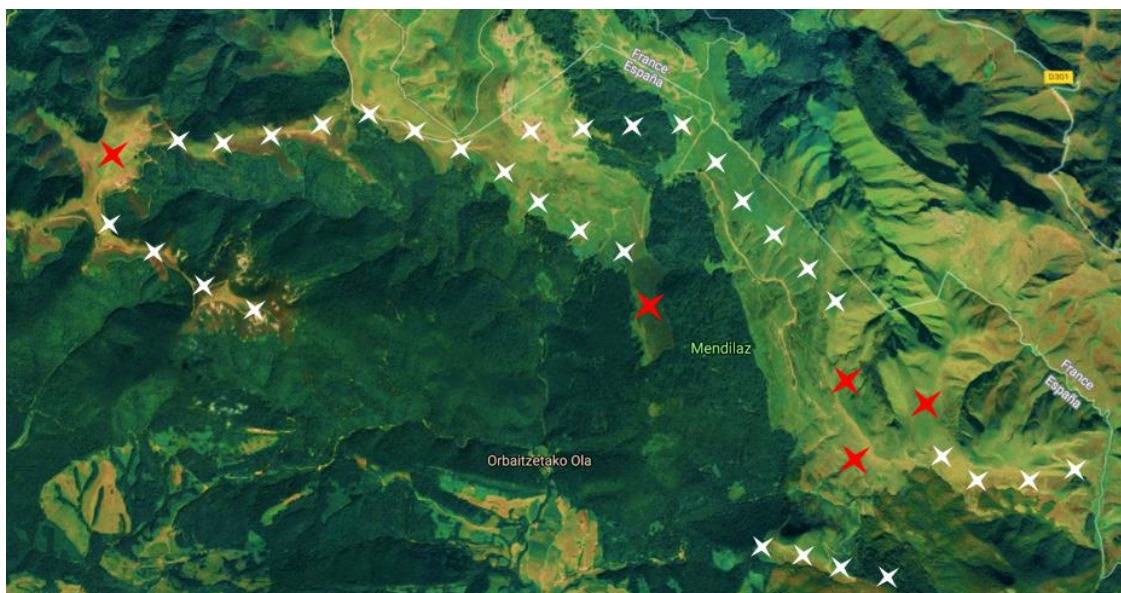
$$Turb = \frac{6000 \text{ m}}{126 \cdot 2} = 23.81 \rightarrow 23$$

$$Turb = \frac{5200 \text{ m}}{126 \cdot 2} = 20.63 \rightarrow 20$$

$$Turb = \frac{2000 \text{ m}}{126 \cdot 2} = 7.94 \rightarrow 7 \rightarrow \times 2$$

Eskuratu diren emaitzen arabera, parke eoliko honetan 74 turbina eoliko eraiki daitezke. Hala ere, erliebeak eta landarediak sor ditzakeen zailtasunen ondorioz zenbaki horri 10 aerosorgailu kenduko dizkiogu. Hurrengo irudian ageri da aerosorgailu horien antolaketa mapan kokatuta.

Ikusi daitezkeen moduan, ez dira aerosorgailu bezain beste marka jarri, mapan irudikatzeko gehiegi izango liratekeelako. Hala ere, ondo ikusten da zeintzuk diren aerosorgailuen arteko distantzia ezberdinen zonaldeak, gorritz baitaude distantzia handien utzi behar diren zonaldeetako aerosorgailuak.



Irudia 3-63. M.M.O.U. elkarketan proposaturiko parke eolikoaren antolaketa.

4 KALKULUAK

IRENA-rekin, ERA5-ekin eta WRF-ekin lortutako haizearen abiadura- eta norabide-datu guztiak balioztatu ondoren, eta ahal diren kasu guztiak aztertu ondoren, ondorioztatu da parke eoliko eraginkorrak jartzeko zerra nabarmenenak hauek direla: Abodi, Mendilatz, Mendizar, Otsa, Ortzantzuriera eta Urkulu.

2.5. atalean azaldutako ekuazioak erabiliz, balizko parke eoliko bakoitzerako potentzia-kalkuluak egin dira. Garrantzitsua da azpimarratzea parke bakoitzerako lortutako AEP turbina bakoitzeko urtean sortzen den energia dela. Horregatik, 4-1 taulan, zerra bakoitzean gehienez zenbat turbina dauden biderkatu da, parke eoliko bakoitzeko urteko energia-ekoizpena lortzeko.

Taularen hirugarren zutabean turbinen kopuru maximoari horien % 15-a kendu zaie, erliebeak, landarediak zein aztertu ez diren beste faktore batzuen eraginaren eta sortu daitezkeen zailtasunen ondorioz.

Mendilerroa	Haizearen abiaduraren batz bestekoa (m/s)	Turbina kop. maximoa	Turbina kop. - %15
Abodi	6.7	87	73
Mendizar	6.4	8	6
Otsa	7.9	8	6
M.M.O.U	7.1	74	62

Taula 4-1. Proposaturiko parke eolikoaren eta mendilerroen datuak.

Abodi: $CF = 0.087 \times 6.7 - \frac{5000}{126^2} = 0.268$

$$AEP = 5000 \times 8760 \times 0.268 = 11738400 \frac{kWh}{urte}$$

Mendizar: $CF = 0.087 \times 6.4 - \frac{5000}{126^2} = 0.2418$

$$AEP = 5000 \times 8760 \times 0.2418 = 10590840 \frac{kWh}{urte}$$

Otsa: $CF = 0.087 \times 7.9 - \frac{5000}{126^2} = 0.3724$

$$AEP = 5000 \times 8760 \times 0.3724 = 16311120 \frac{kWh}{urte}$$

M.M.O.U: $CF = 0.087 \times 7.1 - \frac{5000}{126^2} = 0.3028$

$$AEP = 5000 \times 8760 \times 0.3028 = 13262640 \frac{kWh}{urte}$$

Hurrengo taulan eskuraturiko emaitzak ematen dira laburpen moduan.

Mendilerroa	\bar{u} (m/s)	CF (%)	AEP (kWh/urte)	Turbina kop. - % 15	AEP Totala parkean (GWh/urte)
Abodi	6.7	26.8	11738400	73	856.9
Mendizar	6.4	24.18	10590840	6	63.55
Otsa	7.9	37.24	16311120	6	97.87
M.M.O.U	7.1	30.28	13262640	62	822.28
TOTALA					1840.6

Taula 4-2. Kalkuluaren emaitzen laburpena.

Ondoren, Aezkoako urteko kontsumoaren kalkulu zenbatetsia egiten da, bertako biztanleen, Espainiako batez besteko biztanle kopurua etxeko (2.51) eta Euskal Autonomia Erkidegoko urteko batez besteko energia-kontsumoa (3487 kWh) ezagututa.

$$Aezkoako\ kontsumo\ elektrikoa = 1200\ hab. \times \frac{1\ etxebizitza}{2.51\ hab.} \times \frac{3487\ \frac{kWh}{urte}}{1\ etxebizitza} = 1.667\ \frac{GWh}{urte}$$

Ikusi daitekeen moduan, Aezkoa bailarak duen kontsumo elektrikoa, haren haizearen potentzialak sor dezakeen elektrizitatearekin alderatuta oso txikia da. Horregatik, eremu handiagoetara eraman da konparazioa, Nafarroa eta Espainiara.

2018-ko ikerketa baten arabera, Nafarroako kontsumo elektrikoa 5126 GWh-koa da urteko. Hori horrela, proposatu diren lau parke eolikoaren produkzio idealaren balio totala, kontsumo horren % 35.9 -koa da. Espainiako estatuko kontsumo elektrikoa 268808 GWh urteko izan zen 2018. Urtean, beraz, parke eoliko horien produkzioak estatuko % 0.69-a suposatuko luke. Gainera, urte berean, Espainiako produkzio eolikoa 49000 GWh-koa izan zen, horrekiko parke hauek % 3.8 -a suposatzen dute. [56]

5 ONDORIOAK

Proiektu honetan, WRF-aren simulazioetatik, ERA5-eko datuen birazterketatik eta IRENA-ren Global Atlasetik lortutako datuetatik abiatuta, Aezkoako (Nafarroa) ahalmen eolikoaren azterketa bat egin da, potentzia handiko parke eolikoak instalatzeko eremu egokiak aurkitzeko.

Proiektuaren helburu diren azterketa aurrera eramateko eta kalkuluan burutu ahal izateko, *NREL 5 MW baseline* aerosorgailua hautatu da. Ikerketa ugariaren menpe, teknologikoki oso garatua dagoen turbina da. Aipatu beharra dago, aurretik dagoeneko gogorarazi den bezala, proiektua aurrera eramateko egin den aukeraketa bat dela eta adibide moduan balio duela. Izan ere, proiektu honen helburuak betetzeko egokia bada ere, beste proiektu edo helburu batzuk eskuratzeko beste diseinu eta modelo batzuk aztertu beharko liratekeela. Proiektu hasieran, beste turbina mota batzuei buruz emandako informazioak izan du eragina aerosorgailu honen aukeraketan, ezaugarri guztien artean egokiena baita.

Turbina aukeraketa egin ondoren, zonaldeko haizearen propietateak aztertu dira. Horretarako modelo meteorologiakoak erabilia, zonaldearen azterketa orokor bat egin da, haizearen abiadura eta norabidea ezagutzeko; gainera, modeloen arteko konparaketa egiteko erabili da eta hurrengo azterketa zehatzagorako IRENA-ren 200 metroko datuak erabiltzea erabaki da.

Pirinioetatik hurbil dagoen zonaldea izanda, tontor gehienek 1000 metrotatik gorako altitudea dute. Hori horrela, altitude horietatik berako tontor zein mendilerroak ez dira kontuan izan. Erliebearen azterketa horretan, tontor bakoitzean dagoen haizearen abiaduraz gain, irisgarritasuna, zimurtasuna eta zarata ere izan dira kontuan. Prozesu horretan egokiak ziren mendilerroak aukeratu eta jarraian bakoitzean bi parke eolikoan antolaketa proposamen bat egiten da, horrela, bakoitzean eraiki daitezkeen turbina kopuru maximoa ezagutzeko eta kalkuluak egin ahal izateko.

Amaitzeko kalkuluetan, kapazitate faktorea eta urteko energia produkzioa kalkulatu dira, parke bakoitzarentzako, amaieran emaitza totala eskuratzeko aurreko horiek batuz. Horietan emaitza oso onak eskuratu dira, izan ere, sorturiko lau parkeen kapazitate faktoreak % 24 -tik gora daude denak eta altuena % 37 -koa da.

Emaitzen arabera, Aezkoa bailarak duen gehienezko eskaera elektrikoa urtean 1.7 GWh-koa da. Diseinaturiko parke eoliko guztiek batera urtean sor dezaketen energia 1840 GWh-koa izanik, argi dago soberan ase ditzakeela bailarako beharrak. Gainera, Nafarroako eta Espainiako eskaerarekin alderatu dira eta horien % 35.9 eta % 0.69 -a suposatzen dute parkeek hurrenez hurren.

Laburbilduz, proposaturiko parke eoliko bakarrarekin nahikoa izango litzateke egoera ideal batean Aezkoa bailarako eskaria asetzeko. Gainera, Nafarroarentzat parke eolikoak eraikitzeko zonalde egokia da, hala ere, ingurumenarekiko inpaktua eta biztanleriaren iritziak errespetatuz.

6 ERREFERENTZIAK

- [1] "National Geographic," [Online]. Available: <https://www.nationalgeographic.com/environment/global-warming/wind-power/>. [Accessed 12 02 2020].
- [2] "Wind Energy Development Programmatic EIS," [Online]. Available: <http://windeis.anl.gov/>. [Accessed 12 02 2020].
- [3] «Global Energy Statistical Yearbook,» Enerdata, 2019. [Online]. Available: <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>. [Atzitze-data: 12 02 2020].
- [4] M. J. R. Hernández, «Estudio de la viabilidad y diseño de un parque eólico,» Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, 2015.
- [5] D. E. Watson, «FT EXPLORING (SCIENCE & TECHNOLOGY,» 2015. [Online]. Available: <http://www.ftexploring.com/wind-energy/wind-power-coefficient.htm>. [Atzitze-data: 13 02 2020].
- [6] "Union of Concerned Scientists," 14 07 2008. [Online]. Available: <https://www.ucsusa.org/resources/how-wind-energy-works>. [Accessed 13 02 2020].
- [7] «Aerogeneradores Eólicos,» Erenovable, 22 01 2020. [Online]. Available: <https://erenovable.com/aerogeneradores-eolicos/>. [Atzitze-data: 13 02 2020].
- [8] «Energías Renovables; La Energía Eólica,» Verde Zona, 14 03 2015. [Online]. Available: <http://verdezona.blogspot.com/2015/03/energias-renovables-la-energia-eolica.html>. [Atzitze-data: 13 02 2020].
- [9] «Aerogeneradores de eje vertical y horizontal: tipos, ventajas e inconvenientes,» Structuralia, 16 07 2018. [Online]. Available: <https://blog.structuralia.com/aerogeneradores-de-eje-vertical-y-horizontal-tipos-ventajas-e-inconvenientes>. [Atzitze-data: 13 02 2020].
- [10] «Extremadura21,» 30 11 2015. [Online]. Available: <https://extremadura21.com/2015/11/30/una-empresa-de-ribera-del-fresno-lidera-la-fabricacion-de-molinos-de-viento-tipo-americano/>. [Atzitze-data: 13 02 2020].
- [11] U. D. o. E. O. o. E. E. a. R. Energy, «How do wind turbines work?,» EERA, [Online]. Available: <https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work>. [Atzitze-data: 13 02 2020].
- [12] C. Álvarez, «Lo que contamina un aerogenerador,» *El país semanal*, p. 1, 22 09 2010.
- [13] «Traductor de Ciencia,» UPNA, [Online]. Available: https://traductordeciencia.es/wp-content/blogs.dir/5/files/sites/5/2019/04/2048px-Barrow_Offshore_wind_turbines_edit1.jpg. [Atzitze-data: 13 02 2020].
- [14] «Global statistics 1980,» Wind Energy International, 2018. [Online]. Available: <https://library.wwindea.org/global-statistics-1980/>. [Atzitze-data: 17 02 2020].
- [15] «Wind Energy,» IRENA (International Renewable Energy Agency), [Online]. Available: <https://www.irena.org/wind>. [Atzitze-data: 17 02 2020].
- [16] bp España, [Online]. Available: https://www.bp.com/es_es/spain/home.html. [Atzitze-data: 17 02 2020].
- [17] B. G. e. L. Marcó, «Actualidad de la energía eólica a nivel mundial: generación, fabricantes, comercio exterior y precios,» Universidad Nacional de San Martín, San Martín.
- [18] «Wind Power Capacity Worldwide Reaches 597 GW, 50,1 GW added in 2018,» WWEA, p. 1, 25 02 2019.
- [19] J. Unwin, «The top 10 countries in the world by wind energy capacity,» *Power Technology*, 03 2019.
- [20] J.-D. Pitteloud, «Global Wind Installations,» Wind Energy International, 2018. [Online]. Available: <https://library.wwindea.org/global-statistics/>. [Atzitze-data: 17 02 2020].
- [21] «Wind energy in Europe in 2019,» Wind Europe, 2020. [Online]. Available: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2019.pdf>. [Atzitze-data: 17 02 2020].

- [22 «La eólica en España,» AEE (Asociación Empresarial Eólica), [Online]. Available:
] <https://www.aeolica.org/sobre-la-eolica/la-eolica-espana>. [Atzitze-data: 18 02 2020].
- [23 «Recor de generacion diaria,» AEE (Asociación Empresarial Eólica), [Online]. Available:
] <https://www.aeolica.org/>. [Atzitze-data: 18 02 2020].
- [24 «La energía eólica en Portugal genera ya un 26% de la electricidad,» evwind, 19 02 2020. [Online].
] Available: <https://www.evwind.com/2020/02/19/la-energia-eolica-en-portugal-genera-ya-un-26-de-la-electricidad/>. [Atzitze-data: 18 02 2020].
- [25 «La central hidroeléctrica (Gorona del Viento),» Gorola del Viento, El Hierro, S.A., [Online]. Available:
] <http://www.goronadelviento.es/central-hidroelica/>. [Atzitze-data: 18 02 2020].
- [26 «La potencia eólica instalada en Navarra supone el 1,62% de la UE27,» Energelia, 13 02 2008. [Online].
] Available: <http://energelia.com/energias/la-potencia-eolica-instalada-en-navarra-supone-el-1-62-de-la-ue27.html>. [Atzitze-data: 20 02 2020].
- [27 J. Sainz, «Jonathan Sainz --- Argazkiak,» [Online]. Available: <http://jonathan-sainz.blogspot.com/2013/12/oiz-mendia.html>. [Atzitze-data: 20 02 2020].
- [28 «Wind Power,» EEE (Energiaren Euskal Erakundea), [Online]. Available:
] <https://www.eve.eus/Actuaciones/Eolica.aspx>. [Atzitze-data: 18 02 2020].
- [29 I. Mártil, «Situación actual y perspectivas de futuro de la energía eólica,» Público, 19 09 2018. [Online].
] Available: <https://blogs.publico.es/ignacio-martil/2018/09/19/situacion-actual-y-perspectivas-de-futuro-de-la-energia-eolica/>. [Atzitze-data: 17 02 2020].
- [30 «Evolución de la energía eólica en Europa,» Iberdrola, [Online]. Available:
] <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/evolucion-energia-eolica-europa>. [Atzitze-data: 17 02 2020].
- [31 «Futuros aerogeneradores,» Natur Energy. [Online]. [Atzitze-data: 17 02 2020].
]
- [32 S. F. Munguía, «Así es el futuro de la energía eólica en Europa: 17 nuevos gigavatios anuales y la
] repotenciación en el horizonte,» Diario Renovables, 17 09 2018. [Online]. Available:
<https://www.diariorenovables.com/2018/09/futuro-de-la-energia-eolica-europa.html>. [Atzitze-data: 17 02 2020].
- [33 «Wind,» Berkeley Lab, [Online]. Available: <https://emp.lbl.gov/projects/wind>. [Atzitze-data: 17 02 2020].
]
- [34 T. Díaz, «Iberdrola inicia la fase final del mayor proyecto español de renovables,» elEconomista, 14 06
] 2019. [Online]. Available: <https://www.economista.es/empresas-finanzas/noticias/9939415/06/19/Iberdrola-inicia-la-fase-final-del-mayor-proyecto-espanol-de-renovables-.html>. [Atzitze-data: 17 02 2020].
- [35 «Weather Research and Forecasting model,» NCAR & UCAR, [Online]. Available:
] <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>. [Atzitze-data: 20 02 2020].
- [36 A. S. J. & I.-B. G. Ulazia, «Sensitivity to the use of 3DVAR data assimilation in a mesoscale model for
] estimating offshore wind energy potential. A case study of the Iberian northern coastline.,» 2019.
- [37 A. S. J. I.-B. G. G.-R. S. J. & C.-M. S. Ulazia, «Using 3DVAR data assimilation to measure offshore wind
] energy potential at different turbine heights in the West Mediterranean.,» 2017.
- [38 D. R. A. G.-G. M. & S. C. S. Carvalho, «Sensitivity of the WRF model wind simulation and wind energy
] production estimates to planetary boundary layer parameterizations for onshore and offshore areas in the Iberian Peninsula.,» 2014.
- [39 «ERA5,» ECMWF, [Online]. Available: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>. [Atzitze-data: 20 02 2020].
- [40 J. Olauson, «ERA5: The new champion of wind power modelling?,» 2018.
]
- [41 «About IRENA,» IRENA (International Renewable Energy Agency), [Online]. Available:
] <https://www.irena.org/aboutirena>. [Atzitze-data: 08 04 2020].
- [42 «Global Atlas,» IRENA (International Renewable Energy Agency), [Online]. Available:
] <https://www.irena.org/globalatlas/>. [Atzitze-data: 08 04 2020].
- [43 «DTU Global Wind Atlas 1km resolution,» IRENA (Internationa Renewable Energy Agency), 07 02 2018.
] [Online]. Available: <https://irena.masdar.ac.ae/gallery/#gallery>. [Atzitze-data: 08 04 2020].
- [44 «Valle de Aezkoa,» Turismo Abaurrea, 22 06 2014. [Online]. Available:
] <https://www.turismoabaurrea.com/2014/05/valle-de-aezkoa.html>. [Atzitze-data: 02 04 2020].

- [45 «Gran Enciclopedia de Navarra,» [Online]. Available:
] http://www.enciclopedianavarra.com/?page_id=2328. [Atzitze-data: 02 04 2020].
- [46 «Aezkoa,» Aezkoa Ibarra web ofiziala, [Online]. Available: <http://www.aezkoa.net/eu/>. [Atzitze-data: 02
] 04 2020].
- [47 «Valle de Aezkoa, a la sombra de irati,» Turismo Navarra, [Online]. Available:
] <https://turismo.navarra.com/item/valle-de-aezkoa-la-sombra-de-irati/>. [Atzitze-data: 02 04 2020].
- [48 «Selva de Irati,» [Online]. Available: <http://selvadeirati.com/Mapa%20selva%20irati2.html>. [Atzitze-data:
] 08 04 2020].
- [49 A. E. Picado, «Mi familia viajera,» 09 11 2018. [Online]. Available: <https://mifamiliaviajera.com/embalse-de-irabia-en-la-selva-de-irati-hayedos-de-cuento-con-ninos/>. [Atzitze-data: 02 04 2020].
- [50 J. M. Amada, «Master Europeo Energías Renovables y Eficiencia Energética en Curso de Energía Eólica,»
] Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza.
- [51 S. B. W. M. a. J. Jonkman, «Definition of a 5-MW Reference Wind Turbine for Offshore System
] Development,» U.S. Department of Energy / National Renewable Energy Laboratory, Colorado, 2009.
- [52 «Argolabe Ingeniería,» [Online]. Available: <http://www.argolabe.es/noticias6.html>. [Atzitze-data: 03 04
] 2020].
- [53 G. Masters, «Renewable and Efficient Electric Power Systems.,» Wiley-IEEE Press, Chichester, 2004.
]
- [54 «Global Atlas,» IRENA (International Renewable Energy Agency), [Online]. Available:
] <https://irena.masdar.ac.ae/gallery/#map/103>. [Atzitze-data: 08 04 2020].
- [55 «Mendikat,» [Online]. Available: <https://www.mendikat.net/>. [Atzitze-data: 02 04 2020].
]
- [56 «El sistema eléctrico español,» REE (Red Eléctrica de España), 2018. [Online]. Available:
] https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElectrico/2019/Avance_ISE_2018.pdf. [Atzitze-data: 09 04 2020].