

## GIPUZKOAKO INGENIARITZA ESKOLA

### ESCUELA DE INGENIERÍA DE GIPUZKOA

#### EIBAR

---

**GRAL:** HAIZE ENERGIAREN BALIABIDE AZTERKETA ERRESOLUZIO  
ALTUKO DATUEZ

---

**1. DOKUMENTUA: MEMORIA**

**2. DOKUMENTUA: ERANSKINAK**

**Gradua:** Energia Berriztagarren Ingeniaritzako Gradua

**Ikasturtea:** 2022 – 2023

**Egilea:** Salgado Herrera, Urko

**Zuzendariak:** Ulazia Manterola, Alain  
Carreno-Madinabeitia, Sheila



*Eskerrak eman nahi dizkiot Europako Meteorologia Zentroari (ECMWF), eta bereziki Xabier Pedruzo Bagazgoitiari, gradu amaierako lan honetarako behar nituen datuak emateagatik eta proiektuan zehar sortu diren zalantzak argitzeko azaldutako prestutasunagatik. Zuen laguntza gabe ez litzateke posible izango proiektu hau aurrera eramatea.*

*Eskerrak ere Sheila Carreno-Madinabeitia eta Alain Ulazia Manterolari proiektu honi baietza emateagatik. Emandako aholku guztiak oso baliagarriak izan dira GRAL hau profesionaltasunez egin ahal izateko.*



# DATU ORRIA

## **PROIEKTUAREN IZENBURUA:**

HAIZE ENERGIAREN BALIABIDE AZTERKETA ERRESOLUZIO ALTUKO DATUEZ

## **KOKAGUNEA:**

EIBAR (GIPUZKOA)

## **EGILE TALDEA:**

**Abizenak, Izena:** *Salgado Herrera, Urko*

**Abizenak, Izena:** *Ulazia Manterola, Alain*

**Abizenak, Izena:** *Carreno-Madinabeitia, Sheila*



# **AURKIBIDE OROKORRA**

## **1. DOKUMENTUA: MEMORIA**

- 0. Laburpena
- 1. Sarrera
- 2. Metodologia
- 3. Emaitzak
- 4. Ondorioak
- 5. Erreferentziak

## **2. DOKUMENTUA: ERANSKINAK**

Eranskinak I

Eranskinak II





## GIPUZKOAKO INGENIARITZA ESKOLA

## ESCUELA DE INGENIERÍA DE GIPUZKOA

### EIBAR

---

**GRAL:** HAIZE ENERGIAREN BALIABIDE AZTERKETA ERRESOLUZIO  
ALTUKO DATUEZ

---

#### 1. DOKUMENTUA: MEMORIA

**Gradua:** Energia Berriztagarrien Ingeniaritzako Gradua  
**Ikasturtea:** 2022 - 2023  
**Egilea:** Salgado Herrera, Urko  
**Zuzendariak:** Ulazia Manterola, Alain  
Carreno Madinabeitia, Sheila



# AURKIBIDEA

0. LABURPENA .....	13
1. SARRERA .....	15
1.1. ENERGIA EOLIKOA .....	15
1.1.1. OINARRI ZIENTIFIKOAK .....	15
1.2. ENERGIA EOLIKOA MUNDUAN .....	17
1.3. ENERGIA EOLIKOA EUROPAN .....	19
1.4. ENERGIA EOLIKOAREN ETORKIZUNA .....	20
1.5. EUROPAKO METEOROLOGIA ZENTROA .....	21
1.6. ERA5 .....	22
1.7. IFS .....	23
1.8. WPD .....	23
2. METODOLOGIA .....	25
2.1. AZTERKETA EREMUA .....	25
2.2. ERA5 DATUAK .....	27
2.2.1. DATUEN DESKARGA .....	27
2.2.2. DATUEN TRATAMENDUA R BIDEZ .....	31
2.3. NEXTGEMS DATUAK .....	32
2.3.1. ZARR ARTXIBOEN TRATAMENDUA .....	33
2.4. WPD10 ETA WPD100 ERA5 DATUEKIN.....	34
2.4.1. KALKULUAK R BIDEZ. ....	34
2.5. WPD10 ETA WPD100 NEXTGEMS DATUEKIN.....	36
2.5.1. KALKULUAK R BIDEZ .....	37

2.6. GRAFIKOAK R BIDEZ .....	38
2.6.1. HODEI-PUNTUAK .....	38
2.6.2. KUTXA DIAGRAMAK .....	40
3. EMAITZAK .....	43
3.1. BI ESTAZIOEN HAUTAKETA .....	43
3.2. BURGOS-EKO ESTAZIOAREN ANALISIA .....	44
3.2.1. WPD10 ANALISIA (periodo osoa) .....	44
3.2.1.1. ERA5 vs. NEXTGEMS 9 km .....	44
3.2.1.2. ERA5 vs. NEXTGEMS 4,5 km .....	46
3.2.1.3. ERA5 vs. NEXTGEMS 2,9 km .....	47
3.2.2. ANALISIA URTAROKA .....	48
3.2.2.1. ERA5 vs. NEXTGEMS 9 km .....	48
3.2.2.2. ERA5 vs. NEXTGEMS 4,5 km .....	49
3.2.2.3. ERA5 vs. NEXTGEMS 2,9 km .....	50
3.2.3. AZPI-ORDUKO DATUAK AZTERTUZ .....	50
3.3. BARBADOS-EKO ESTAZIOAREN AZTERKETA .....	54
3.3.1. WPD10 ANALISIA (periodo osoa) .....	54
3.3.1.1. ERA5 vs. NEXTGEMS 9 km .....	54
3.3.1.2. ERA5 vs. NEXTGEMS 4,5 km .....	56
3.3.1.3. ERA5 vs. NEXTGEMS 2,9 km .....	56
3.3.2. ANALISIA URTAROKA .....	57
3.3.3. AZPI-ORDUKO DATUAK AZTERTUZ .....	57
4. ONDORIOAK .....	61
5. ERREFERENTZIAK .....	63

## LABURPENA

Proiektu honen helburu nagusia da haize energiaren ikuspuntutik Europako meteorologia zentroak, ECMWF, *NextGEMS* proiektuaren barruan garatzen ari duen modelo berria, gaur egungo ERA5 modeloarekin alderatzea. *NextGEMS* modelo berriaren simulazioetan, 7 minutu eta erdiro, 3 minutuero eta 2 minutuero erregistratu dira balioak eta denbora periodoa 2020. eta 2021. urteak hartzen ditu. Modelo berriaren datuak oso erabiltzaile gutxiren esku daude. Ikerketa lan honetan modelo horren simulaziotik 30 kokaleku desberdin aztertu dira, eta aukeratutako bitan, azterketa sakona egin da. Lehenengoa Iberiar Penintsulan kokatzen da, Burgoseko probintziako *onshore* eremu batean. Bigarrena aldiz, Barbados uhartetik 200 kilometrora dagoen *offshore* eremu batean, Ipar Atlantikoko itsasoan.

Haizearen abiaduraren parametroetatik abiatuta, haizearen potentzia dentsitatea, WPD, kalkulatu eta oinarritzat erabili da. Modeloen arteko konparaketak egiteko, media, mediana, lehenengo kuartila eta hirugarren kuartila izan dira aztertu diren balioak, WPD balio maximoak ere aztertu dira. Gainera, puntu-hodei eta kutxa diagramak erabili dira bi modeloen eta erresoluzio desberdinen antzekotasunak bilatzeko.

Modeloen arteko parekotasunari dagokionez, hilabete hotzetan eta azterketa periodoaren hasieran, ematen da modeloen arteko gertutasun handiena; hilabete beroetan eta azterketa periodoaren amaieran, *NextGEMS*-ren simulazioak gain-estimazio handiak egiteko joera hartzen dute.

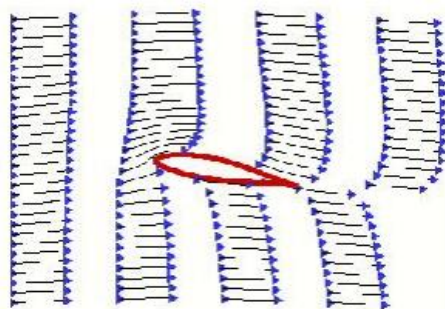
Azkenik, Burgos-en eta Ipar Atlantikoko itsasoan parke eoliko bat instalatzearen bideragarritasuna balioztatu da. Burgoseko estazioa zuzenean baztertu da potentzial eoliko baxua izateagatik. Ipar atlantikoko estazioa, aldiz, aerosorgailuak instalatzeko toki interesgarria dela ondorioztatu da.

Gradu amaierako lan honen kalkulu eta grafiko guztiak R programaren bidez egin dira.

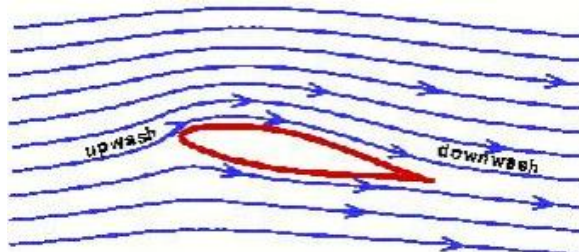




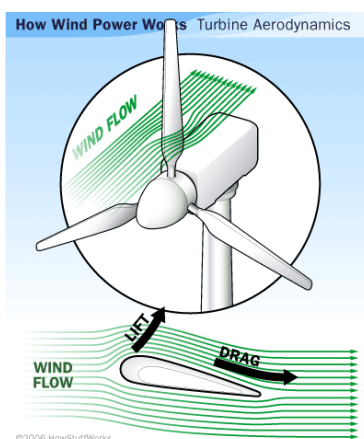
Lerro berean dauden haize partikulak batera doaz (Irudia 1-2), hortaz, haize errota baten hegala bezalako oztopo bat topatzen dutenean, banatu egiten dira. Palaren azpiko aldetik doazen partikulek ibilbide laburragoa daukate (Irudia 1-3), beraz, goitik doazen partikulek euren abiadura handitu beharko dute. Partikulen azelerazio horrek presioaren erorketa bat eragingo du. Horrela, pala goraka bultzatuko duen *lift* indarra sortuko da eta, ondorioz, errotazioa (Irudia 1-4) [4][5].



**Irudia 1-2. Aire fluxuaren simulazioa hegala batean, azelerazioa eta dezelerazioa ikusteko [4, Fig. 2].**



**Irudia 1-3. Aire fluxuaren ibilbidea hegala gainera eta azpitik [4, Fig. 4].**



**Irudia 1-4. Lift eta drag indarrak [6, Img. 5]**

*Drag* indarra haizearen erresistentziak sortzen duen marruskadura indar bat da. Beraz, aerosorgailu baten palaren mugimendua optimizatze orduan, *lift* indarra handitzea eta *drag* indarra murriztea komenigarria da.

Turbina batek sor dezakeen energia kalkulatzeko 1. ekuazioa erabiltzen da;  $\rho$  airearen dentsitateari dagokio,  $A$  biraketa azalerari,  $v$  haizearen abiadurari eta  $\eta$  errendimenduari.

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

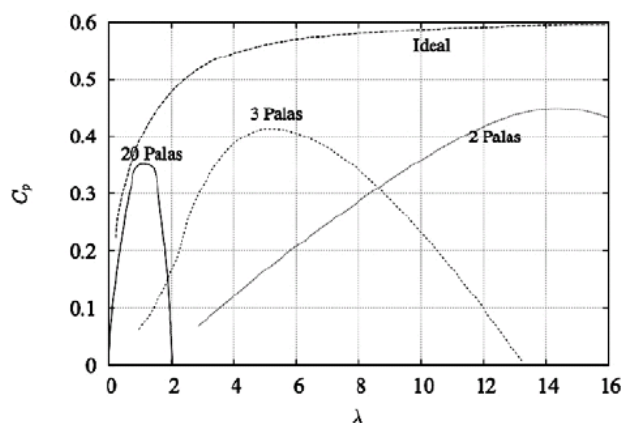


Airearen dentsitatea baldintza normalean  $1,225 \text{ kg/m}^3$ -koa izan arren, bariazioak ditu. Zonalde hotzetan aireak dentsitate altuagoa dauka, airearen pisua handitzen delako, ondorioz, energia potentzial altuagoak daude elektrizitatea lortzeko. Zonalde beroetan, aldiz, kontrako efektua sortzen da [7].

Errendimenduari dagokionez, errendimendu aerodinamikoek, mekanikoek eta elektrikoek eragiten dute. Sistema ideal bat planteatzen denean errendimendu mekaniko eta elektrikoa %100 kontuan hartzen dira, eta errendimendu aerodinamikoak Betz-en limiteak zehazten du [8][9]. Betz-en arabera, potentzia maximoa haizeak dakarren potentziaren %59,3 izango da. 2. ekuazioaren bidez sistema ideal baten potentzia lortzen da.

$$P = \frac{16}{27} \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \right) \quad (2)$$

Potentzia koefizienteak,  $C_p$ , errealitatean aerosorgailuak sarrerako haizearen zenbateko potentzia jasotzen duen adierazten du [10], errendimenduari dagokion parametro bat da. TSR parametroak, *Tip-Speed-Ratio*, puntako biraketa abiaduraren eta haizearen abiaduraren arteko erlazioa zehazten du [11].  $C_p$  eta TSR parametroak haize-sorgailu horizontal mota ezberdinak sailkatzeko erabiltzen dira (Irudia 1-5). Hiru paladun aerosorgailu horizontalak, guztietatik, parametro optimoetara gehien hurbiltzen direnak.



Irudia 1-5. TSR vs.  $C_p$  diagrama [10, Fig. 2]

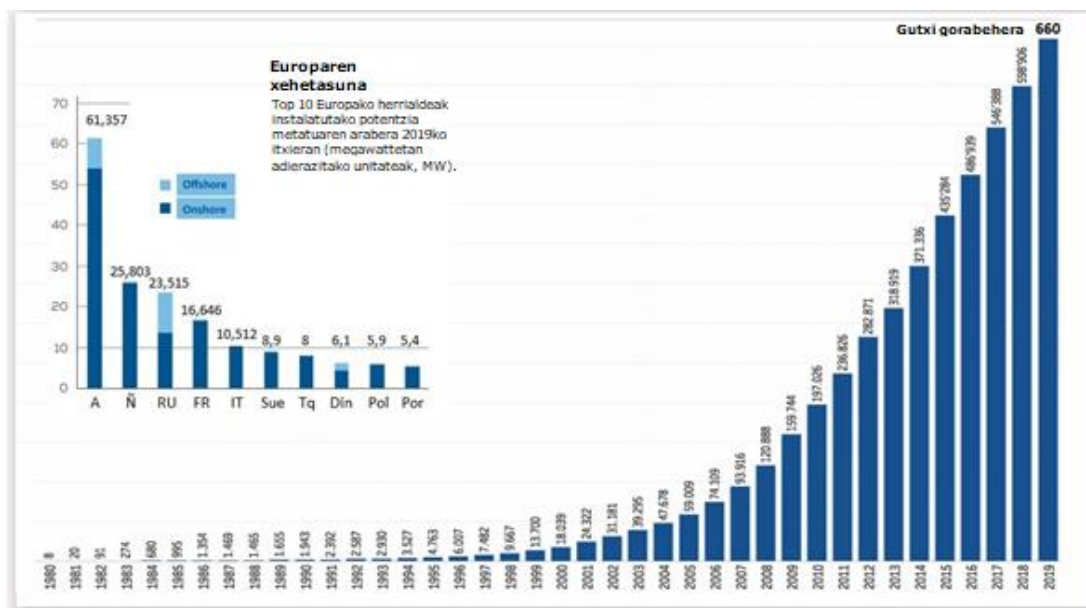
Ikerketa lan honetan, Wind Power Density-aren, WPD, kalkuluak egiteko, hiru paladun aerosorgailu horizontalak hartu dira, bai *onshore*, bai *offshore* eremuetan ohikoenak, erabilienak, ikertuenak eta teknologia aldetik garatuenetarikoa direlako.

## 1.2 ENERGIA EOLIKOA MUNDUAN

Energia eoliko modernoa Danimarkan garatzen hasi zen arren, 1 MW baino gehiagoko lehenengo haize errota Palmer Cosslet Putnam-ek (1910-1986), 1941. urtean, jarri zuen martxan Castleton-en, Vermont (Amerikako Estatu Batuak) [12]. 1985. urtean, turbinek, batez beste, 0,05 MW lortzen zituzten 15 metroko diametroa zuten haize erroten bitartez. Gaur egun, 18 MW-ko potentzia maximoa duen *offshore* haize errota prestatuko duela iragarri du Txinak. Haize errota horrek 128 metroko palak izango ditu, aldea nabarmena da [13]. Hasieran energia eolikoaren munduan buru ziren Amerikako Estatu Batuak, Alemania eta Espainia, azkar aurreratu ditu Txinak (Irudia 1-6). Bereziki 21. mende hasieratik, etengabekoa izan da teknologia honen gorakada mundu mailan (Irudia 1-7).

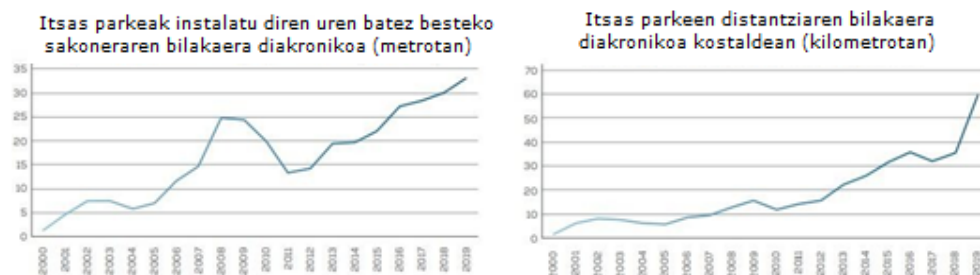


Irudia 1-6. Herrialdeka metatutako potentzia globala (ezk.) eta instalatutako potentzia (esk.) [14].



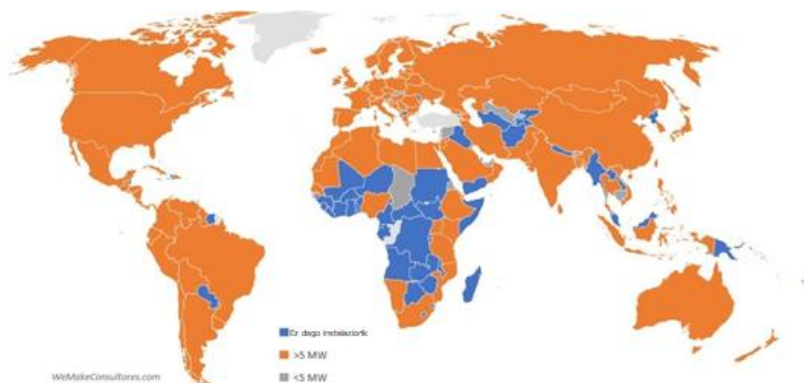
Irudia 1-7. Urteetan zehar mundu osoan instalatutako potentzia eolikoaren bilakaera [14].

Gehien garatu ziren teknologiak *onshore* izan arren, azken urteetan, *offshore*-n inbertsioak handitu dira mundu osoan, eta ikerkuntzan, aurrera pauso garrantzitsuak eman dira. *Onshore* teknologian errotoreak handiagoak egiten joan diren bezala, *offshore* teknologian, instalatu daitekeen sakoneran eta kostaldetik dagoen distantzian eman dira garapenak. 1-8 irudian mende hasieratik *offshore* teknologian eman den garapena adierazten da [15].



Irudia 1-8. Sakonera vs. urteak eta distantzia vs. urteak [14].

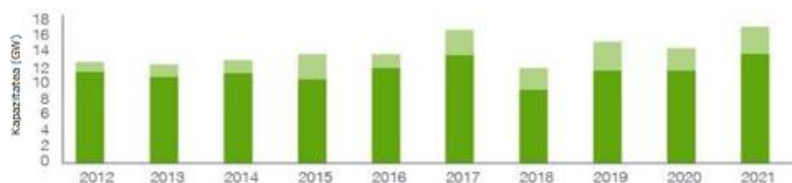
Azkenik, atentzioa ematen du kontinenteen artean dagoen aldea. 1-9 irudian argi ikusten den bezala, Afrikan adibidez, herrialde ugari daude energia eoliko instalaziorik gabe.



Irudia 1-9. Energia eolikoaren gaitasuna herrialdeka (2021) [16].

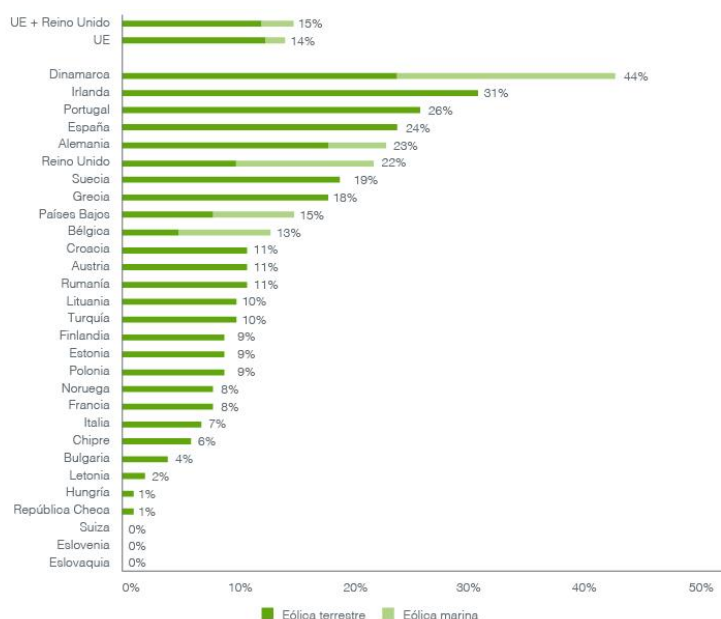
### 1.3 ENERGIA EOLIKOA EUROPAN

Europar instalazio berriak eraikitzen dira energia berriztagarrietarako trantsizioa jarraituz. 1-10 irudian eboluzio konstante bat ikus daiteke non azken urteetan *offshore* teknologiak zati handiagoa hartuz joaten den [17]. Herrialdeen artean, aldiz, ezberdintasun nahiko nabarmenak daude. 1-11 irudian Europako herrialde guztien 2021eko mix energetikoan energia eolikoak duen ekarpena ikus daiteke.



	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Itsasoko eolikoa	1.2	1.5	1.5	3.0	1.6	3.2	2.7	3.6	2.9	3.3
Lurreko eolikoa	11.8	11.1	11.7	10.9	12.2	13.9	9.4	11.9	11.8	14.0
<b>Guztira</b>	<b>12.9</b>	<b>12.6</b>	<b>13.2</b>	<b>13.9</b>	<b>13.8</b>	<b>17.1</b>	<b>12.1</b>	<b>15.5</b>	<b>14.8</b>	<b>17.4</b>

Irudia 1-10. Urteko instalazio eoliko berriak Europar [17].



Irudia 1-11. Energia eolikoaren ekarpena Europako mix energetikoan 2021ean [17].

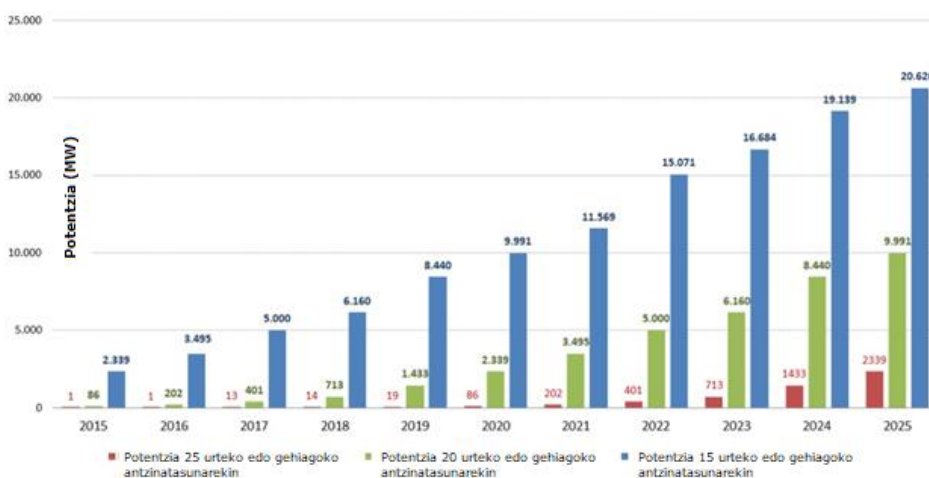
### 1.4 ENERGIA EOLIKOAREN ETORKIZUNA

Tamaina da haize-sorgailuetan ematen ari den eboluzio argia, eta gaur egun, zaila da jakitea zein izan daitekeen turbina baten tamaina maximoa; fisikako legeek desafiatu beharko dira, eta egitura erraldoi horiek garraiatzeak zein eraikitzeak, arazo logistikoko ugari dakartza [18]. Horrek, desabantaila batzuk izan arren, adibidez, ingurumen inpaktuan, potentziaren produkzioan hobekuntza nabarmena da (Irudia 1-12). Horrela, lehiakorragoak bihurtu dira, eta herri askotan energia ez-berriztagarrien iturriekin lehiatu ahal izan dute [19].



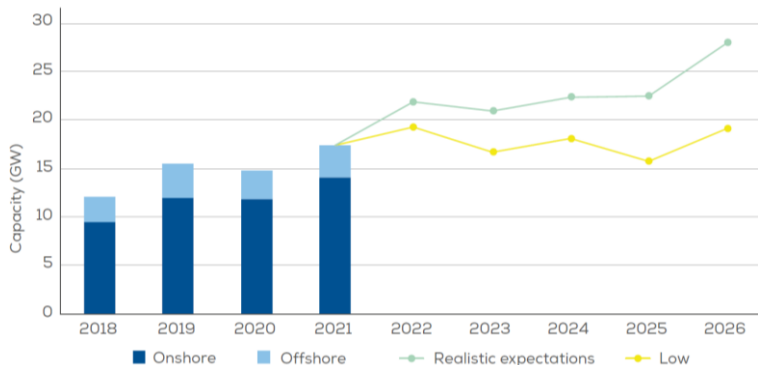
Irudia 1-12. Espainiako parke eolikoaren eboluzioa [19].

Aerosorgailuen adina kontuan hartu beharreko beste alderdi bat da. Hurrengo urteetan lehen belaunaldiko parke eolikoak, bizitza erabilgarriaren amaierara iritsiko dira. Baldintza egokietan, 20-25 urteko bizitza erabilgarria ematen zaie; kasu hobereenetan, eta aldaketa txiki batzuk eginda, erabilgarritasun optimoa 30 urte arte luza daiteke. Beraz, ondorengo hamarkadetan, turbina zahar horietako asko potentzia handiagoko eta askoz eraginkorragoak izango diren turbina berri batzuekin ordezkaturiko dira. 1-13 irudian hurrengo urteetan Espainian aurreikusten den egoera adierazten da [20].



Irudia 1-13. Espainiako parke eolikoaren antzintasuna [20].

WindEurope-ren, Energia Eolikoaren Europako elkarteak, aurreikuspenen arabera, 2030ean produkzioaren %40 energia berriztagarriak diren iturrietatik asetzeko helburua betetzeko, urtero energia eolikoan 32 GW instalatu beharko lirateke (Irudia 1-14). 2026rako Europako potentzia 340 GW-ko balioa gainditzea espero da [21].



**Irudia 1-14. Onshore eta offshore instalazio berrien aurreikuspena Europaratuan [21].**

Massachusetts-eko Institutu Teknologikoak ere, ikerketa bat abiatu du etorkizuneko erronken gakoak identifikatzeko [22]. Haien ustetan, deskarbonizazioa, klima aldaketaren aurkako lehia, teknologia berriak, digitalizazioa eta energia berriztagarrien aurrera pausua izango dira etorkizuneko erronketako gako garrantzitsuenak. Ikerketa horren emaitzak ere, baieztatzeaz gain, Stanford-eko Unibertsitateak gehitu du 2050erako posiblea izango dela munduko energia eskariaren %100 energia berriztagarri bidez asetzea, batez ere, energia eoliko eta eguzki energiaren baliabideak [22].

## 1.5 EUROPAKO METEOROLOGIA ZENTROA

European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) 1975ean eratu, eta egun, 35 estatuk babesten duten gobernu arteko erakundea da. 35 estatu horietatik, 23 estatu kideak dira, eta 12 estatu kooperanteak. Egoitza nagusia Bonn-en (Alemania) dauka [23]. Ikusi 1-15 irudia. Helburu nagusia epe ertaineko iragarpen meteorologikoak egiteko gaitasuna garatzea da. Ondoren, datuak ECMWF-en parte hartzen duten estatu kideei eskainiko zaizkie. Aldi berean, ECMWF-ak hurrengo aspektutan ere lan egiten du [24].



**Irudia 1-15. ECMWF-ren estatu kideak [23].**

Lehenik, iragarpen meteorologiko numerikoak egiten ditu. Estatu kideetako zerbitzu meteorologiko nazionalak denbora errealean jasotzen dituzte iragarpen horiek. Bestalde, mundu osoko enpresek eta beste bezero komertzialek ere erabili dezaketen iragarpen datu katalogo zabal bat eskaintzen du.

Bigarrenik, ikerkuntza institutua da. Horrela, iragarpen kapazitatea ebaluatzeko, diagnostikatzeko eta hobetzeko eta produktu berriak garatzeko gaitasuna dauka. Bestalde, ikerkuntza talde horri esker, urteetan zehar klima baldintzatzen duten faktoreen eboluzioa aztertzen da, hala nola, airearen kalitatea, ozeanoen zirkulazioa, atmosferaren konposizioa, etab.

Hirugarrenik, Europako meteorologia zentroak, super-konputazio instalazio bat dauka, Europako handienetarikoa. Bertan datu meteorologikoen artxiboak mantentzen dira, eta estatu kideek bere gaitasunaren %25a erabil dezakete haien xedeetarako.

Azkenik, beste aspektu garrantzitsu bat ere jotzen du, etorkizunari eta muturreko meteorologiari lotuta dagoena; mundu mailako iragarpenak aztertzen ditu, eta etorkizunean eduki ditzakegun agertoki guztiak planteatzen ditu. Agertoki horiek aztertu eta hauek betiko geratzeko probabilitatean oinarritutako analisiak egiten ditu.

Lan honetan ECMWF ikerkuntza taldearen *NextGEMS* proiektuaren barruan sortu diren modelo berriaren simulazioak erabili dira, eta hurrengo atalean (Memoria, 1.6), azaltzen den ERA5 biranalisiarekin konparatu dira. ERA5 modeloa ECMWF garatutakoa da ere.

## 1.6 ERA5

ERA5 ECMWF-ren biranalisi atmosferikoaren bosgarren belaunaldia erabili da lan honetan. Biranalisi bat iraganeko klimaren irudi eguneratuena da: datu iturri askotatik, hala nola, lurreko estazioak, itsas estazioak, sateliteetako datuak, etab., informazioa hartu, konbinatu eta hortik aurrera sortzen dena. ERA5-ek 1940tik gaur egun arteko datuekin lan egiten du eta oso tresna baliagarria da meteorologian adibidez. ERA5 datuak eskuragarri uzten dituen proiektuaren izena *Copernicus* da [25].

Modelo honi esker aldagai atmosferiko, ozeaniko eta lurtar ugariren orduko estimazioak lortzen dira. Hau egin ahal izateko, lurrazaletik atmosferako 80 km-ra dagoen tarte, 137 maila bertikaletan banatzen du [26]. Honetaz gainera, kalkulu globalak egiterako orduan behaketa historiko ugari konbinatzen ditu sistema aurreratuek erabiliz. Tresna honen baliagarritasunari gehitu dakizkioke planeta mailan simulazioak egiten dituela, baita sateliteen, estazio meteorologikoen eta buien behaketen datuak ere integratzen dituela.

Simulazio globalak egitean klima globalaren biranalisiak lortzen dira. Horrek baliabide kritikoak ematen ditu klima aldaketari loturiko prozesu desberdinak identifikatu, ulertu eta monitorizatu ahal izateko. Horri esker, etorkizunean klima aldaketak sor ditzaken egoera eta prozesu desberdinak ulertu eta egoera hipotetikoak konfiguratzeko. Biranalisiak iraganeko eta oraingo informazio meteorologikoak gaur egungo iragarpen modernoekin konbinatzen ditu eta datu baliagarri ugari eskaintzen ditu: airearen tenperatura, haizearen presioa, haizearen abiadura hainbat altueratan, euri kantitatea, lurzorua hezetasuna, etab. ERA5en datuak erabilera publikorako eskuragarri daude, eta sarbide zein deskargak guztiz libreak dira. Parametro bakoitzaren orduko informazioa dago, gutxi gorabehera 31 km-ko bereizmen horizontal batean. Bertatik haize energiaren baliabidearen azterketa egiteko aldagai ugari lortu dira, adibidez, haizearen u eta v osagaiak 10 eta 100 metrotan (Memoria, 2.2.1).

Modelo honekin, emaitza bikainak lortzen dira ia zimurtasunik ez dagoen zonetan, halaber, itsasoan. Horregatik, *offshore* energia eolikoarekin lan egiten denean tresna baliagarria izaten da. ERA5 datuak aplikazio ugari erabil daitezke, ohikoena: gertaera meteorologiko historikoen bisualizazio eta azterketa, kalkulu klimatologikoak eta klima iragartzen eta aztertzen duten modeloen sorrera [27][28].



## 1.7 IFS

Lan honetan *NextGEMS* proiektuaren barruan garatutako modelo berriaren simulazioak aztertu dira. Simulazio hauek Integrated Forecasting System, IFS, erabiliz lortu dira.

IFS, ECMWF-ek eta Météo-France-ek, elkar lanean garatu eta mantentzen duten iragarpen meteorologiko numeriko globalaren sistema bat da. Askotan, IFS-ri ECMWF edo europar modeloa bezala deitzen zaio, batez ere, Ipar Amerikako modelotik (GFS) desberdintzeko. 2021etik aurrera, IFS sistema eguraldiaren pronostikoa zehatzena egiten duen modelotzat hartzen da [29].

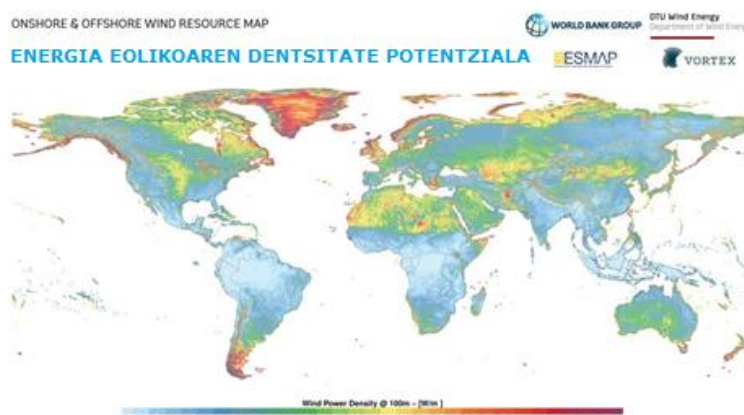
*NextGEMS* proiektuaren barruan gartu diren simulazioak planeta osoa hartzen duten *grid* batetik, 30 estazio-puntu zehaztu dira eta horiek izan dira aztertu eta ERA5 modeloarekin alderatu direnak. Bertsio berria eraikitzeko hiru erresoluzio desberdin aplikatzen dira. Lehenengoak 7 minutu eta 30 segundoero hartzen ditu datuak, bigarrenak 3 minutuero eta hirugarrenak 2 minutuero. Lan honetan erabili diren datuak berriak dira, eta erabiltzaile oso gutxiren esku daude. Horrek garrantzi handia ematen dio ikerketa lan honi, lortuko diren emaitzek garrantzia izan dezaketelako ECMWF hurrengo urteetan lortuko dituen modeloen bertsio berrien garapenean.

Lur planetarako eta atmosferarako garrantzitsuenak diren aldagai meteorologikoen datuak orokorrean, *grib* edo *NetCDF* formatuetan gordetzen dira. Proiektu berri honetan, datuak *zarr* formatuan kudeatu dira. Formatu berri honek erresoluzio altuko datuak prozesatzeko eta gordetzeko, *grid* edo *NetCDF* baino aukera erosoagoa ematen duela uste da [30].

## 1.8 WPD

Potentzia eolikoaren dentsitatea, ingelesez, Wind Power Density (WPD), eskuragarri dagoen baliabide eolikoa ebaluatzeko modu erraz bat da. Potentzia eolikoaren dentsitatea, wattio metro koadrotan neurtuta ( $W/m^2$ ), aukeraturiko zonan aerosorgailu bat instalatuz gero sortu ahal izango den energia kantitatea adierazten du. Haizearen abiadura luraren altuerarekin aldatzen da, orokorrean, gero eta altuago gero eta haize abiadura gehiago [27][31][32].

Urte osoko potentzia erabilgarria lortzeko WPD-a turbinak duen azalerarekin biderkatzen da. WPD-ren kalkuluak airearen dentsitate desberdinak eta haizearen abiadura efektuak kontuan hartzen ditu. Gainera, zimurtasunaren balioa ezaguna bada, eta haizeak lurrekiko duen abiadura gradientea kontuan izanik, altuera desberdinetako WPD-ak kalkula daitezke (Memoria, 2.5). 1-16 irudian WPD-ren argazki global bat azaltzen da.



**Irudia 1-16. Energia eolikoaren dentsitate potentziala [33].**





## 2. METODOLOGIA

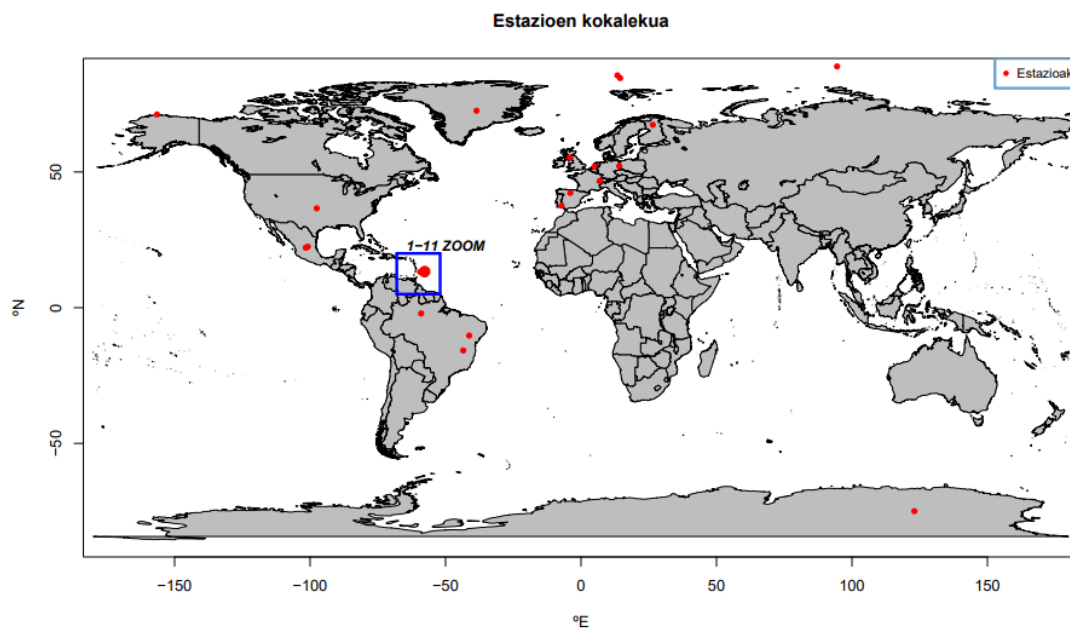
### 2.1 AZTERKETA EREMUA

*NextGEMS* modelo berriaren *grid*-etik 30 kokaleku aukeratu ditu Europako zentro meteorologikoak azterketa sakona egiteko (Taula 2-1), gehienak Europa eta Amerika kontinenteetan zehar banatuta daude. Hala ere, Europako ikerketa-taldeak datu meteorologiko desberdinekin ikertzen ari dira, eta kasu honetan, energia eolikoaren ikuspuntutik egingo da azterketa. Ikerketa zehatzagoa izateko hainbat latitude eta longitude aztertu dira; horretarako, puntuak poloetatik gertu zein ekuatorearen inguruan ere aukeratu dira. Horrela, simulazioak luraren eremu bakoitzean daukan zehaztasuna aztertu daiteke, eta koordenatu desberdinetan izan ditzaken errore marjinak ikus daitezke. Lan honetan sakonago aztertu diren bi estazioak, *Burgos\_SPN* eta *EUREC4A\_9* dira.

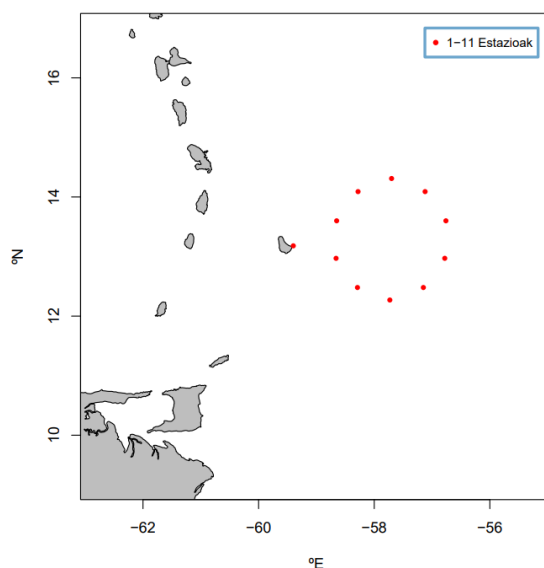
Taula 2-1: Sakonki aztertzeko aukeratu diren estazioak urdinez adierazi dira.

ESTAZIOA	LON.	LAT.	ESTAZIOA	LON.	LAT.
1. BARBADOS CLOUD OBSERVATORY	-59.4	13.18	16. BARROW_USA	-156.51	71.18
2. EUREC4A_1	-56.76	13.6	17. SUMMIT_DNK	-38.57	72.58
3. EUREC4A_2	-57.12	14.09	18. DOMEK_ANTARC	123.03	-74.97
4. EUREC4A_3	-57.7	14.31	19. PAYERNE_SWZ	6.98	46.78
5. EUREC4A_4	-58.28	14.09	20. ATTO_BRZ	-59	-2.14
6. EUREC4A_5	-58.65	13.6	21. MNSGERAIS_BRZ	-43.47	-15.78
7. EUREC4A_6	-58.66	12.97	22. BAHIA_BRZ	-41.28	-10.3
8. EUREC4A_7	-58.29	12.48	23. SAN_LUIS_MXC	-100.82	22.46
9. EUREC4A_8	-57.73	12.27	24. ZACATECAS_MXC	-101.6	22.11
<b>10. EUREC4A_9</b>	<b>-57.15</b>	<b>12.48</b>	25. SCOTLAND	-4.16	55.29
11. EUREC4A_10	-56.78	12.97	<b>26. BURGOS_SPN</b>	<b>-3.95</b>	<b>42.28</b>
12. CABAUW_NL	4.95	51.99	27. HUELVA_SPN	-7.2	37.57
13. SODANKYLA_FIN	26.5	67.38	28. PSTERN_SPRING	14.44	84.6
14. ARMS_OKL	-97.54	36.59	29. PSTERN_AUTUMN	94.5	88.89
15. LINDENBERG_GER	14.11	52.2	30. PSTERN_MARCH	13.43	85.59

2-1 irudian 30 puntuen kokalekuak ikus daitezke mundu mapan zehar banatuta. Lehenengo 11 estazioak beraien artean oso gertu daudenez *zoom* bat egin da, 2-2 irudian ikus daitekeena.



**Irudia 2-1. 30 estazioen kokalekuak.**



**Irudia 2-2. 1-11 estazioen kokalekuaren zoom-a.**

Lehenengo 11 puntuak horrela kokatuta egotearen, eta zehazki munduko puntu horretan kokatuta egotearen arrazoia, beste ikerketa talde batek ECMWF-ri eremu horretan *offshore* instalazio bat abiatzeko adierazi dion interesetik dator.

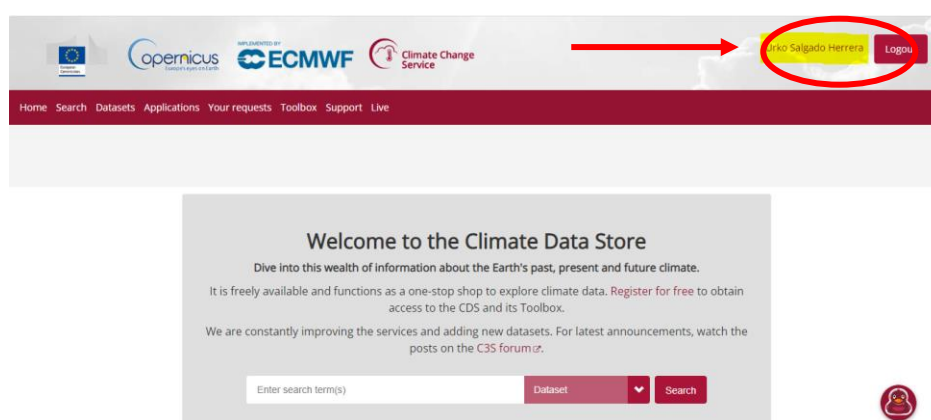
Azken hiru estazioek atentzioa ematen dute, izan ere, hirurek izen bera daukate, eta hilabete edo urtaroen arabera desberdintzen dira. Koordinatuak begiratzen badira, puntu desberdinetan kokatuak daudela ikusten da. Hiru estazio horiek MOSAIC proiektuaren barne dagoen Polarstern itsasontzi zientifikoaren bidaiaren ibilbidean daude, hortaz, itsasontzi hori estazio-puntu hauetan egon den hilabete edo urtaroen izena jarri zaie estazioei. Izenak alde batera utziz, hiru estazio-puntuetan *NextGEMS* modeloaren simulazioaren denbora periodo osoa erregistratu eta gorde da, beste estazio guztietan bezala.

## 2.2 ERA5 DATUAK

Proiektu honetarako 2020tik 2022rako denbora periodoa hartzen duten ERA5 datuak behar dira. Datu hauek duten erresoluzioa ordu bakoitzeko datu bat da, *NextGEMS* modelo berriaren erresoluzioekin alderatuta, erresoluzio handiagoa da. Denbora tarteari dagokionez, *NextGEMS* modeloaren simulazioek duten periodoa errespetatu da, eta periodo berdina zehaztu zaie ERA5 datuei. Deskargatu diren aldagaiak u10, v10, u100 eta v100 izan dira, hau da, haizearen u eta v osagaiak 10 eta 100 metrotan.

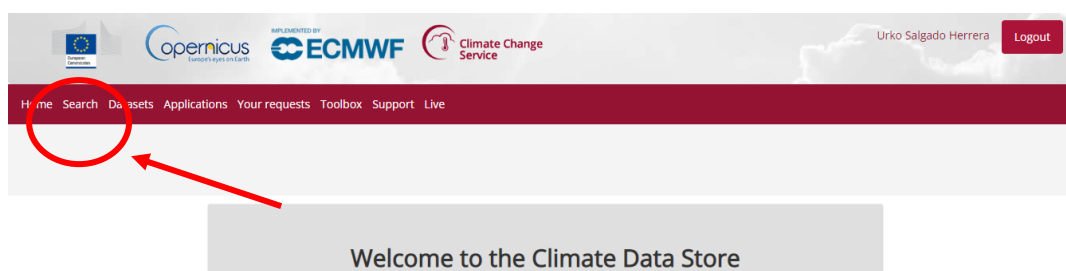
### 2.2.1 DATUEN DESKARGA

ERA5 datuak ECMWF-ren web orrialdetik eskuratu dira. Bertan, erabiltzaile ororentzako eskuragarri daude; libreak eta doakoak dira. Ahala ere, erregistratu beharra dago informazioa deskargatzera iritsi aurretik, 2-3 irudian *Copernicus* proiektuaren web orria ikus daiteke [34]. Atal honetako (Memoria, 2.2.1) irudi guztiak *Copernicus* proiektuak daukan web orritik atera dira [35].



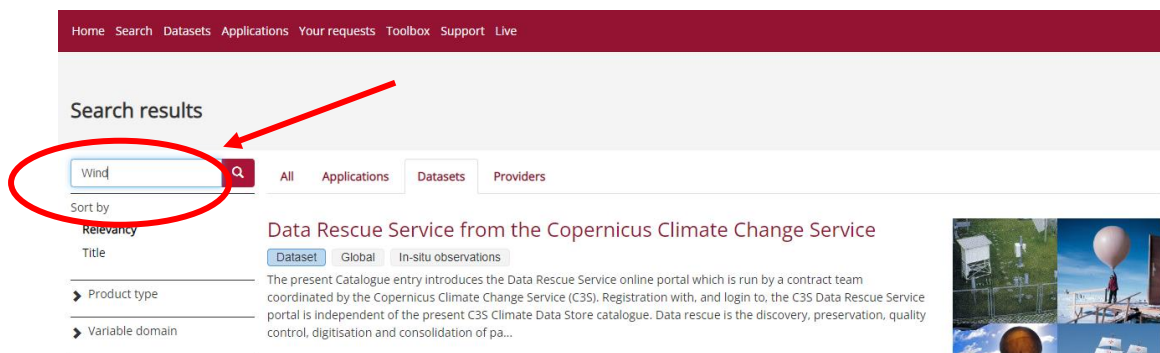
**Irudia 2-3. Erregistroa [34].**

Behin erregistroa eginda ERA5ek eskaintzen duen datu katalogoa aztertu eta nahi ditugun aldagaiak deskargatu ditzakegu ondorengo urratsak jarraituz, koordinatuak eta denbora tarteari zehazteko aukera ere ematen du. Lehenik, goiko aukera-barrara joan eta *Datasets* atalera jo behar da (Irudia 2-4).



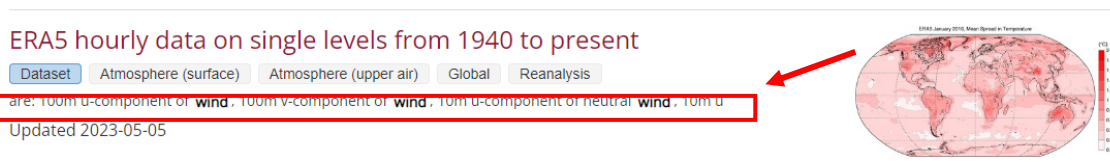
**Irudia 2-4. Datasets menura sartu [34].**

Behin hor, ezkerrean dagoen bilatzailean *Wind* idatzi behar da. Horrela, haizearen inguruko datuak dituzten artxibo guztiak iragaziko dira (Irudia 2-5).



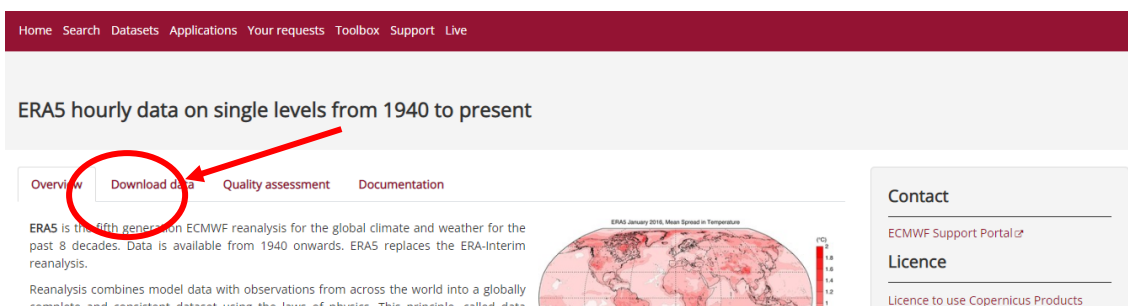
**Irudia 2-5. Haizearen datuak dituzten artxiboak bilatu [34].**

Hurrenik, proiekturako egokiena den artxiboa bilatu behar da zerrenda aztertuz. Kasu honetan, *ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present* deituriko artxiboa aukeratu da. Pakete horrek ERA5-en orduko datuak ditu, ERA5-en denbora erresoluzio altuena hain zuzen. Ikertu nahi diren urteak kontuan hartuta, paketeak bete egiten du 2020 eta 2022 urteen tartea; hortaz, alderdi horretatik ere egokia izango da. Gainera, bilaketa egiterakoan agertzen den laburpen txikian, proiekturako derrigorrez behar diren datuen informazioa daukala ikus daiteke (Irudia 2-6).



**Irudia 2-6. ERA5 artxiboaren aukeraketa [34].**

Behin errepositorioa aukeratuta, *Overview* atalean, informazio guztiaren laburpen orokor bat aurki daiteke. Informazio hori irakurri ostean, proiekturako biltegi egokia dela baieztatu eta *Download data* atalera jo da (Irudia 2-7).



**Irudia 2-7. Paketeak duen informazioa ikusi.**

Atal honen barruan, deskargatu nahi den informazioa sailkatzeko aukera ematen du. 2-8 eta 2-9 irudietan deskargatzeko aukeratu diren aldagaiak adierazten dira, ikerketa lanaren ezaugarriak kontutan hartuz, lan egiteko eta ikerketa burutzeko artxibo egokiena sortzeko. 2-8 irudian *Reanalysis* aukeratu da, ERA5-en biranalisi datuak lortu nahi direlako. 2-9 irudian berriz, haizearen u eta v osagaien datuak aukeratu dira 10 eta 100 metroko altueretarako.

Product type

Reanalysis       Ensemble members       Ensemble mean       Ensemble spread

[Select all](#)   [Clear all](#)

**Irudia 2-8. Produktu motaren aukeraketa [34].**

Variable ?

▼ Popular

10m u-component of wind       10m v-component of wind  
 2m dewpoint temperature       2m temperature  
 Mean sea level pressure       Mean wave direction  
 Mean wave period       Sea surface temperature  
 Significant height of combined wind waves and swell       Surface pressure  
 Total precipitation

[Select all](#)   [Clear all](#)

► Temperature and pressure

▼ Wind

100m u-component of wind       100m v-component of wind  
 10m u-component of neutral wind       10m u-component of wind  
 10m v-component of neutral wind       10m v-component of wind  
 10m wind gust since previous post-processing       Instantaneous 10m wind gust

[Select all](#)   [Clear all](#)

**Irudia 2-9. Aldagaien aukeraketa [34].**

Proiektu honek 2020. eta 2022. urteak osorik aztertzen ez dituen arren, biltegian deskargatzeko orduan, errazagoa egiten da urte osoak aukeratzea (Irudia 2-10 eta 2-11). Horrela, artxibo bakarra lortzen da zehazturiko eremu bakoitzeko. Geroago, R proqramarekin datuen tratamendua egiterakoan zehatz-mehatz behar diren datuak aukeratuko dira.

Prozesua arintzeko, longitude eta latitude muga batzuk zehaztu dira. Estazio-puntu batzuk beraien artean oso gertu daudenez, artxibo bakar batean deskargatzea erabaki da, erraztasunagatik. Horrela, 18 artxibo deskargatu behar izan dira, 30 izan beharrean. Muga hauek 2-12 irudian dagoen atalean zehaztu dira.

Year

<input type="checkbox"/> 1940	<input type="checkbox"/> 1941	<input type="checkbox"/> 1942	<input type="checkbox"/> 1943	<input type="checkbox"/> 1944
<input type="checkbox"/> 1946	<input type="checkbox"/> 1947	<input type="checkbox"/> 1948	<input type="checkbox"/> 1949	<input type="checkbox"/> 1950
<input type="checkbox"/> 1952	<input type="checkbox"/> 1953	<input type="checkbox"/> 1954	<input type="checkbox"/> 1955	<input type="checkbox"/> 1956
<input type="checkbox"/> 1958	<input type="checkbox"/> 1959	<input type="checkbox"/> 1960	<input type="checkbox"/> 1961	<input type="checkbox"/> 1962
<input type="checkbox"/> 1964	<input type="checkbox"/> 1965	<input type="checkbox"/> 1966	<input type="checkbox"/> 1967	<input type="checkbox"/> 1968
<input type="checkbox"/> 1970	<input type="checkbox"/> 1971	<input type="checkbox"/> 1972	<input type="checkbox"/> 1973	<input type="checkbox"/> 1974
<input type="checkbox"/> 1976	<input type="checkbox"/> 1977	<input type="checkbox"/> 1978	<input type="checkbox"/> 1979	<input type="checkbox"/> 1980
<input type="checkbox"/> 1982	<input type="checkbox"/> 1983	<input type="checkbox"/> 1984	<input type="checkbox"/> 1985	<input type="checkbox"/> 1986
<input type="checkbox"/> 1988	<input type="checkbox"/> 1989	<input type="checkbox"/> 1990	<input type="checkbox"/> 1991	<input type="checkbox"/> 1992
<input type="checkbox"/> 1994	<input type="checkbox"/> 1995	<input type="checkbox"/> 1996	<input type="checkbox"/> 1997	<input type="checkbox"/> 1998
<input type="checkbox"/> 2000	<input type="checkbox"/> 2001	<input type="checkbox"/> 2002	<input type="checkbox"/> 2003	<input type="checkbox"/> 2004
<input type="checkbox"/> 2006	<input type="checkbox"/> 2007	<input type="checkbox"/> 2008	<input type="checkbox"/> 2009	<input type="checkbox"/> 2010
<input type="checkbox"/> 2012	<input type="checkbox"/> 2013	<input type="checkbox"/> 2014	<input type="checkbox"/> 2015	<input type="checkbox"/> 2016
<input type="checkbox"/> 2018	<input type="checkbox"/> 2019	<input checked="" type="checkbox"/> 2020	<input checked="" type="checkbox"/> 2021	<input checked="" type="checkbox"/> 2022

**Irudia 2-10. Urteak aukeratu [34].**

Month

January  February  March  April  May  June  
 July  August  September  October  November  December

---

Day

01  02  03  04  05  06  
 07  08  09  10  11  12  
 13  14  15  16  17  18  
 19  20  21  22  23  24  
 25  26  27  28  29  30  
 31

---

Time

00:00  01:00  02:00  03:00  04:00  05:00  
 06:00  07:00  08:00  09:00  10:00  11:00  
 12:00  13:00  14:00  15:00  16:00  17:00  
 18:00  19:00  20:00  21:00  22:00  23:00

**Irudia 2-11. Hilabeteak, egunak eta orduak aukeratu [34].**

Geographical area

Whole available region  
 With this option selected the entire available area will be provided

Sub-region extraction

North

West

East

South

**Irudia 2-12. Koordinatuak zehaztu [34].**

Azkenik, 2-13 irudian datu artxiboa deskargatuko den formatua aukeratzeko da. Proiektu honetarako *NetCDF* formatuan deskargatzea erabaki da. Formatu horiek ".nc" fitxategiak dira eta R programan lan egiterako orduan erraztasuna eskaintzen du. Aukera guzti horien deskarga abiatzeko *Submit From* sakatu behar da. Deskarga eskaera guztiak ikusi ahal izateko eta hauen egoera zein den kontsultatzeko, *Your requests* atalera jo behar da.

Format

GRIB  NetCDF (experimental) Clear all

---

Terms of use

Licence to use Copernicus Products [View terms](#)

Show API request Show Toolbox request Submit Form

**Irudia 2-13. Paketea deskargatuko den formatua aukeratu [34].**

## 2.2.2 DATUEN TRATAMENDUA R BIDEZ

Atal honetan R programaren bidez *NetCDF* fitxategiekin nola lan egin den azalduko da. *NetCDF* fitxategien erabilera ohikoa da proiektu mota hauetan eta hauen erabilera oso zabaldua dago meteorologiako arlo askotan. *NetCDF* fitxategiek, normalean, datu eta informazio ugari izaten dute, eta lehenengo pausua behar den informazioa aukeratzea izaten da. Kasu honetan, zuzenean soilik behar den informazioa deskargatu denez, R-rekin artxiboak ireki eta datuen tratamendua zuzenean egin daiteke. Aurretik *NetCDF* fitxategiak irakurri ahal izateko *RNetCDF library*-a kargatu eta artxiboaren izena zehaztu da (Irudia 2-14).

```
library("RNetCDF")
inputfiles<-list.files("ERA5_2020_2022_wind",full.names = T)
```

**Irudia 2-14. R kodea: behar den libreria kargatu eta artxiboaren izenak zehaztu.**

Ondorengo kode-lerroetan *NetCDF* artxiboetan dauden datuak kargatu eta matrizean antolatuko dira, matrize bakoitzak longitudea, latitudea eta dagokion 30 estazioen datuak izango dituelarik. Prozesu hori begizta batzuen bitartez burutu da. Denbora bektorea berdina denez kasu guztietarako, soilik behin kalkulatu da. Amaierako matrizeak *NULL* bezala definitu behar dira begizta prozesuaren aurretik R programak identifika ditzan (Irudia 2-15).

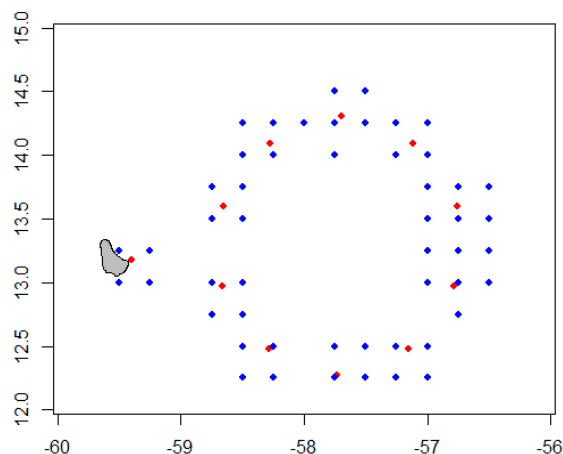
```
u10_total<-NULL; v10_total<-NULL; u100_total<-NULL; v100_total<-NULL
for (i in 1:length(inputfiles)) {
  ERA5<-open.nc(inputfiles[i])
  if (i==1){
    time1_ERA5<-var.get.nc(ERA5,"time")
    time_units<-att.get.nc(ERA5,"time","units")
    time_ERA5<-utcal.nc(time_units,time1_ERA5,type="n")
  }
  lon_all<-var.get.nc(ERA5,"longitude")
  lat_all<-var.get.nc(ERA5,"latitude")
  u10_all<-var.get.nc(ERA5,"u10",unpack=T)
  v10_all<-var.get.nc(ERA5,"v10",unpack = T)
  u100_all<-var.get.nc(ERA5,"u100",unpack=T)
  v100_all<-var.get.nc(ERA5,"v100",unpack = T)
  for (i_lon in 1:length(lon_all)) {
    for (i_lat in 1:length(lat_all)) {
      u10_lonlat<-c(lon_all[i_lon],lat_all[i_lat],u10_all[i_lon,i_lat,])
      v10_lonlat<-c(lon_all[i_lon],lat_all[i_lat],v10_all[i_lon,i_lat,])
      u100_lonlat<-c(lon_all[i_lon],lat_all[i_lat],u100_all[i_lon,i_lat,])
      v100_lonlat<-c(lon_all[i_lon],lat_all[i_lat],v100_all[i_lon,i_lat,])
      u10_total<-rbind(u10_total,u10_lonlat)
      v10_total<-rbind(v10_total,v10_lonlat)
      u100_total<-rbind(u100_total,u100_lonlat)
      v100_total<-rbind(v100_total,v100_lonlat)
    }
  }
}
```

**Irudia 2-15. R kodea: NetCDF datuak kudeatu eta kargatu.**

ERA5 modeloaren *grid*-ak 0,25°-ko zehaztasuna dauka, eta 30 estazioetako koordinatu gehienek, ez dute ERA5 modeloaren *gridpoint* batekin zehatz-mehatz kointziditzen. Beraz, analisiaren errorea ahal den txikiena izateko, aukeratu diren ERA5 modeloaren 30 *gridpoint*-ak, ECMWF-ren estazioetatik ahalik eta antzekoenak mantentzen hautatu dira. Horretarako, gehien gerturatu den *gridpoint*-a aukeratu da, betiere baldintza berdina betetzen dituela bermatuz; hau da, ECMWF-ek zehaztu duen estazio-puntua itsasertzean



badago, eta ERA5-en puntu gertuena itsasoan kokatzen bada, lurrean dagoen puntu gertuena hartuko da. Estazio-puntu guztiakin analisi hori egin den arren, ez da horrelako kasurik suertatu, eta ERA5 modeloaren puntu gertuena, ECMWF-ek jarritako estazioen baldintza berdinetan dago 30 kasuetan.



**Irudia 2-16. 1-11 estazioak. Urdinez ERA5 eta gorritz IFS modeloa.**

Koordenatu guztiak zehaztuta daudenean, haizearen u eta v osagaiak matrizean antolatu dira. Matrize horiek soilik behar diren longitude eta latitudeei dagozkien datuak izango dituzte, hemendik aurrera egingo diren kalkuluetan behar diren datuak bakarrik aukeratu dira. 10 eta 100 metrotako datuak daudenez, lau izango dira matrizeak: u10, v10, u100 eta v100 (Irudia 2-17 irudia).

```

u10<-NULL
v10<-NULL
u100<-NULL
v100<-NULL

for (i in 1:30) {

  u10_station<-u10_total[which(u10_total[,1]==lon[i] & u10_total[,2]==lat[i]),]
  v10_station<-v10_total[which(v10_total[,1]==lon[i] & v10_total[,2]==lat[i]),]
  u100_station<-u100_total[which(u100_total[,1]==lon[i] & u100_total[,2]==lat[i]),]
  v100_station<-v100_total[which(v100_total[,1]==lon[i] & v100_total[,2]==lat[i]),]

  u10<-rbind(u10,u10_station)
  v10<-rbind(v10,v10_station)
  u100<-rbind(u100,u100_station)
  v100<-rbind(v100,v100_station)
}

```

**Irudia 2-17. R kodea:haizearen u eta v osagaien matrizeak sortu 10 eta 100 m-tan.**

## 2.3 NEXTGEMS DATUAK

ECMWF-K *NextGEMS* modelo berria garatzerakoan lortu dituen datuak, ikerketa honen eskura jarri ditu. Datu horiek berri-berriak dira, eta Europako Meteorologia Zentroaz gain, oso erabiltzaile gutxik daukaten informazioa da. Datuak *zarr* formatuan daude, informazioa modu optimizatuago batean gordetzeko. *NextGEMS* modeloak hiru erresoluzio desberdinetako simulazioen datuak ditu.

Erresoluzio baxuena 9 km-koa da, eta datuak 7 minutu eta 30 segundoero erregistratu dira. Erresoluzio horren denbora tarte ia-ia bi urtekoa da, 2020 urteko hasieratik 2021eko abenduaren 31raino heltzen da. Erresoluzio baxuko simulazioa edo 9 km-ko simulazioa bezala egingo zaio erreferentzia ikerketa proiektu honetan.



*NextGEMS* erresoluzio ertaineko simulazioa 4,5 km-koa da, eta datuak 3 minutuero erregistratu dira. Erresoluzio baxuko simulazioarekin alderatuz, ordu batean, datu bikoitza baino gehiago neurtzeko gaitasuna dauka, zortzi balio beharrean hogei. Kasu honetan, ia-ia urte beteko denbora tarteko datuak lortu dira, 2020 urteko hasieratik 2020ko abenduaren 31 arte daude datuak. Erresoluzio ertaineko simulazioa edo 4,5 km-ko simulazioa bezala egingo zaio erreferentzia ikerketa proiektu honetan.

Azkenik, erresoluzio altuena 2,9 km-ko simulazioa da, eta 4,5 km-ko simulazioaren antzera, 2 minutuero gorde dira datuak. Horrela, ordu batean, 9 km-ko simulazioak neurtzen dituen datuen hirukoitza baino gehiago erregistratzeko gaitasuna dauka. Azterketa denbora periodoari dagokionez urte erdi luzeko datuak daude eskuragarri, 2020 urteko hasieratik 2020ko abuztuaren 31 arte. Erresoluzio altuko simulazioa edo 2,9 km-ko simulazioa bezala egingo zaio erreferentzia ikerketa proiektu honetan.

### 2.3.1 ZARR ARTXIBOEN TRATAMENDUA

Esan bezala, *NextGEMS* proiektuan garatu den modeloaren simulazioak *zarr* formatuko artxiboetan daude. Oraindik R programarekin formatu horretan lan egiteko pakete berezirik ez dagoenez, R programarekin Python programaren pakete eta kodeak erabili dira. Horretarako R-n hiru pausu burutu dira. Lehenengoan (Irudia 2-18) *reticulate* paketea erabili da, pakete honek R eta Python-en arteko konexioa baimentzen du. Bigarrena (Irudia 2-19) Python-eko kodea idatzi da. Lehenik, *.zarr* artxiboak irakurtzeko behar diren paketeak kargatu dira, *xarray* eta *numpy*. Bigarrenik, *.zarr* artxiboak ireki eta erabiliko diren datuak aukeratu dira: data balioak, u eta v haizearen osagaiak 10 metroan eta lurrazalaren zimurdura (zo) hain zuzen. Azkenengo pausuan (Irudia 2-20), R-n datu horiek matrize batean sartu eta *.RData*, R programak daukan datu formatu berezia, fitxategietan gorde dira.

```

{r setup, include=FALSE, echo=TRUE}
library(reticulate)
use_condaenv("./Anaconda3/envs/Conda")
...

```

**Irudia 2-18. R kdoa: R eta Python arteko konexioa.**

```

{python}
import xarray as xr
import numpy as np

ds=xr.open_zarr('E:\\togo_9km\\9km_deep')

datos=ds.sel(station=1)
u10=datos['10u']
v10=datos['10v']
zo=datos['zo']

u10_time=u10.time.values
u10_values=u10.values
v10_values=v10.values
zo_values=zo.values
}

```

**Irudia 2-19. R kodea: .zarr artxikoak irakurri eta kudeatu.**

```

{r python from r}
data<-cbind(as.character(py$u10_time),
            py$u10_values,
            py$v10_values,
            py$zo_values,)
colnames(data)<-c("Date", "u10", "v10", "zo")

save(data, file=paste("Estazio", py$Estacion, ".RData", sep=""))
...

```

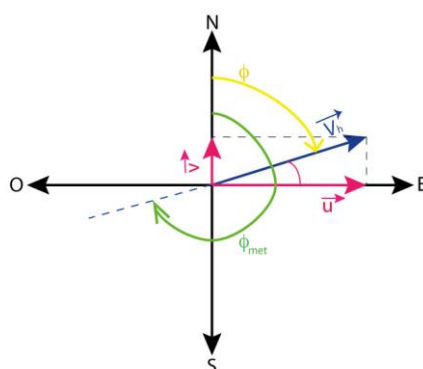
**Irudia 2-20. R kodea: behar diren datuak gorde.**

## 2.4 WPD10 ETA WPD100 ERA5 DATUEKIN

Haizearen potentzia dentsitatea, WPD, azaleraren mendeko potentzia balio bat da (Memoria, 1.8). ERA5 biranalisiak haizearen abiadura osagaiak 10 zein 100 metroan ditugunez, altuera horietako WPDa kalkulatu ahal izango da, energia eolikoaren ikuspuntutik oso baliagarriak diren parametroak.

Haizearen potentzia dentsitatea kalkulatzeko hasi aurretik, haizearen abiaduraren,  $U$ , balioa lortu behar dugu. Haizearen abiadura  $u$  eta  $v$  osagaietan dago, eta WPDaren kalkuluetarako,  $U$  balioa behar da, 2-22 irudian  $V_h$  bezala adierazten den bektore urdina. Beraz, lehenik eta behin bi bektore hauetatik  $U_h$  lortuko da, ondorengo 3. Ekuazioan  $U_h$  bezala adierazten dena [36]:

$$U_h = \sqrt{u_h^2 + v_h^2} \quad (3)$$



Irudia 2-21. Haizearen bektoreen adierazpena [37].

Behin  $U$  balioa lortuta, ondorengo 4. ekuazioa aplikatuz, WPDa kalkulatu daiteke zuzenean. [27][31][32]. Airearen dentsitatea,  $\rho$ , ere beharrezkoa da. Kasu honetan, kalkulatu guztietarako aire dentsitate berdina planteatu da, baldintza normaletan aire masa batek edukitzen duen dentsitatea hain zuzen,  $1,225 \text{ kg/m}^3$  [38].

$$WPD_h = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U_h^3 \quad (4)$$

### 2.4.1 Kalkuluak R bidez

ERA5 modeloaren kasuan, aurretik sortu diren matrizeak erabili dira kalkuluak egin eta kokaleku bakoitzerako WPD-aren datuak lortzeko. Kalkuluetan lehenengoa, haizearen  $u$  eta  $v$  osagaietatik abiatuta, haizearen abiaduraren balioa lortzea da, ondoren balio hori WPD-aren formularen (4. ekuazioa) sartu eta zuzenean WPDa lortzeko. WPDaren balioak matrize batean antolatu behar dira ondoren grafikoak irudikatu ahal izateko. Amaierako matrize horrek 30 estazioetako orduero dauden WPDaren balio guztiak ditu (Irudia 2-22). Denbora periodoarekin elkartzeko, `cbind()` komandoa erabili da (Irudia 2-23). Komando honek matrize bateri zutabeak gehitzea baimentzen du.

```

WPD10_30stations_ERA5<-NULL
WPD100_30stations_ERA5<-NULL

for (i in 1:30) {

  U10_ERA5<-sqrt(u10[i,]^2+v10[i,]^2)
  U100_ERA5<-sqrt(u100[i,]^2+v100[i,]^2)

  wpd10_point_ERA5<-0.5*1.225*U10_ERA5[3:length(U10_ERA5)]^3
  wpd100_point_ERA5<-0.5*1.225*U100_ERA5[3:length(U100_ERA5)]^3

  WPD10_30stations_ERA5<-cbind(WPD10_30stations_ERA5,wpd10_point_ERA5)
  WPD100_30stations_ERA5<-cbind(WPD100_30stations_ERA5,wpd100_point_ERA5)

}

```

**Irudia 2-22. ERA5 modeloaren WPD kalkuluak.**

```

WPD10_ERA5<-cbind(time_ERA5[,1:4],WPD10_30stations_ERA5)
WPD100_ERA5<-cbind(time_ERA5[,1:4],WPD100_30stations_ERA5)

```

**Irudia 2-23. ERA5en WPD balioak denbora periodoarekin elkartu.**

ERA5 modeloaren datuen denbora periodoa 2020. urtetik 2022. urtera da, beraz, ECMWF-ren datuen denbora periodoarekin bat egiteko, denbora mugak zehaztu eta 2-24 irudiko matrizeari aplikatu zaizkio. ECMWF-ren simulazioen denbora periodo luzeena 9 km-ko erresoluzioak duenez, oinarri bezala erabili da, eta hortaz, WPD10 eta WPD100 izenekin gorde dira denbora periodo honekin sortu diren matrize berriak (Irudia 2-24). Bi matrize hauetako zutabeak izendatu dira azkenik, ondorengo izenak jarritz: *Year*, *Month*, *Day*, *Hour* eta 1etik 30erainoko zenbakiak estazio bakoitza identifikatu ahal izateko (Irudia 2-25).

```

hasi<-which(time_ERA5[,1]==2020 & time_ERA5[,2]==1 & time_ERA5[,3]==20 & time_ERA5[,4]==1)
amaitu_9km<-which(time_ERA5[,1]==2021 & time_ERA5[,2]==12 & time_ERA5[,3]==31 & time_ERA5[,4]==23)
amaitu_4.5km<-which(time_ERA5[,1]==2020 & time_ERA5[,2]==12 & time_ERA5[,3]==31 & time_ERA5[,4]==23)
amaitu_2.9km<-which(time_ERA5[,1]==2020 & time_ERA5[,2]==8 & time_ERA5[,3]==31 & time_ERA5[,4]==23)

WPD10_ERA5_9km<-WPD10_ERA5[hasi:amaitu_9km,]
WPD100_ERA5_9km<-WPD100_ERA5[hasi:amaitu_9km,]

WPD10_ERA5_4.5km<-WPD10_ERA5[hasi:amaitu_4.5km,]
WPD100_ERA5_4.5km<-WPD100_ERA5[hasi:amaitu_4.5km,]

WPD10_ERA5_2.9km<-WPD10_ERA5[hasi:amaitu_2.9km,]
WPD100_ERA5_2.9km<-WPD100_ERA5[hasi:amaitu_2.9km,]

WPD10_ERA5<-WPD10_ERA5_9km
WPD100_ERA5<-WPD100_ERA5_9km

```

**Irudia 2-24. Denbora mugak zehaztu.**

```

colnames(WPD10_ERA5)<-c("Year", "Month", "Day", "Hour",
  "1", "2", "3", "4", "5", "6", "7", "8", "9", "10",
  "11", "12", "13", "14", "15", "16", "17", "18", "19", "20",
  "21", "22", "23", "24", "25", "26", "27", "28", "29", "30")

colnames(WPD100_ERA5)<-c("Year", "Month", "Day", "Hour",
  "1", "2", "3", "4", "5", "6", "7", "8", "9", "10",
  "11", "12", "13", "14", "15", "16", "17", "18", "19", "20",
  "21", "22", "23", "24", "25", "26", "27", "28", "29", "30")

```

**Irudia 2-25. Zutabeak izendatu.**

## 2.5 WPD10 ETA WPD100 NEXTGEMS DATUEKIN

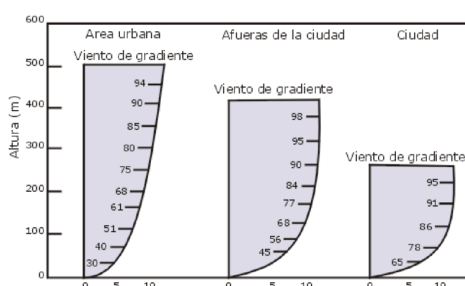
WPD 10 m-tan lortzeko jarraituriko prozedura aurreko atalean (Memoria, 2.4) azaldu den berdina da, izan ere, haizearen u eta v osagaiak ezagunak dira altuera horretarako, eta 3. ekuazioa, zuzenean aplikatu daiteke.

WPD 100 m-tan *NextGEMS*-ren datuekin lortzeko  $z_0$  aldagaia erabili da. Lurrazalaren zimurtasuna,  $z_0$ , energia eolikorako oso garrantzitsua den beste balioetako bat da. Gainazal batek daukan zimurtasuna bertan dauden elementuen arabera da; adibidez, eraikinek edo zuhaitzek gainazal oso zimurtsuak sortzen dituzte, itsasoak edo lakuak aldiz, zimurtasun oso baxuko zonak dira. Zimurtasunaren balioa zehazteko, sarritan, 2-2 taulan dauden balioak hartzen dira kontutan. Proiektu honetan, ECMWF-ek egindako simulazioetan  $z_0$  aldagaiaren balioak erregistratu direnez hauek erabili dira.

$z_0$ [m]	Características del terreno (uso del suelo)	Clasificación de la rugosidad
1,00	Ciudad	4 (1 m)
0,80	Bosques bajos	
0,50	Zona suburbana	
0,40	Línea de árboles de protección	3 (40 cm)
0,20	Grupo de árboles o arbustos	
0,10	Granjas cercanas	2 (10 cm)
0,05	Granjas lejanas	
0,03	Granjas con pocos árboles	1 (3 cm)
0,02	Aeropuertos con algunos edificios	
0,01	Pistas de aeropuertos	
0,008	Césped	
0,005	Suelo desnudo	
0,001	Nieve	
0,0003	Arena	
0,0002	Agua (utilizado en el Atlas)	0 (0,2 mm)
0,0001	Agua (lagos, mar abierto)	

**Taula 2-2. Zimurtasunaren balioa zehazteko taula [39].**

Haizearen abiadura altuerarekin aldatzen da, eta zimurdurak, gradiente honetan eragiten du (Irudia 2-26). Ereku zimurtu batek turbulentsiak sortzen dituenez, eremua gero eta zimurtsuagoa izan, orduan eta altuago igo behar da haize lineala aurkitzeko. Energia eolikoaren ikuspuntutik, aerosorgailu bati haize lineala xurgatzea komeni zaio, izan ere, turbulentsiek bibrazioak sortzen dituzte, eraginkortasuna okertzen dute, etab. Ondorioz, sorgailuen bizi itxaropena murrizten da. Hortaz, gero eta eremu zimurtsuagoa izan, orduan eta aerosorgailu altuagoak eraiki behar dira [40][41].



**Irudia 2-26. Haizearen bariazioa altueraren arabera [39].**

Baina kasu honetan *NextGEMS*-ek simulatu dituen  $z_0$  balioak erabiliko dira. Horregatik, 30 kokaleku desberdinetako zimurtasunaren balioak aztertu dira eta, balio oso desberdinekin lan egin behar izan dela ikusten da. Hainbat puntu itsasoan edo izotza dagoen tokietan kokatzen dira, beste puntu batzuk, aldiz, eremu oso menditsu edo basoetan. Kasu honetan,  $z_0$  aldagaia erabili da, WPD10-etik abiatuta WPD100 lortzeko. Horretarako 5. ekuazioa erabili da.

$$\frac{U_{100}}{U_{10}} = \frac{\log\left(\frac{100}{z_0}\right)}{\log\left(\frac{10}{z_0}\right)} \rightarrow U_{100} = \frac{\log\left(\frac{100}{z_0}\right)}{\log\left(\frac{10}{z_0}\right)} \cdot U_{10} \quad (5)$$

### 2.5.1 Kalkuluak R bidez

ECMWF-ren datuen tratamendu eta kalkuluak errazagoak izan dira, prozesu guztiak begizta baten barruan bateratuak egin direlako (Irudia 2-27).

```
setwd("C:/Users/kuzko/Documents/Unibertsitatea (Eibar)/4. Urtea/2. Lauhilekoa/GRAL/Script-ak/DATA_9km/")

files_9<-list.files()
WPD10_30stations_9km<-NULL
WPD100_30stations_9km<-NULL
WPD200_30stations_9km<-NULL

for (i in 1:length(files_9)) {

  load(files_9[i])

  data<-as.data.frame(data)
  data[,1]<-as.POSIXct(data[,1],format=c("%Y-%m-%d %H:%M:%OS"))
  data[,2]<-as.numeric(data[,2])
  data[,3]<-as.numeric(data[,3])
  data[,5]<-as.numeric(data[,5])

  if (i==1){
    Y<-format(data[,1],format="%Y")
    m<-format(data[,1],format="%m")
    d<-format(data[,1],format="%d")
    hour<-format(data[,1],format="%H:%M:%OS")
    date<-cbind(Y,m,d,hour)
    colnames(date)<-c("Year", "Month", "Day", "Hour")
  }

  U10_9km<-sqrt(data[,2]^2+data[,3]^2)
  WPD10_point_9km<- 0.5*1.225*U10_9km^3
  WPD10_30stations_9km<-cbind(WPD10_30stations_9km,WPD10_point_9km)
```

**Irudia 2-27. ECMWF-ren WPDa lortzeko kalkuluak.**

Kalkuluetarako erabili den amaierako matrizea lortzeko, *cbind()* komandoaren bitartez denbora periodoa gehitu, eta azkenik, zutabeak izendatu dira (Irudia 2-28).

```
WPD10_9km<-cbind(date,WPD10_30stations_9km)
colnames(WPD10_9km)<-c("Year", "Month", "Day", "Hour",
  "1", "2", "3", "4", "5", "6", "7", "8", "9", "10",
  "11", "12", "13", "14", "15", "16", "17", "18", "19", "20",
  "21", "22", "23", "24", "25", "26", "27", "28", "29", "30")
```

**Irudia 2-28. ECMWF modeloaren amaierako matrizea osatu.**

Prozedura berdina jarraitu da 9 km-ko, 4,5 km-ko eta 2,9 km-ko erresoluzioa duten datuekin WPD10 lortzeko.

*NextGEMS* datuekin WPD-a 100 m-tan lortzeko jarraitu beharreko prozedura hau da: 2-29 irudiko programazio lerroak WPD10 kalkulatu den begizta berdinaren barruan sartu dira, horrela, 30 puntuen datuak pausu bakarrean lortu dira. Azkenik, kalkulu zein grafikoak egiteko erabiliko den matrizea sortzeko aurreko ataletan egin diren pausu berdinak jarraitu dira (Irudia 2-30).

```

z0<-data[,5]

U100_9km<-U10_9km*(log(x=100/z0,base=10)/log(x=10/z0,base=10))
WPD100_point_9km<-0.5*1.225*U100_9km^3
WPD100_30stations_9km<-cbind(WPD100_30stations_9km,WPD100_point_9km)

U200_9km<-U10_9km*(log(x=200/z0,base=10)/log(x=10/z0,base=10))
WPD200_point_9km<-0.5*1.225*U200_9km^3
WPD200_30stations_9km<-cbind(WPD200_30stations_9km,WPD200_point_9km)

```

**Irudia 2-29. Zimurduraren bitartez WPD100 eta WPD200 kalkulatu.**

```

WPD100_9km<-cbind(date,WPD100_30stations_9km)
WPD200_9km<-cbind(date,WPD200_30stations_9km)

colnames(WPD100_9km)<-c("Year", "Month", "Day", "Hour",
"1", "2", "3", "4", "5", "6", "7", "8", "9", "10",
"11", "12", "13", "14", "15", "16", "17", "18", "19", "20",
"21", "22", "23", "24", "25", "26", "27", "28", "29", "30")

colnames(WPD200_9km)<-c("Year", "Month", "Day", "Hour",
"1", "2", "3", "4", "5", "6", "7", "8", "9", "10",
"11", "12", "13", "14", "15", "16", "17", "18", "19", "20",
"21", "22", "23", "24", "25", "26", "27", "28", "29", "30")

```

**Irudia 2-30. WPD100 eta WPD200 amaierako matrizeak osatzeko.**

Prozedura berdina jarraitu da 9 km-ko, 4,5 km-ko eta 2,9 km-ko simulazioaren kalkuluak egiteko.

## 2.6. GRAFIKOAK R BIDEZ

*NextGEMS* modeloaren simulazioak ERA5-ekin aldaratzeko hodei puntuak eta kutxa diagrama grafikoak sortu dira.

### 2.6.1 Hodei-puntuak

Lehenengo grafikoen multzoan *NextGEMS*-ren hiru simulazioak ERA5 modeloarekin batera adierazi dira. *NextGEMS* modeloaren erresoluzioek denbora periodo desberdina daukate, bi urte erresoluzio baxuenak (2020/01/20 – 2021/12/31), urte bat erresoluzio ertainak (2020/01/20 – 2020/12/31) eta zortzi hilabete erresoluzio altuenak (2020/01/20 – 2020/08/31). Gainera, ERA5 modeloarekin aldaratzeko, soilik *NextGEMS*-ren orduko datuak hartuko dira, horiek direlako bi modeloetan bat egiten duten datuak. Orduetik azpiko erresoluzioen inguruan aurrerago hitz egingo da (Memoria, 3.2.3 eta 3.3.3). Grafikoak osatzeko matrizea *merge()* komandua erabiliz osatu da, horrek ondo funtziona dezan, simulazio guztien datak formatu berdinarekin jarriko dira (Irudia 2-31 irudia). Behin formatu berdina edukita, aurretik simulazio bakoitzeko osaturiko matrizeak, bakarrean elkartu dira; fusio hori dataren arabera izan dadin, *by="date"* atributoa erabili da. Atributo horrek aurreko lau datak hartu eta ordu desberdin guztiak zerrendatuko ditu, ondoren, simulazio bakoitzaren datuak dagokien orduarekin elkartzeko, eta daturik ez dagoen orduetan, NA balioa gehitzen dio (Irudia 2-32). 2-33 irudian sortzen den matrizearen adibidea ikus daiteke.

```

WPD10_ERA5_data<-data.frame(as.POSIXlt(paste(WPD10_ERA5[, "Year"], "-", WPD10_ERA5[, "Month"], "-",
      WPD10_ERA5[, "Day"], " ", WPD10_ERA5[, "Hour"], ":00:00", sep=""),
      tz = "", format= c("%Y-%m-%d %H:%M:%S")))

WPD10_9km_data<-data.frame(as.POSIXlt(paste(WPD10_9km[, "Year"], "-", WPD10_9km[, "Month"], "-",
      WPD10_9km[, "Day"], " ", WPD10_9km[, "Hour"], sep=""),
      tz = "", format= c("%Y-%m-%d %H:%M:%S")))

WPD10_4.5km_data<-data.frame(as.POSIXlt(paste(WPD10_4.5km[, "Year"], "-", WPD10_4.5km[, "Month"], "-",
      WPD10_4.5km[, "Day"], " ", WPD10_4.5km[, "Hour"], sep=""),
      tz = "", format= c("%Y-%m-%d %H:%M:%S")))

WPD10_2.9km_data<-data.frame(as.POSIXlt(paste(WPD10_2.9km[, "Year"], "-", WPD10_2.9km[, "Month"], "-",
      WPD10_2.9km[, "Day"], " ", WPD10_2.9km[, "Hour"], sep=""),
      tz = "", format= c("%Y-%m-%d %H:%M:%S")))

WPD10_ERA5_data<-cbind(WPD10_ERA5_data, WPD10_ERA5[, -c(1:4)])
colnames(WPD10_ERA5_data)[1]<-"date"

WPD10_9km_data<-cbind(WPD10_9km_data, WPD10_9km[, -c(1:4)])
colnames(WPD10_9km_data)[1]<-"date"

WPD10_4.5km_data<-cbind(WPD10_4.5km_data, WPD10_4.5km[, -c(1:4)])
colnames(WPD10_4.5km_data)[1]<-"date"

WPD10_2.9km_data<-cbind(WPD10_2.9km_data, WPD10_2.9km[, -c(1:4)])
colnames(WPD10_2.9km_data)[1]<-"date"

```

### ***Irudia 2-31. Data guztiak formatu berdinean jartzeko.***

```

WPD10<-merge(WPD10_ERA5_data, merge(WPD10_9km_data,
      merge(WPD10_4.5km_data, WPD10_2.9km_data, by="date", all=TRUE),
      by="date", all=TRUE), by="date", all=TRUE)

```

### ***Irudia 2-32. Merge komandua aplikatu matrize bakarra sortzeko.***

```

2020-01-20 00:57:00      NA              NA              <NA> 344.043466340389
2020-01-20 00:58:00      NA              NA              <NA>              <NA>
2020-01-20 01:00:00 395.4253          302.4541 340.794383946615 343.383055738317
-----

```

### ***Irudia 2-33. Sortu den matrizearen adibidea.***

Prozedura berdina jarraitu da WPD100 datuen matrize bateratua osatzeko. Azken matrize horretan oinarrituta, lehenengo puntu-hodei grafiko multzoa osatu da. Grafiko horiek sortzeko `plot()` funtzioa erabili da, eta `points()` funtzioaren bitartez, simulazio desberdinak aplikatu zaizkio. Azkenik, 30 kokalekuen grafikoak begizta baten bidez egin dira. Grafiko guztiak `JPG` formatuan automatikoki gordetzen dira (Irudia 2-34). Adibide bezala 2-35 irudiko grafikoa erakusten da, beste grafiko guztiak Eranskinak I atalean ikus daitezke.



```

outputpath<- "C:/Users/kuzko/Documents/Unibertsitatea (Eibar)/4. Urtea/2. Lauhilekoa/GRAL/Plot-ak/"
gordetzeko1<-c("WPD10_1.png","WPD10_2.png","WPD10_3.png","WPD10_4.png","WPD10_5.png","WPD10_6.png","WPD10_7.png","WPD10_8.png","WPD10_9.png","WPD10_10.png","WPD10_11.png","WPD10_12.png","WPD10_13.png","WPD10_14.png","WPD10_15.png","WPD10_16.png","WPD10_17.png","WPD10_18.png","WPD10_19.png","WPD10_20.png","WPD10_21.png","WPD10_22.png","WPD10_23.png","WPD10_24.png","WPD10_25.png","WPD10_26.png","WPD10_27.png","WPD10_28.png","WPD10_29.png")
izenburua1<-c("1. ESTAZIOA - WPD10 -","2. ESTAZIOA - WPD10 -","3. ESTAZIOA - WPD10 -","4. ESTAZIOA - WPD10 -","5. ESTAZIOA - WPD10 -","6. ESTAZIOA - WPD10 -","7. ESTAZIOA - WPD10 -","8. ESTAZIOA - WPD10 -","9. ESTAZIOA - WPD10 -","10. ESTAZIOA - WPD10 -","11. ESTAZIOA - WPD10 -","12. ESTAZIOA - WPD10 -","13. ESTAZIOA - WPD10 -","14. ESTAZIOA - WPD10 -","15. ESTAZIOA - WPD10 -","16. ESTAZIOA - WPD10 -","17. ESTAZIOA - WPD10 -","18. ESTAZIOA - WPD10 -","19. ESTAZIOA - WPD10 -","20. ESTAZIOA - WPD10 -","21. ESTAZIOA - WPD10 -","22. ESTAZIOA - WPD10 -","23. ESTAZIOA - WPD10 -","24. ESTAZIOA - WPD10 -","25. ESTAZIOA - WPD10 -","26. ESTAZIOA - WPD10 -","27. ESTAZIOA - WPD10 -","28. ESTAZIOA - WPD10 -","29. ESTAZIOA - WPD10 -")

for (i in 2:31) {
  graphics.off()

  plot(WPD10[,1],WPD10[,i], ylab = "WPD [W/m2]", xlab= "2020 - 2022", ylim=c(0, ymax_9km[(i-1)]),
       pch="|", cex=1.2, col="cadetblue4", main = izenburua1[(i-1)])

  points(WPD10[,1],WPD10[,i+30], col="springgreen", pch=".", cex=1.3)
  points(WPD10[,1],WPD10[,i+60], col="violetred3", pch=".", cex=1)
  points(WPD10[,1],WPD10[,i+90], col="slateblue3", pch=".", cex=0.9)

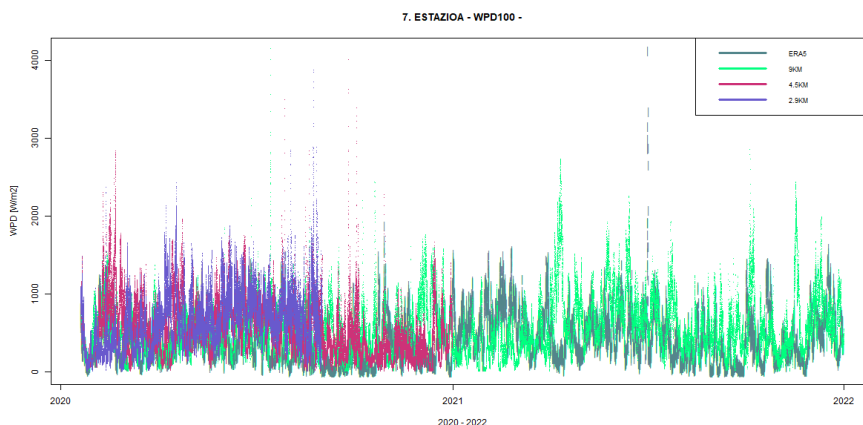
  legend("topright", legend=c("ERAS", "9KM", "4.5KM", "2.9KM"),
        lwd=3, lty=1, cex=0.9, col = c("cadetblue4", "springgreen", "violetred3", "slateblue3"))

  plotfile<- paste(outputpath,gordetzeko1[(i-1)], seq="")
  dev.copy(png, plotfile, width = 1200, height = 600)

  graphics.off()
}
dev.off()

```

Irudia 2-34. Grafikoak osatzeko.



Irudia 2-35. Hodei-puntuak adibidea.

## 2.6.2 Kutxa diagramak

Bigarren grafiko multzoan, modeloen arteko alderaketa sakonagoak egiteko, hilabeteka edo urtaroka (negua: abendua-urtarrila-otsaila, udaberria: martxoa-apirila-maiatza, uda: ekaina-uztaila-abuztua, udazkena: iraila-urria-azaroa) banatzen diren kutxa diagramak egin dira, eta kasu honetan ere, aurreko atalean lortutako matrizea oinarri izanda (Memoria, 2.2.1) modifikazio batzuk egin dira. Kasu horietan, ez da NA baliorik eduki nahi, beraz, denbora periodoari dagokionez, simulazio guztietan errepikatzen diren orduak hartu dira, soilik ordu bakoitzeko puntuetako balioak dira horiek.

Azkenik, begizta bat erabili da kutxa diagramak egiteko. 2,9 km-ko modeloak urte osoko datuak ez dituenek, bederatzigarren hilabetetik aurrera kontuan ez hartzeko, bi baldintza erabili dira. Grafiko horiek JPG bezala gorde dira aurretik erabilitako metodo berdinez. Adibide bezala 2-37 irudiko grafikoak erakusten da, beste grafiko guztiak Eranskinak I atalean ikus daitezke.



```

for (i in 1:12) {

  era1<-cbind(rep(era[i], length(which(WPD10_ERA5[,2]==i))), WPD10_ERA5[which(WPD10_ERA5[,2]==i),])
  low<- cbind(rep(new[i], length(which(WPD10_9km[,2]==1))), WPD10_9km[which(WPD10_9km[,2]==1),])
  colnames(era1)[1]<-c("nº")
  colnames(low)[1]<-c("nº")

  era2<- cbind(rep(era[i], length(which(WPD10_ERA5_4.5km[,2]==i))), WPD10_ERA5_4.5km[which(WPD10_ERA5_4.5km[,2]==i),])
  medium<-cbind(rep(new[i], length(which(WPD10_4.5km[,2]==1))), WPD10_4.5km[which(WPD10_4.5km[,2]==1),])
  colnames(era2)[1]<-c("nº")
  colnames(medium)[1]<-c("nº")

  if (i<=8){

    era3<-cbind(rep(era[i], length(which(WPD10_ERA5_4.5km[,2]==i))), WPD10_ERA5_4.5km[which(WPD10_ERA5_4.5km[,2]==i),])
    high<-cbind(rep(new[i], length(which(WPD10_2.9km[,2]==1))), WPD10_2.9km[which(WPD10_2.9km[,2]==1),])
    colnames(era3)[1]<-c("nº")
    colnames(high)[1]<-c("nº")

    boxplotak9<-rbind(boxplotak9, era1, low)
    boxplotak4<-rbind(boxplotak4, era2, medium)
    boxplotak2<-rbind(boxplotak2, era3, high)
  }

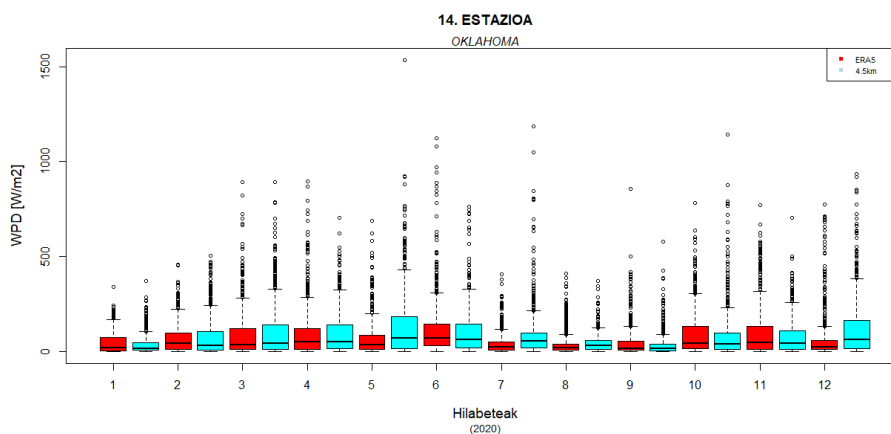
  if (i>8){

    boxplotak9<-rbind(boxplotak9, era1, low)
    boxplotak4<-rbind(boxplotak4, era2, medium)
  }

}

```

**Irudia 2-36. Bigarren grafiko multzoa osatzen.**



**Irudia 2-37. Kutxa-diagrama adibidea, Oklahoma estazioa.**

Azken grafiko multzoa osatzeko, hilabeteak urtaroka elkartu behar izan dira. Pausu hori hainbat baldintza erabiltuta egin da (Irudia 2-38). Behin urtarokak definituta daudela, aurreko pausu berdina jarraitu dira kutxa diagramak osatu eta grafikoak JPG moduan gordetzeko. Prozedura berdina jarraitu da ECMWF-ren beste bi simulazioetan. Honen adibide 2-39 irudia. Urtaroka sortu diren beste kutxa diagrama guztiak Eranskinak I atalean agertzen dira.

```

for (i in 1:12) {
  hila_era<-wPD10_ERAS[which(wPD10_ERAS[,2]==i),]
  hila9<-wPD10_9km[which(wPD10_9km[,2]==i),]

  if (i<=2){
    DEF1<-rbind(DEF1,hila_era)
    DEF2<-rbind(DEF2,hila9)
  }

  if (i>2 & i<=5){
    MAM1<-rbind(MAM1,hila_era)
    MAM2<-rbind(MAM2,hila9)
  }

  if (i>5 & i<=8){
    JJA1<-rbind(JJA1,hila_era)
    JJA2<-rbind(JJA2,hila9)
  }

  if (i>8 & i<=11){
    SON1<-rbind(SON1,hila_era)
    SON2<-rbind(SON2,hila9)
  }

  if (i==12){
    DEF1<-rbind(DEF1,hila_era)
    DEF2<-rbind(DEF2,hila9)

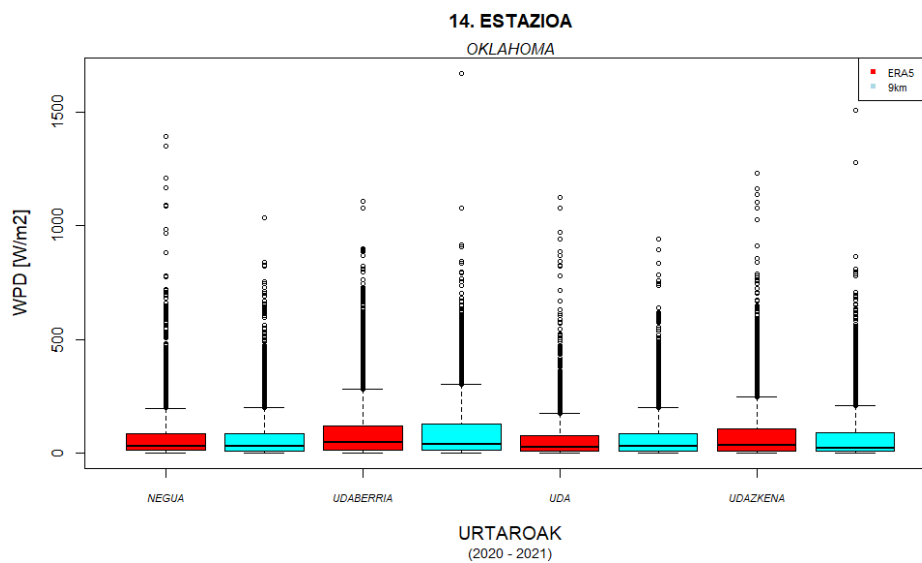
    DEF_era<-cbind(rep(1,length(DEF1[,2])),DEF1)
    DEF9<- cbind(rep(2,length(DEF2[,2])),DEF2)
    MAM_era<-cbind(rep(3,length(MAM1[,2])),MAM1)
    MAM9<- cbind(rep(4,length(MAM2[,2])),MAM2)
    JJA_era<-cbind(rep(5,length(JJA1[,2])),JJA1)
    JJA9<- cbind(rep(6,length(JJA2[,2])),JJA2)
    SON_era<-cbind(rep(7,length(SON1[,2])),SON1)
    SON9<- cbind(rep(8,length(SON2[,2])),SON2)

    colnames(DEF_era)[1]<-c("nº")
    colnames(DEF9)[1]<-c("nº")
    colnames(MAM_era)[1]<-c("nº")
    colnames(MAM9)[1]<-c("nº")
    colnames(JJA_era)[1]<-c("nº")
    colnames(JJA9)[1]<-c("nº")
    colnames(SON_era)[1]<-c("nº")
    colnames(SON9)[1]<-c("nº")

    urtaroka9<-rbind(DEF_era, DEF9, MAM_era, MAM9, J:
  }
}

```

Irudia 2-38. Hilabeteak urtaroka sailkatzeko prozedura.



Irudia 2-39. Oklahoma estazioa, adibidea.

### 3. EMAITZAK

Europako meteorologia zentroak, hiru erresoluzio desberdin erabilita, mundu osoan zehar banatuta dauden 30 puntuetako parametro meteorologikoak neurtu zituen, horien artean zimurtasuna eta haizearen  $u$  eta  $v$  osagaiak 10 metrotan. Simulazio guztiak 2020ko urtarrilaren 20an hasi egiten dira, hala ere, erresoluzio bakoitza denbora periodo desberdin bat dauka. Lehenengo periodoa 2021eko abenduaren 31an amaitzen da, bigarrena 2020ko abenduaren 31an eta hirugarrena 2020ko abuztuaren 31an. ERA5 modeloarekin aldaratzeko *gridpoint* gertuena hartu da (Memoria, 2.2.2). Eranskinak I atalean 30 estazioen grafikoak ikus daitezke.

Modeloen arteko alderaketa egiteko eta datuen analisi sakonagoak egiteko bi kokaleku aukeratu dira, zerrendako 10 eta 26 estazioak (Burgos eta Barbados), eta bi estazio hauetatik lortu diren emaitzen balorazioa egin ondoren, ondorio eta hipotesi desberdinak planteatu dira.

#### 3.1 BI ESTAZIOEN HAUTAKETA

30 estazioen grafikoak ikustean estazioen arteko azaleko desberdintasunak argi ikusten dira. Estazio batzuek oso haize potentzial baxua daukate, 19. estazioaren WPD10 balio maximoak adibidez ez ditu  $350 \text{ W/m}^2$ -ak gainditzen, beste batzuek, aldiz, potentzial altua dute, 28. estazioaren kasuan WPD10 balio maximoak  $5000 \text{ W/m}^2$ -ak gainditzen ditu.

Haize potentzial handiko tokiak aztertzea energia eolikoaren ikuspuntutik interesgarria den arren, grafikoak begiratzean (Eranskinak I), begi-bistakoa da WPD potentziala ez dela oso altua orokorrean. Denbora faltagatik ez dira kokaleku guztiak aztertu eta horregatik horietako bi aukeratu dira.

Burgoseko estazioa aukeratzeko orduan, kokaleku geografikoa erabakigarria izan da. Iberiar Penintsularen ipar ekialdean kokaturik dago, Euskal Herritik oso gertu, eta beraz, gure herriarekiko duen gertutasunagatik, aztertzea erabaki da. Horrela, Euskal Herrian Europako meteorologia zentroaren simulazio berriek ERA5-ekiko nola funtziona dezaketen ideia bat egin daiteke. Gainera, Araba eta Burgoseko zona askotako klima eta orografiak antzekoak dira, hortaz, lorturiko emaitzek eta analisi honetatik ateratako ondorioak Arabako lurraldera estrapola daitezke.

Burgoseko estazioa Europa kontinentean dagoenez, Ameriketako kontinentean kokaturiko puntu bat aztertzea erabaki da. Gainera, WPD potentzial altuko estazio bat aztertzea interesgarria ikusi da. Baldintza horiek kontuan hartuz, Brasil inguruan (20, 21 eta 22) eta Mexiko inguruan (23 eta 24) kokatuta dauden estazioak zuzenean baztertu dira WPD potentzial oso baxua dutelako, WPD10 batez besteko balioek ez dituzte  $200 \text{ W/m}^2$ -ak gainditzen aipaturiko estazioetan (Eranskinak I).

Gainera, aurreko atalean *onshore* estazio bat aztertu denez, aberasgarria ikusi da *offshore* estazio baten azterketa egitea, horrela, bi eremu desberdinen artean portaerak aztertu daitezke. Beraz, Barbados uhartetik gertu dauden puntutariko bat hartu da (1-11 estazioak).

Kontuan hartzeko datu garrantzitsu bat, aztertu diren bi eremuen klimak ez direla antzematen da, eta horrek, eragina izango duela atera ditzakegun ondorioetan. Gainera, Barbados uhartearen inguruetan urakan ugari egoten dira eta horrek arazo bat suposatuz dezake.

## 3.2 BURGOS-EKO ESTAZIOAREN ANALISIA

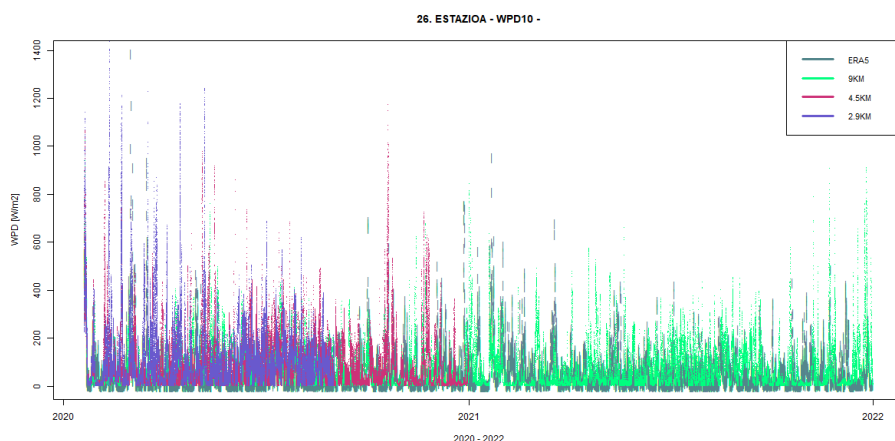
Burgos probintzian kokatuta dagoen estazioa, zerrendako 26 estazioa da. ECMWF-aren zerrendan "BURGOS\_SPN" bezala zehazten da (Taula 2.1). Estazio-puntu honen koordinatuak ondorengoak dira: longitude  $-3.95^{\circ}$ , latitude  $42.28^{\circ}$ .

### 3.2.1 WPD10 analisia (periodo osoa)

Atal honetan ECMWF ereduaren erresoluzio desberdineko simulazioen denbora periodo osoak, bi urte, urte bat eta zortzi hilabete hurrenez hurren, ERA5-rekiko aztertuko dira. Europako meteorologia zentroaren simulazio bakoitzak denbora periodo desberdin bat daukenez, ERA5-ekin alderatu ahal izateko, banan-banan aztertu dira. Analisia baliozkotzat jotzeko soilik ordu berdinetako datuak aldaratu daitezkeenez, bi simulazioen denbora tartea bat egiten duten datuak hautatu dira. ERA5 modeloak bakarrik datu bat dauka orduero; beraz, bi modeloen konparazioa erresoluzio bakoitzeko puntuetako orduekin egingo da.

Analisia egiteko hilabetetan banatzen diren kutxa diagramak aztertu dira. Hilabete bakoitzean bi kutxa diagramak azaltzen dira, gorriz ERA5 modeloaren datuak, eta urdinez, aztertzen gabiltzan *NextGEMS* modeloaren datuekin. Grafiko mota horiei esker aldagai estatistikoak erraz ikusi eta alderatu dira.

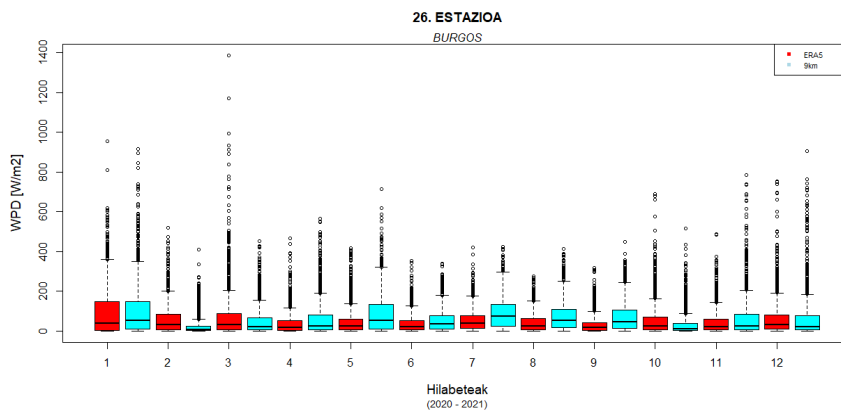
Hodei puntuen bitartez egindako grafikoa ikus daiteke 3-1 irudian. Bertan *NextGEMS* modeloaren hiru simulazioak eta ERA5 azaltzen dira.



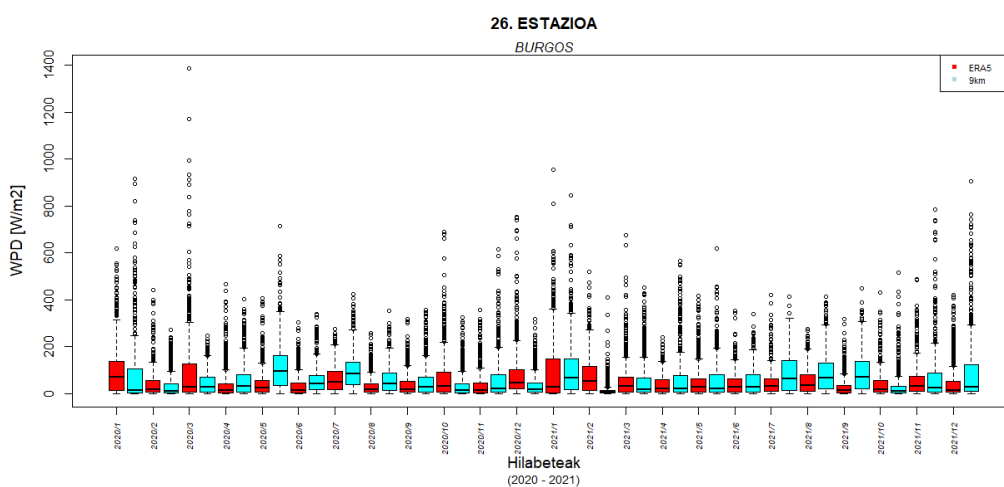
**Irudia 3-1. Burgoseko estazioa, WPD10.**

#### 3.2.1.1 ERA5 vs. *NextGEMS* 9 km

9 km-ko simulazioaren kasuan, denbora periodoak bi urte desberdin hartzen dituenek, analisia bi modu desberdinetan egin da. Lehenik, bi urteetako hilabeteak batu eta urte bakarreko ikuspegiari adierazi dira (3-2 irudia). Bigarrenik, hilabete bakoitza banaka aztertu da. Bigarren analisi honen helburua, bi modeloen arteko desberdintasunak denboran zehar jasan duen eboluzioa ikustea da (3-3 irudia).



**Irudia 3-2. ERA5 vs. NextGEMS 9 km.**



**Irudia 3-3. ERA5 vs. NextGEMS 9 km.**

Hilabete bakoitzeko WPD-aren batez bestekoetan oinarrituta, ondorio hauek atera dira.

Parametro estatistikoeekin ostatutako taulan (Eranskinak II) eta 3-2 irudian, ikus daiteke apiriletik irailera, 9 km-ko erresoluzioa duen simulazioak ERA5-ak baino balio altuagoak ematen dituela, eta hilabete guztiak joera berdina jarraitzen dutela, WPD-aren balioa handituz. Otsaila, martxoa, urria eta azaroaren kasuan, 9 km-ko simulazioak ERA5-ak lortzen dituen balioak baino baxuagoak estimatzen ditu. Azkenik, urtarrila eta abenduan, 9 km-ko simulazioak ematen dituen balioak ERA5 modeloaren antzekoak direla kontsidera daitezke.

Bi urteak banaturik aztertzen badira (3-3 irudia eta Eranskinak II), 2020ko maiatza eta 2021eko otsaila eta iraila dira arreta gehien deitzen duten hilabeteak. Kasu hauetan, gain-estimazioa oso altua da.

Laburbilduz, neguko hilabeteetan, abendua, urtarrila eta otsaila, 9 km-ko datuak ERA5-en biranalisisa jarraitzen ditu oso errore txikiarekin, eta udan, balioak gain-estimaten ditu. Ondorio horiek gehiago sakonduko dira simulazioak urtaroka alderatzen diren atalean (Memoria, 3.2.2).

WPD 10 m-ren balio maximoetan oinarrituta, hurrengo ondorioak atera daitezke.

Hilabeteak banaka aztertzen direnean, 2020ko martxoan oso emaitza bereziak ikusi dira. ERA5-ak maximo oso altu bat adierazten du (1.386,34 W/m<sup>2</sup>), eta 9 km-ko simulazioaren kasuan, hilabete osoan ez dira 250 W/m<sup>2</sup>-ak gainditzen. ERA5-en balio maximo hori martxoak 3, goizeko ordu bietan, eman zen. Bi modeloen balio maximoen arteko desberdintasuna hain handia den arren, 3-4 irudian ikus daitekeen bezala, ordu gutxiko haize boladak izan ziren ERA5-ak neurtutakoak. Ondorioz, balio estatistikoen taulan (Eranskinak II) argi adierazten den bezala, bi modeloen kuartilen arteko desberdintasunak ez dira nabarmenak, eta aurretik zetorren joera jarraitzen dela berretsi daiteke.

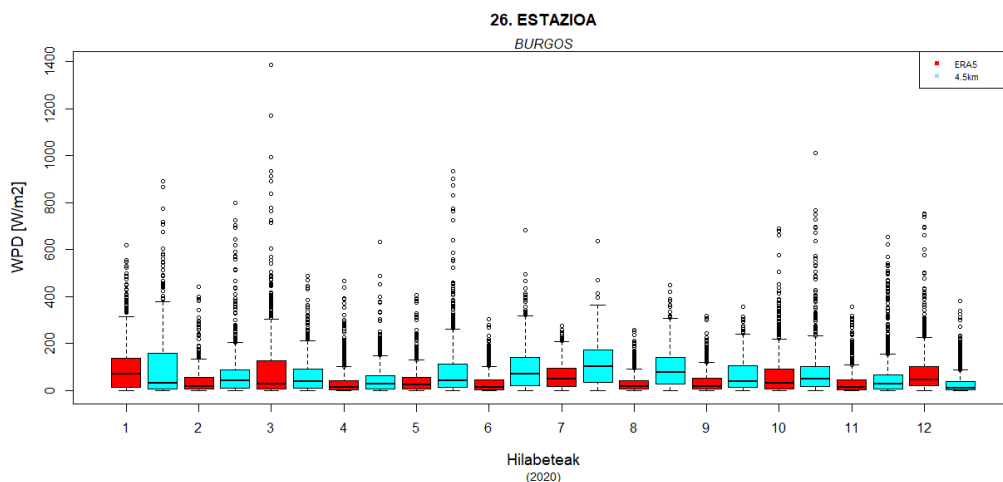
2020	3	1	20	140.7082
2020	3	1	21	244.2675
2020	3	1	22	324.0234
2020	3	1	23	448.2529
2020	3	2	0	723.6835
2020	3	2	1	991.9917
2020	3	2	2	1386.3405
2020	3	2	3	1171.7346
2020	3	2	4	778.1075
2020	3	2	5	471.6594
2020	3	2	6	414.9987
2020	3	2	7	380.3504
2020	3	2	8	263.9981
2020	3	2	9	196.6102
2020	3	2	10	171.0454

Irudia 3-4. ERA5-ek neurturiko WPD balio maximoa.

2020ko martxoan zehar gertatutakoa sakonago aztertzen bada, ematen du *NextGEMS* modeloak ondo simulatu ez zituen borraraka batzuk egon zirela. Hilabete osoko haizearen balioei dagokienez, bariazio asko egon ziren hilabete osoan zehar eta haize gogorreko egun ugari eman ziren. Hilabete hasieran hainbat borraraka egon ziren: *Karine* [42] eta *Myriam* [43] martxoaren 1 eta 3 artean eman ziren, penintsula Iberikoan eta Balear uharteetan eragin zuten eta hilabeteko indartsuenak izan ziren; *Norberto* [44] borraraka, martxoaren 5 eta 7 artean gertatu zen penintsula Iberikoan, Balear uharteetan eta Canariar uharteetan eragin zuen; eta azkenik, 9 eta 10 eguneko borrarakak, kasu honetan soilik penintsulako ipar-ekialdean eragin zuen.

**3.2.1.2 ERA5 vs. NextGEMS 4,5 km**

Erresoluzio ertaineko simulazioaren kasuan, denbora tarte 2020ko urtarrilaren 20tik 2020ko abenduaren 31ra denez, kutxa diagrama bakarra nahikoa izango da analisi osoa burutzeko (Irudia 3-5).



Irudia 3-5. ERA5 vs. NextGEMS 4,5 km.

WPD-aren batez besteko balioetan oinarrituta, hurrengo ondorioak atera dira.

9 km-ko simulazioaren joera berdina jarraitzen du 4,5 km-ko simulazioak ere. ERA5-ek ematen dituen datuetatik gertuago mantentzen da neguko hilabeteetan, urtarrila eta abenduan batez ere, eta urteko hilabete zentraletan, gain-estimatzeko joera jarraitzen du. Uda beteko hilabeteetan, ekaina, uztaila eta abuztuaren hain zuzen, bereziki nabarmena da datuen arteko desberdintasuna, WPD-aren balioak gain-estimaten ditu, 9 km-ko simulazioarekin igoera nabarmena adieraziz.

WPD-aren balio maximoetan oinarrituta, hurrengo ondorioak atera dira.

2020ko urriaren 20ean datu altu garrantzitsu bat adierazten da, 1171,71 W/m<sup>2</sup>. Egun zehatz horren azterketa egin ostean, ERA5 modeloak datu altu hau erregistratzeko duen zailtasuna ikusi da, izan ere, puntako ordutik kanpo ematen da, eta maximoaren aurretik zein ondoren dauden puntako orduetan, balio oso antzekoak erregistratu dira (Irudia 3-6). Hala ere, ERA5 modeloaren balioak egun eta ordu berdineterako aztertzen badira, 500 W/m<sup>2</sup> inguruko balioak 15 ordu beranduago estimatzen dituela ikusten da (Irudia 3-7).

```
"2020" "10" "20" "05:00:00" "637.677796619029"
"2020" "10" "20" "05:03:00" "705.193706253445"
"2020" "10" "20" "05:06:00" "778.301660470188"
"2020" "10" "20" "05:09:00" "849.294500288508"
"2020" "10" "20" "05:12:00" "926.877884131038"
"2020" "10" "20" "05:15:00" "1011.70688556381"
"2020" "10" "20" "05:18:00" "1086.27312422921"
"2020" "10" "20" "05:21:00" "1148.86267013781"
"2020" "10" "20" "05:24:00" "1171.71036764847"
"2020" "10" "20" "05:27:00" "1147.69973099854"
"2020" "10" "20" "05:30:00" "1065.79772085214"
"2020" "10" "20" "05:33:00" "951.874394651132"
"2020" "10" "20" "05:36:00" "849.219417457976"
"2020" "10" "20" "05:39:00" "775.779161364559"
"2020" "10" "20" "05:42:00" "726.767980706787"
"2020" "10" "20" "05:45:00" "688.74159418614"
"2020" "10" "20" "05:48:00" "641.879066713652"
"2020" "10" "20" "05:51:00" "643.171039317837"
"2020" "10" "20" "05:54:00" "657.633950764186"
"2020" "10" "20" "05:57:00" "672.36279122769"
"2020" "10" "20" "06:00:00" "692.787702279373"
```

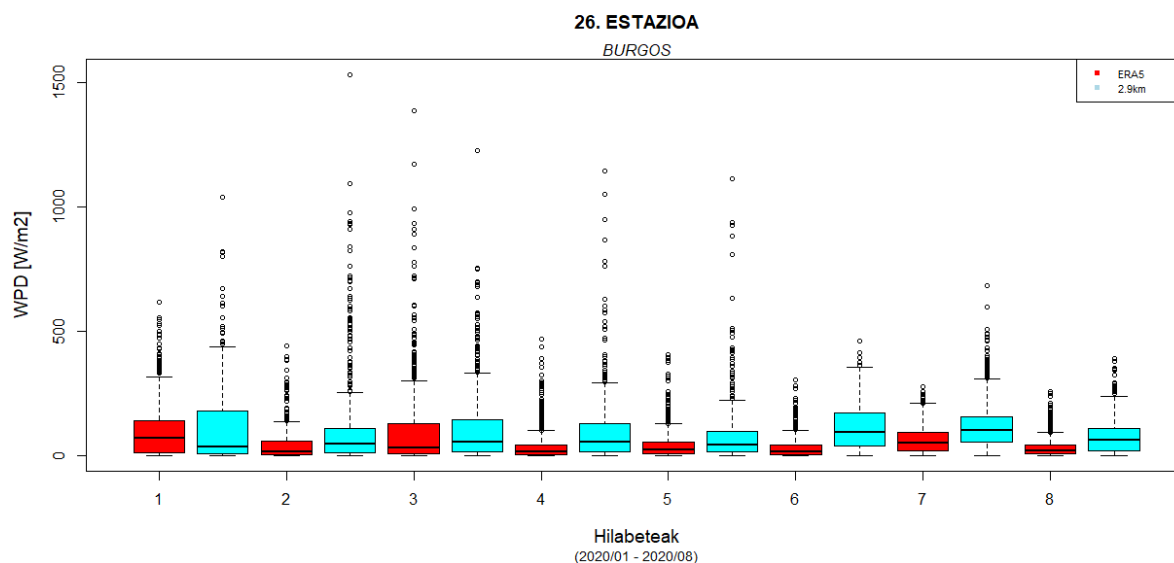
#### ***Irudia 3-6. NextGEMS modeloaren 4,5 km simulazioaren pikoak.***

	Year	Month	Day	Hour	
[1,]	2020	10	20	1	40.69139
[2,]	2020	10	20	2	41.83534
[3,]	2020	10	20	3	45.95657
[4,]	2020	10	20	4	48.74503
[5,]	2020	10	20	5	42.05805
[6,]	2020	10	20	6	25.63057
[7,]	2020	10	20	7	16.64623
[8,]	2020	10	20	8	24.25418
[9,]	2020	10	20	9	41.62945
[10,]	2020	10	20	10	80.04667
[11,]	2020	10	20	11	156.37219
[12,]	2020	10	20	12	160.91891
[13,]	2020	10	20	13	183.90055
[14,]	2020	10	20	14	245.88487
[15,]	2020	10	20	15	367.16518
[16,]	2020	10	20	16	384.45130
[17,]	2020	10	20	17	414.55453
[18,]	2020	10	20	18	436.76777
[19,]	2020	10	20	19	506.69800

#### ***Irudia 3-7. ERA5-en balioak 4,5 km-ko modeloaren pikoaren egunerako.***

### **3.1.1.3 ERA5 vs. NextGEMS 2,9 km**

Erresoluzio altueneko simulazioaren kasuan, denbora tartea 2020ko urtarrilaren 20tik 2020ko abuztuaren 31ra direnez, kutxa diagrama bakarra nahikoa izan da analisi osoa burutzeko (3-8 irudia). Periodoaren luzera motzagoa denez ezin da beste erresoluzio simulazioekin konparatu.



**Irudia 3-8. ERA5 vs. NextGEMS 2,9 km.**

WPD-aren batez besteko balioetan oinarrituta, hurrengo ondorioak atera dira.

Hilabete guztietan 2,9 km-ko simulazioaren gain-estimazio bat ematen da ERA5 modeloarekiko. Aurreko simulazioek neguko hilabeteetan jarraitzen duten patroia berretsi ezin den arren, joera berdina hartzen duela ikus daiteke. Erdiko hilabeteetan aurreko joera bete-betean jarraitzen da, eta aurreko bi modeloekin alderatuz, gain-estimazioa oraindik eta altuagoa da.

Hiru erresoluzioak aztertu eta gero esan daiteke Europako meteorologia zentroaren modelo berriaren erresoluzioa handitzen den heinean, ERA5 modelotik gero eta gehiago aldentzen direla balioak, WPD balio handiagoak emanez.

Balio maximoaren azterketan, joera berri hau berretsi da. Erresoluzio baxuko zein ertaineko simulazioarekin, soilik hilabete bakarrean gaintitzen du WPD balio maximoak  $1.000 \text{ W/m}^2$ -ko langa, erresoluzio altuko simulazioarekin, aldiz, aise gaintitzen da langa hori aztertzen diren zortzi hilabetetatik bostetan (Eranskina II).

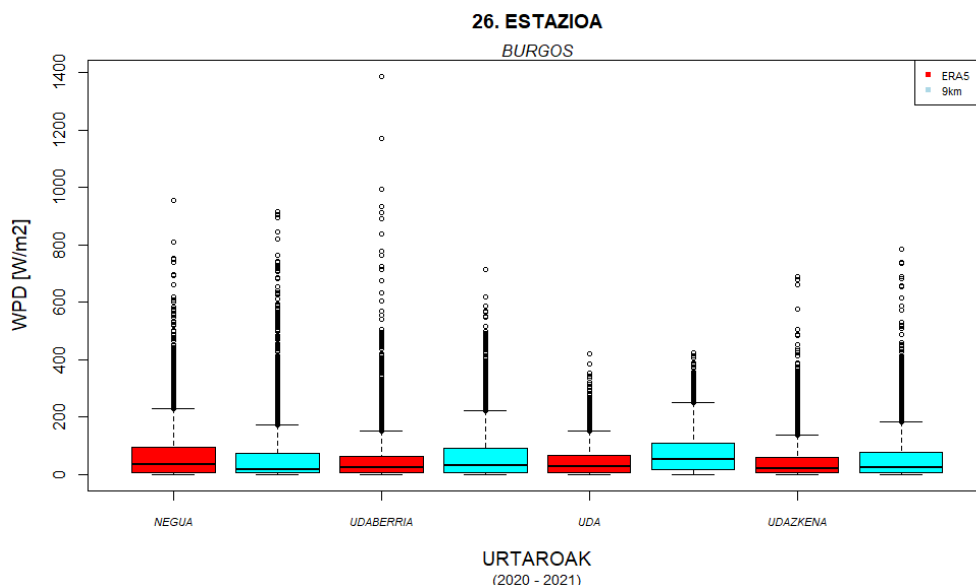
### 3.2.2 ANALISIA URTAROKA

Bigarren atal honetan, urtaroka egin da simulazioen arteko alderaketa. Kutxa diagramak eratzeko periodo osoak hartu dira kontuan, baina grafikoan adierazterako orduan, 3 hilabeteko multzoetan sailkatu dira, 4 urtarok interpretatuz. Denbora periodoarekin, aldiz, aurreko ataleko arazo berdina eduki da, eta hiru simulazio desberdinak, banaka aztertu dira. Urtarokak horrela sailkatu dira: Negua (abendua, urtarrila eta otsaila), udaberria (martxoa, apirila eta maiatza), uda (ekaina, uztaila eta abuztua) eta udazkena (iraila, urria eta azaroa). Modeloen arteko desberdintasunak argi ikusteko, bi kolore erabili dira, gorria ERA5 modeloa adierazteko, eta urdina, konparatzen gabiltzan modeloa adierazteko.

#### 3.2.2.1 ERA5 vs. NextGEMS 9 km

Erresoluzio baxueneko simulazioaren analisisian bi urteetako datuak grafiko berdinean adierazi dira, oraingoan, urtaroen arteko portaerak aztertu nahi direlako. Beraz, zuzenean datu multzo guztiak batuta kutxa diagramak bakarrik osatu da (Irudia 3-9).



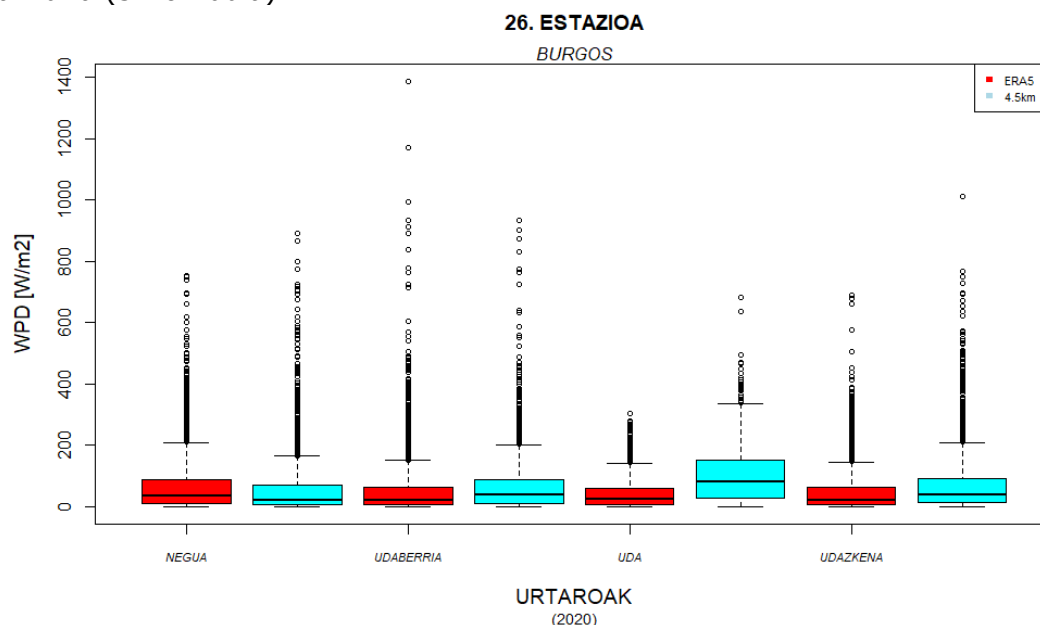


**Irudia 3-9. ERA5 vs. NextGEMS 9 km.**

Hilabeteen analisisan ikusi den joera urtaroetan ere mantendu egiten da. Udara gerturatzeko goazela, 9 km-ko simulazioak goranzko joera bat hartzen du ERA5-ak ematen dituen balioak aise gaituz, ERA5-ek  $27,15 \text{ W/m}^2$  ematen ditu eta 9 km-ko simulazioak  $52,93 \text{ W/m}^2$ , ikusi Eranskinak II ataleko taula. Joera hori apalagoa da udaberri eta udazkenean. Beste urtaroetan, aldiz, portaera desberdina aztertzen da. Erresoluzio baxuko eta ERA5 simulazioaren arteko desberdintasunak ez dira hain nabarmenak, eta joera, balio pixka bat baxuagoak ematekoa da, adibidez udazkenean ERA5-ek  $19,73 \text{ W/m}^2$  eta 9 km-ko simulazioak  $22,74 \text{ W/m}^2$ . Analisi honetarako, mediana edo Q2 balioa hartu da erreferentziatzat (Eranskinak II).

### 3.2.2.2 ERA5 vs. NextGEMS 4,5 km

Erresoluzio ertaineko simulazioaren analisisan urte osoko datuak grafiko berdinean adierazi dira (3-10 irudia).

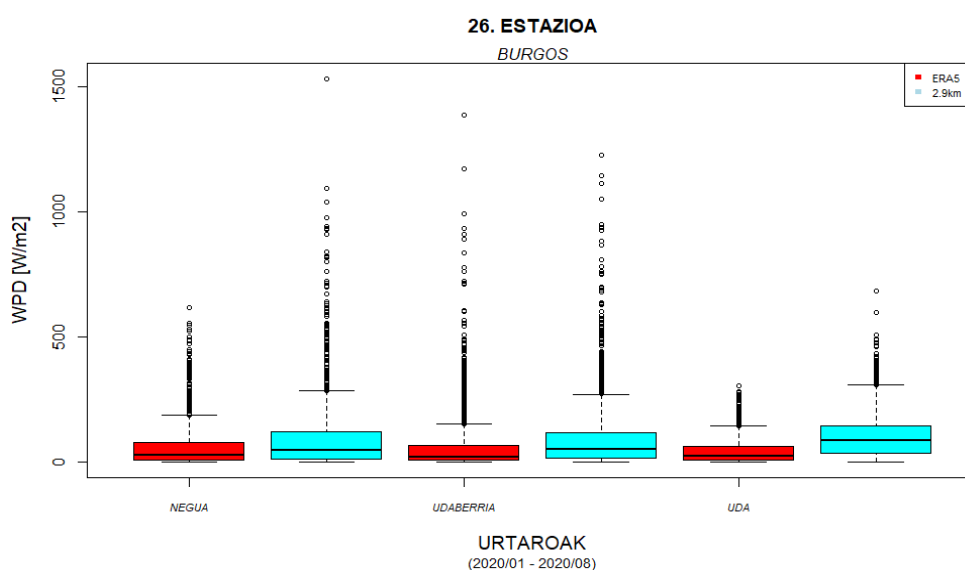


**Irudia 3-10. ERA5 vs. NextGEMS 4,5 km.**

Orain arte emandako joera jarraituz, 4,5 km-ko simulazioak balio altuagoak ematera jotzen du udan, eta udaberri eta udazkenean, aldiz, gain-estimazioa apalagoa da. Udako Q2 balioak aztertuz, ERA5-ek 23,81 W/m<sup>2</sup> ematen ditu eta 4,5 km-ko simulazioak 82,39 W/m<sup>2</sup>. Neguan 4,5 km-ko simulazioa ERA5 balioetatik gertuago dago, beheranzko joera txiki batekin. 9 km-ko simulazioa 4,5 km-koarekin alderatzen badugu, ERA5 modeloaren balioekin desberdintasun handiagoak ikusten dira bigarren honetan. Neguan aldiz, erresoluzio baxu eta ertainak ematen dituzten balioak ez dira hain desberdinak, Q2 parametro estatistikoa aztertuz adibidez, 9 km-ko simulazioak 16,65 W/m<sup>2</sup> ematen ditu eta 4,5 km-ko simulazioak 21,55 W/m<sup>2</sup>. Analisisitarako balio estatistikoekin osatutako taulan dauden parametro guztiak aztertu dira (Eranskinak II).

### 3.2.2.3 ERA5 vs. NextGEMS 2.9km

Erresoluzio altuko simulazioaren analisisian lehenengo zortzi hilabeteetako datuak bakarrik izatean, udaberria eta uda aztertu ahal izan dira osorik, (3-11 irudia).

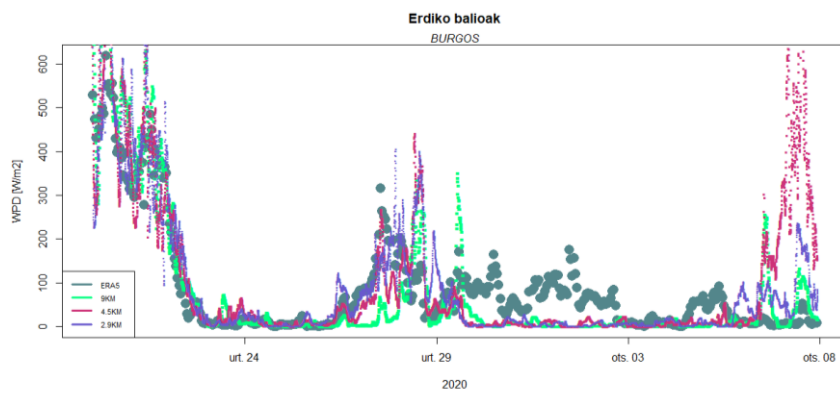


**Irudia 3-11. ERA5 vs. NextGEMS 2,9 km.**

Udaberrian eta udan aurreko ataletan ematen ziren joerak mantentzen dituztela ikusten da. Alde batetik, alderatzen diren bi modeloen artean 2,9 km-ko simulazioak balio altuagoak ematen dituela argi geratzen da. Bestalde, hiru erresoluzioen artean, 2,9 km-ko simulazioak ERA5-en balioekiko distantzia handienak dituen simulazioa dela ikusi daiteke. Gorakada hori bereziki udan ematen da, ikusi 3-11 irudia. Udazkeneko datuen faltan, udaberri, uda eta udazkeneko proposatu diren joera eta hipotesiak mantentzen direla ematen du.

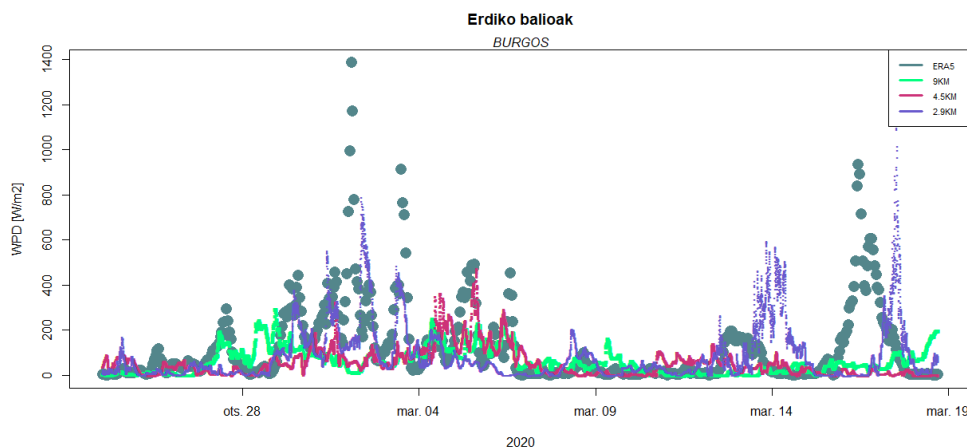
### 3.2.3 Azpi-orduko datuak aztertuz

Atal honetan, *NextGEMS* simulazioen azpi-orduko datuak aztertu dira. 3-12 irudian azterketa denbora periodoaren lehenengo egunak azaltzen dira, eta simulazio guztiek, ibilbide parekoa jarraitzen dute. Europako zentroaren hiru simulazioek gertutik jarraitzen dute ERA5-en ibilbidea, eta haien artean oso errore txikia mantentzen da. Jakina da, hasieran, *NextGEMS*-ren simulazioek ERA5 jarraitzen zutela, eta 3-12 irudian, argi islatuta geratzen da. Hori, *NextGEMS* simulazioek behatutako datuak bakarrik hasierako momentuan asimilatzen dituelako da. Gainera, egin diren analisisetan, simulazioen arteko portaera egokiena neguko hilabeteetan eman denez, ez da harrizkoa simulazio guztien erdiko balioak aztertzean joera hura mantentzen zela berrestea.



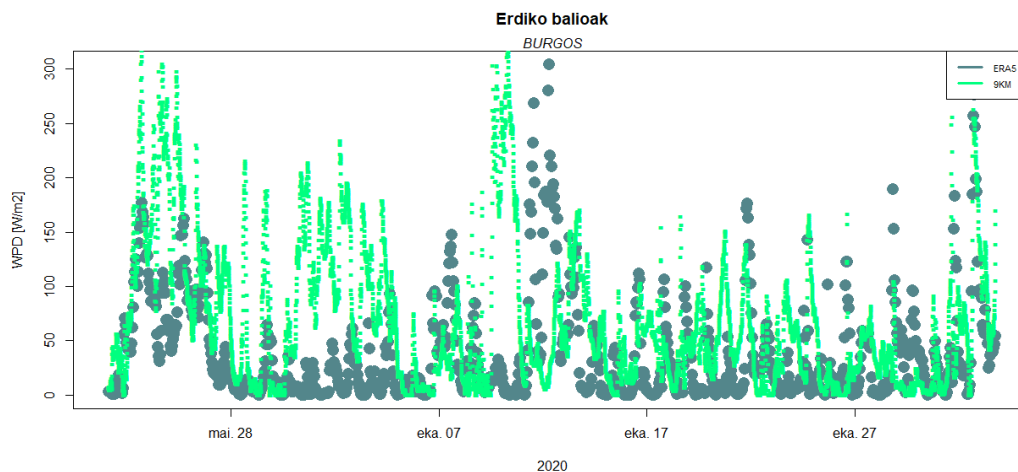
**Irudia 3-12. Denbora periodoaren lehenengo egunak, balio guztiak kontuan edukita.**

Hurrengo irudia, 3-13 irudia, 3-12 irudiaren jarraipena da, otsailaren 8tik aurrera, eta kasu honetan, aldaketa bat ikusten da. *NextGEMS*-ren hiru simulazioek ERA5 jarraitzeko joera adierazten duten zehaztasuna galduz doan arren, haien artean aldentuz hasi dira, eta bakoitzak, bere bidea jarraituko duela ikus daiteke.

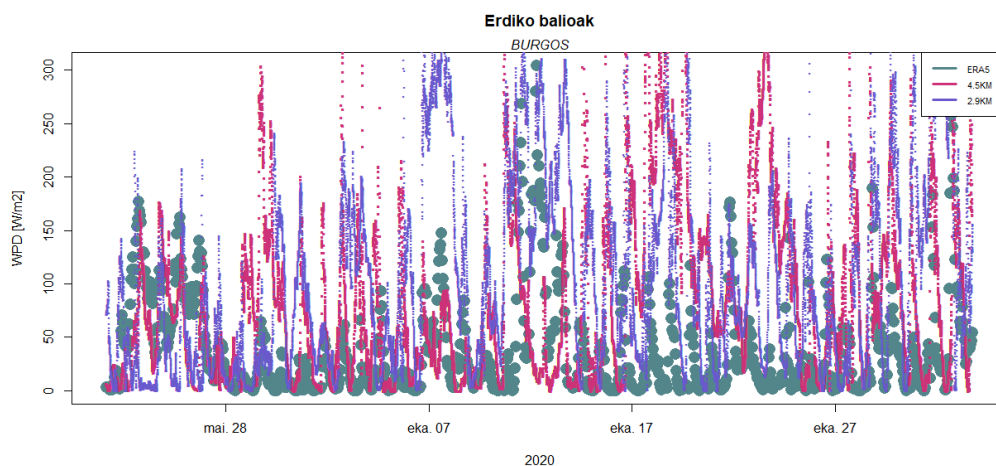


**Irudia 3-13. Denbora periodoaren lehenengo egunak, balio guztiak kontuan edukita.**

Datozen irudiko grafikoetan, 3-14 eta 3-15, denbora tarte berdina aztertzen da. 3-14 irudiko grafikoan 9 km-ko erresoluzioa duen simulazioa adierazi da, eta 3-14 irudian, 4,5 km eta 2,9 km-ko simulazioak adierazi dira. Banaketa hori, 9 km-ko erresoluzioaren ibilbidea argiago ikusteko egin da, izan ere, zehaztasuna asko galdu duen arren, oraindik ere ERA5 jarraitzeko joera txiki bat ikus daiteke. Beste bi erresoluzioen kasuan, aldiz, joera hori desagertutzat ematen da, eta simulazio bakoitzak, bere ibilbidea jarraitzen du. 3-14 zein 3-15 irudietako grafikoetan gain-estimaziorako joera argi ikus daiteke, udan ematen den patroia jarraituz.

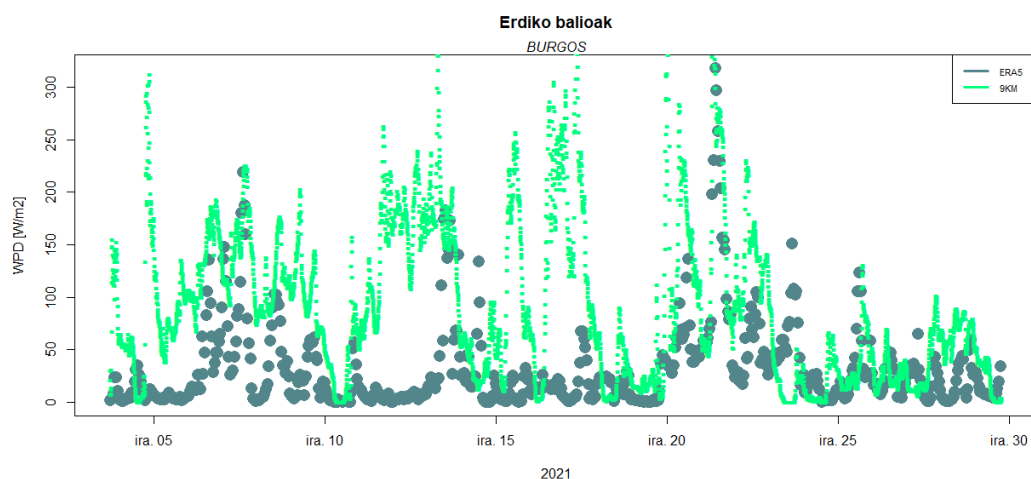


**Irudia 3-14. ERA5 vs. 9 km-ko simulazioa, udako hilabeteetan.**

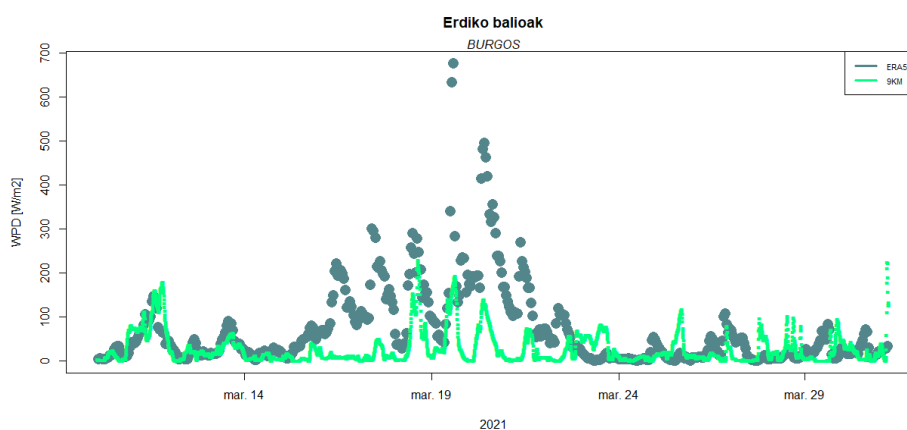


**Irudia 3-15. ERA5 vs. 4,5 km eta 2,9 km-ko simulazioak, udako hilabeteetan.**

Atal honekin amaitzeko 2021. urteko datu batzuk aztertu dira. Bakarrik 9 km-ko simulazioaren datuak dauden arren, azterketa denbora periodoaren amaieran simulazio honen portaera aztertu nahi izan da. 3-16 irudiko grafikoan, 2021. urteko iraila aztertu da, eta 9 km-ko simulazioak, nahiz eta hainbat unetan ERA5 simulaziora gerturatzeko joera adierazi, bien arteko errorea oso handia da. Gainera, 9 km-ko simulazioak ERA5-ak baino balio altuagoak estimatu ditu. Hilabete honetako WPD potentziala altua ez den arren, batez bestekoak ez ditu  $150 \text{ W/m}^2$ -ak gainditzen, simulazioen arteko portaerak argi ikus daitezke. 3-17 irudiko grafikoan, aldiz, 2021. urteko martxoaren datuak azaltzen dira. Kasu honetan, 9 km-ko simulazioak zehaztasun handiagoarekin jarraitzen du ERA5, eta hilabete osoan zehar, balio txikiagoak estimatzeko joera argia adierazten du.



**Irudia 3-16. ERA5 vs. 9 km-ko simulazioa, 2021 urteko irailean.**



**Irudia 3-17. ERA5 vs. 9 km-ko simulazioa, 2021 urteko martxoan.**

Haizearen potentzialaren aprobeixamenduaren aldetik, gaur egun ez da bideragarri ikusten. WPD10-n urteko batezbestekoak ez ditu  $100 \text{ W/m}^2$ -ak gainditzen ezta kasu hoberenean, eta  $200 \text{ W/m}^2$ -tik beherako tokiak, kokaleku desegokiak bezala kalifikatzen dira.

WPD100 modu orokor batean aztertu da eta balio onargarriagoak ikusi dira. ERA5 modeloak urteko batezbestekoan  $200 \text{ W/m}^2$  ematen dituen arren, *NextGEMS*-ren erresoluzio altuko simulazioak balio hori bikoiztu egiten du,  $400 \text{ W/m}^2$  balioetara iritsiz. Kokaleku baten WPD-aren urteko batezbestekoa  $400 \text{ W/m}^2$  inguruan dagoenean, kokalekua ona bezala kalifikatzen da; hala ere, kasu optimistenak justu gainditzen duenez langa hori, ez da ziurtasun osoz toki ona bezala kalifikatuko.

Burgoseko klima kontinentalaz aztertu ondoren, eta urtaro bakoitzaren ezaugarriak ezagututa, hainbat patroi eta joera ikusi dira modeloen arteko analisietan.

Neguan, *NextGEMS*-ren simulazioen balioak ERA5-ak ematen dituen balioetara asko gerturatu dira. Urtaro horretan, bi modeloen balioek bat egiten dute une askotan, eta bi grafikoen ibilbideak, joera berdintsuak jarraitzen dituzte. *NextGEMS*-en hiru erresoluzioek, patroi berdina mantentzen dute. Hilabete horietan zehar, *NextGEMS*-ren erresoluzio desberdinen artean aldea ez da hain nabarmena.

Beste hiru urtaroetan, aldiz, *NextGEMS*-ren simulazioek ERA5-rekiko duten portaera guztiz desberdina da. Udaberri eta udazkenean, ERA5-ak ematen dituen balioetatik aldentzen hasten dira Europako zentroaren hiru simulazioak, betiere, balioen estimazioan goranzko joera bat jarraituz. Bi urtaro hauetan igoera hori apala da, eta orokorrean, ez daude atentzioa emateko moduko desberdintasunik. Hala ere, hiru simulazioen arteko desberdintasunak nabarmen egiten dira. Udan, orokorrean hilabete guztiek daukate gain-estimazio altu bat, eta hiru erresoluzioen alderaketan, ERA5-ak emandako balioekin dagoen errorea handia da.

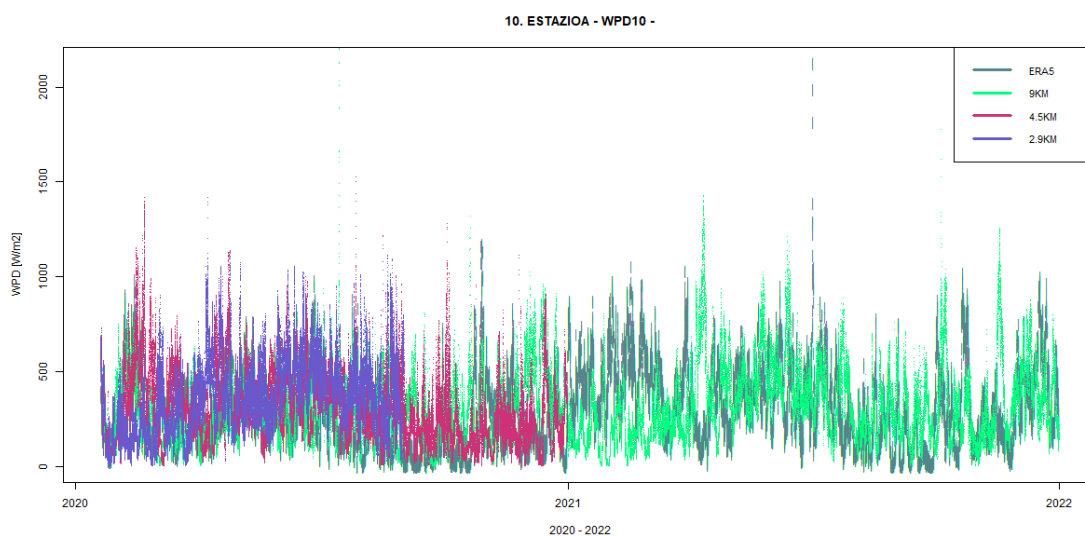
### 3.3 BARBADOS-EKO ESTAZIOAREN ANALISIA

Barbados uhartetik gertu, hainbat puntu zehaztu ditu Europako meteorologia zentroak, 11 zehazki (Irudia 2-2). Lehenengoa, uhartetik oso gertu kokatzen da, beste hamar puntuak aldiz, itsaso zabalean daude. Barbados uhartea Karibe itsasotik oso gertu dagoen arren, aztertuko den estazioa, uhartetik 250 km ekialdera kokatzen da, ipar atlantikoko itsasoan. Aztertuko den estazioa, zerrendako 10 estazioa da (Taula 2-1). Bere izena "EUREC4A\_9" bezala zehazten da. Puntu honen koordenatuak ondorengoak dira:  $-57.15^{\circ}$ ,  $12.48^{\circ}$ .

#### 3.3.1 WPD10 ANALISIA (periodo osoa)

Aurreko atalean erabilitako prozedura berdina erabili da estazio hau aztertzeko, eta kasu honetan ere, analisia egiteko kutxa diagramak erabili dira. Grafikoa hauekin aldagai estatistikoak erraz ikusi eta alderatu dira.

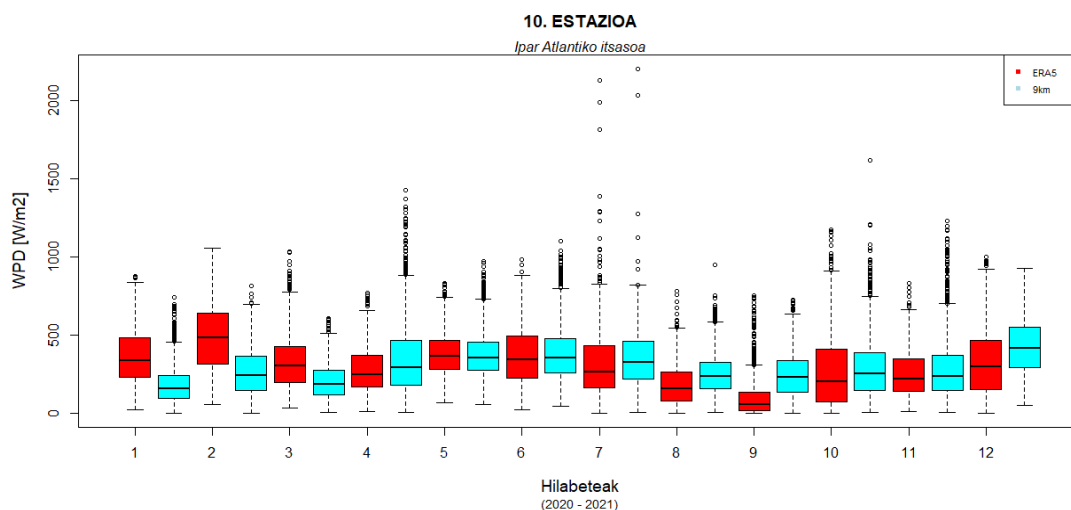
Hodei puntuekin egindako grafikoa adierazten da 3-18 irudian. Bertan *NextGEMS* eta ERA5 azaltzen dira, eta 3-1 irudian ez bezala, kasu honetan *NextGEMS*-en simulazioek orokorrean ERA5 ondo jarraitzen dutela ikus daiteke.



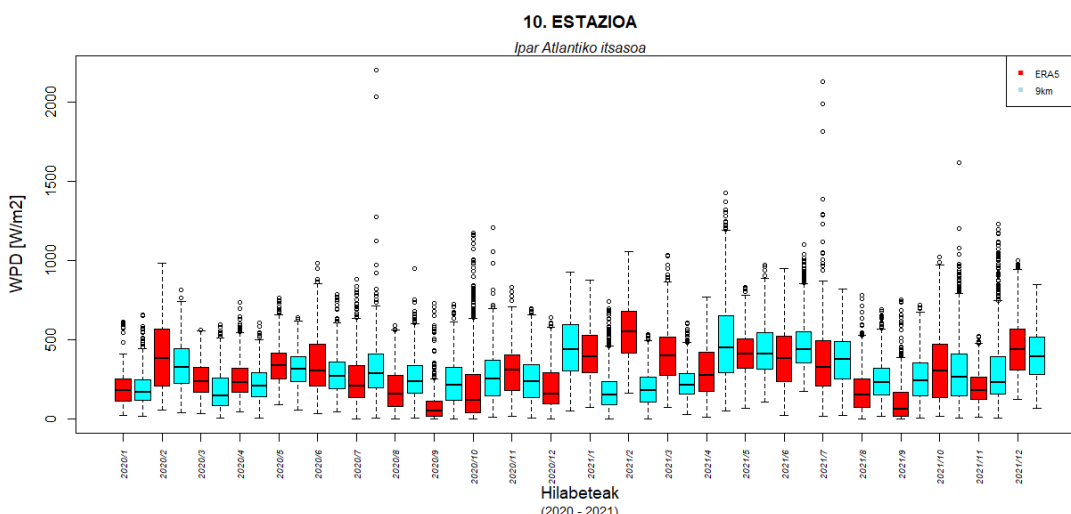
Irudia 3-18. Barbados 10. estazioa, WPD10.

##### 3.3.1.1 ERA5 vs. NextGEMS 9 km

9 km-ko simulazioaren kasuan, lehenik, bi urteetako hilabeteak batu eta urte bakarreko ikuspegian adierazi dira (Irudia 3-19). Bigarrenik, hilabete bakoitza banaka aztertu da (Irudia 3-20).



**Irudia 3-19. ERA5 vs. 9 km.**



**Irudia 3-20. ERA5 vs. 9 km.**

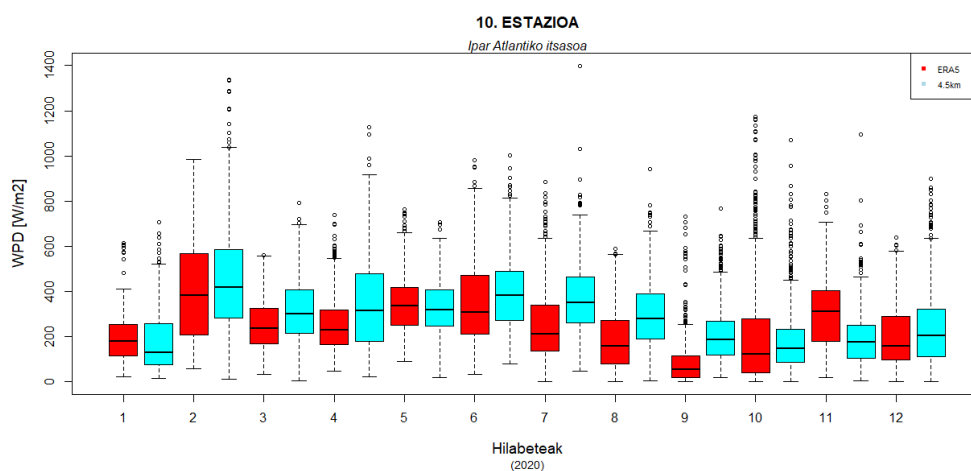
Aurreko irudia behatuz (Irudia 3-20 irudia) lehenengo ondorioak atera dira. Azterketa periodoaren hasieran, urtarriletik irailera, 9 km-ko erresoluzioa duen simulazioak zehaztasun handiagoarekin jarraitzen du ERA5, amaieran, aldiz, modeloen arteko erroreak nabarmenak dira. 2020ko urtarriletik ekainera, balio baxuagoak ematen ditu, hala ere, ondo jarraitzen duela esan daiteke, orokorrean, ez baita asko aldentzen. 2020ko uztailetik urrira, aldiz, kontrako efektua ikusten da, eta 9 km-ko simulazioak, ERA5-ak estimatzen dituen balioak baino altuagoak ematen ditu. Hilabete hauetan ere, gain-estimazioa ez denez gehiegizkoa, ERA5 modeloa ondo jarraitzen duela esan daiteke.

Aldaketa nabarmenak 2020ko abendutik aurrera jasotzen dira, 3-20 grafikoan ikus daitekeen bezala, 9 km-ko simulazioak ematen dituen balioak ERA5 modelotik asko aldentzen direlako. 2021. urtearen hasieran batez ere, 9 km-ko simulazioak ERA5-ak egiten duenaren kontrako egiten du; ERA5-ak balio altuak ematean 9 km-ko simulazioak balio baxuak ematen ditu, eta alderantziz. Efektu efektu hori, 2021. urteko erdiko hilabeteetan apaltzen da eta urte amaieran berriro ikus daiteke.

Aurreko irudiko grafikoa (Irudia 3-19) aztertzean urte hasierako hilabeteetan ikusten dira simulazioen arteko desberdintasun handienak. 3-20 irudiko grafikoa aztertzean esan bezala, 2021. urte hasierako hilabeteetan 9 km-ko simulazioak ez du ERA5 batere ondo jarraitzen, eta 2020. urte hasieran bi modeloak batera joaten ziren eta bi urteen arteko datuen irakurketan efektu hori ikusten jarraitzen da. Hasierako hilabete horiek kenduta, 9 km-ko erresoluzioa duen simulazioak nahiko ondo jarraitzen ditu ERA5 modeloak estimatzen dituen datuak.

### 3.3.1.2 ERA5 vs. NextGEMS 4,5 km

Erresoluzio ertaineko simulazioaren kasuan, denbora tartea 2020ko urtarrilaren 20tik 2020ko abenduaren 31ra da (Irudia 3-21).



**Irudia 3-21. ERA5 vs. 4,5 km.**

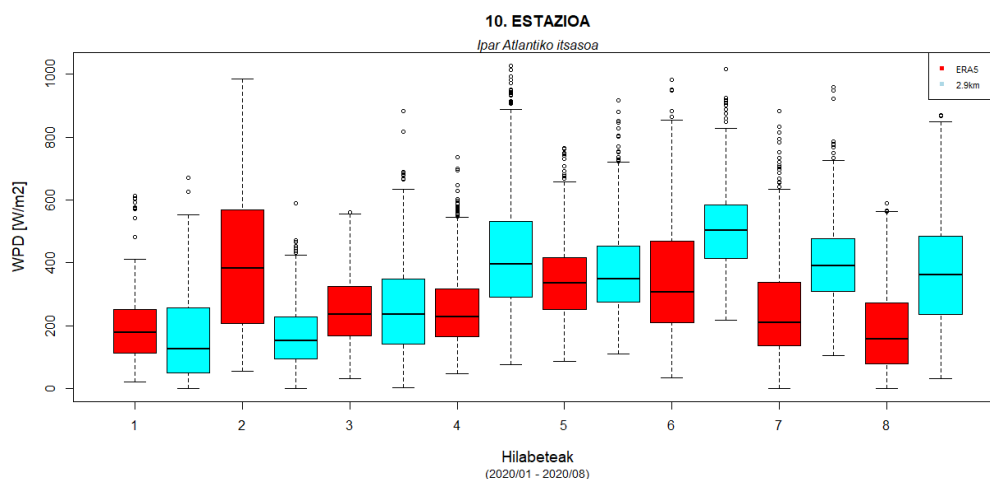
Grafikoan (Irudia 3-21) ikus daitekeen bezala, bi modeloen artean ez dago joera argirik. Hala ere, hainbat ondorio atera dira 3-21 iruditik. Urte hasiera eta amaierako hilabeteak eta urte erdialdeko hilabeteak aztertzean, ERA5 modeloarekiko antzekotasun handia mantentzen dela ikus daiteke, uztailetik azarora, aldiz, desberdintasunak handiak dira. 3-21 irudian, 1. eta 2. hilabeteen arteko desberdintasun txikiak, eta 7., 8. eta 9. hilabeteen arteko desberdintasun esanguratsuak begi-bistaz ikusten dira. Joera hauek 9 km-ko simulazioan ikusitakoarekin bat datoz, izan ere, hasierako hilabeteetan simulazioen arteko desberdintasunak ez dira hain nabarmenak, bai aldiz neurketak hasi ziren egunetik aurrera.

### 3.3.1.3 ERA5 vs. NextGEMS 2,9 km

Erresoluzio altueneko simulazioaren kasuan, denbora tartea 2020ko urtarrilaren 20tik 2020ko abuztuaren 31ra da.

Beste grafiko honetan (Irudia 3-22) joera argi ikus daiteke: martxotik aurrera, 2,9 km-ko simulazioa ERA5-ak baino balio altuagoak estimatzen ditu, eta hilabeteak aurrera doazen heinean, joera hori handituz doa. Azken hilabeteetan, abuztuaren, bi modeloen arteko desberdintasunak oso handiak direla ikusten da, haize potentzial handiko eremu bat aztertzen denez, desberdintasunak  $W/m^2$ -askotakoak dira. Q2 balioa aztertuz, ERA5-ek  $18,58 W/m^2$  ematen ditu eta 2,9 km-ko simulazioak aldiz  $62,97 W/m^2$ .





**Irudia 3-22. ERA5 vs. 2,9 km.**

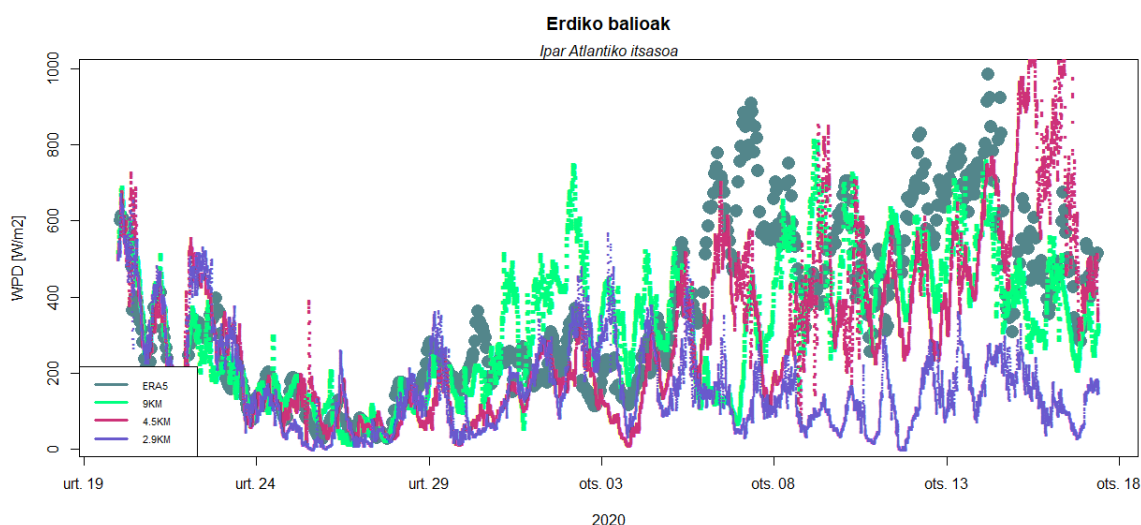
Azterketa honetan berretsi daitekeen joera bakarra hasierako hilabeteetan ematen dena da. Ahala ere, kasu partikular honetan, efektu berezi bat ikusten da otsailean non ERA5-ak oso balio altuak estimatzen dituen, eta 2,9 km-ko simulazioak kontrara, oso txikiak.

### 3.3.2 Analisia urtaroka

Atal honetan ez da analisirik egin urtaroka, kokaleku honetako klima urte osoan zehar oso antzekoa delako eta jasaten dituen bariazioak ez direlako desberdin aztertzeke modukoak. Klima tropikala da, ekainetik urrira luzatzen diren hilabete euritsuekin. Hilabete euritsuetan hurakanak eta ekaitzak ez dira ohikoak. Barbados uhartearen kasuan, hurakan batek 3,09 urtean behin pasatzen da gertutik eta 26,6 urtean behin jotzen du bete-betean [45].

### 3.3.3 Azpi-orduko datuak aztertuz

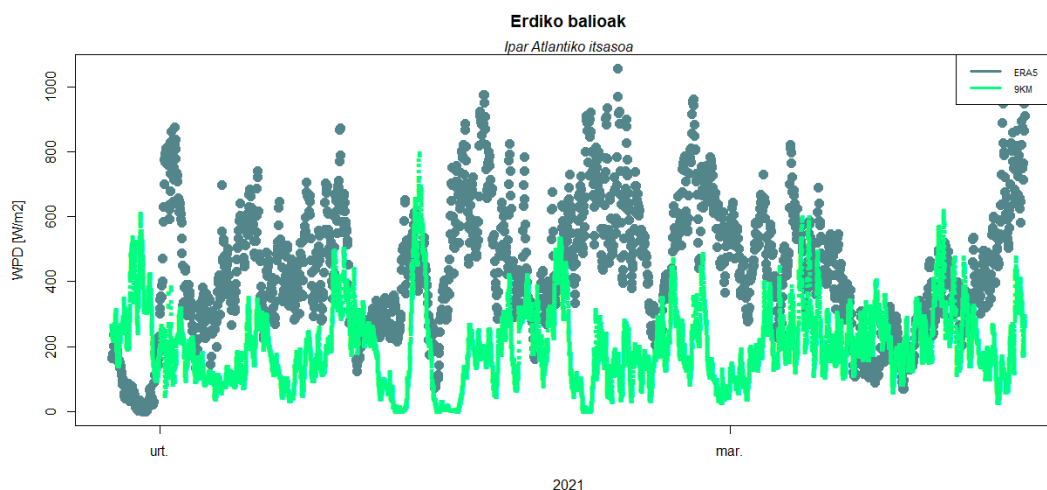
Burgoseko kokalekuan egin den prozedura berdina aplikatu da atal honetan.



**Irudia 3-23. Simulazio guztiak 2020 urteko lehenengo bi hilabeteetan.**

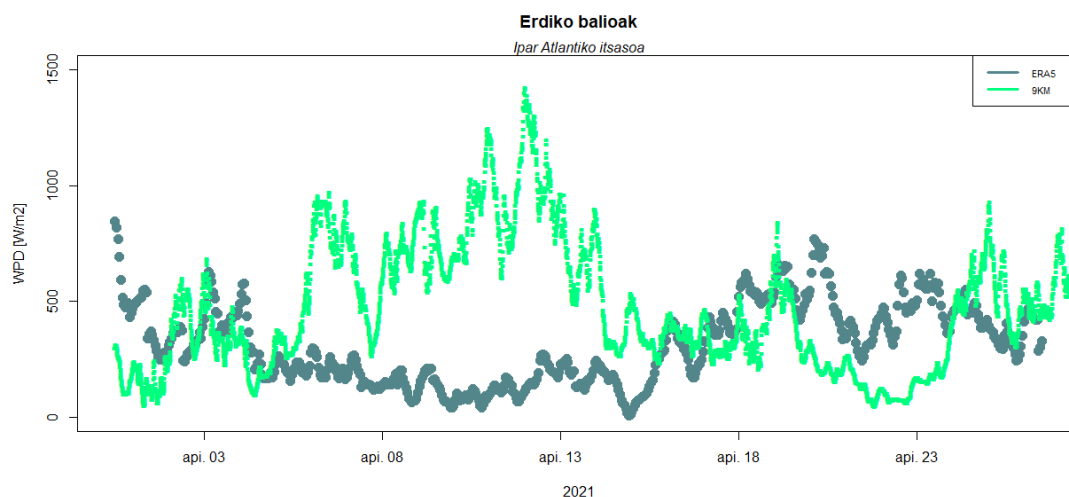
Aurreko irudiko grafikoan (3-23 irudia), 2020. urteko lehenengo bi hilabeteak azaltzen dira, bertan ondo ikusten da urtarrila osoan zehar hiru simulazioek ERA5 ondo jarraitzen duten arren, otsailean, *NextGEMS*-ren simulazioen artean desberdintasunak ematen hasten direla. Kasu nabarmenena 2,9 km-ko erresoluzioa duen simulazioarena da, argi ikus daitekeen moduan, beheranzko joera argi bat hartzen du ERA5 zein *NextGEMS*-ren beste bi simulazioetatik aldentuz.

2021. urteko lehenengo hilabeteak ikus daitezkeen grafikoan, 3-24 irudia, 9 km-ko simulazioaren informazioa dago bakarrik beste simulazioak lehenago amaitzen direlako; eta 3-23 irudiko grafikoan ERA5 modeloa hoberen jarraitzen zuen simulazioa zela kontuan edukita, urte bat beranduago bien arteko desberdintasunak handitu direla ondorioztatzen da. Kurben antzekotasunak begiratzean elkar jarraitzen ez dutela ematen du. Haizearen aroprobatxamenduaren aldetik momentu interesgarria da, ERA5-ak nahiko batez besteko altua adierazten duelako, 400 W/m<sup>2</sup> inguruan, 9 km-ko simulazioak, aldiz, erdia.



**Irudia 3-24. ERA5 vs. 9 km-ko simulazioa, 2021 urteko lehenengo hilabeteetan.**

Azkenik, 3-25 irudiko grafikoan, 3-24 irudiko grafikoaren jarraipena dago. 4-25 irudiko grafikoa aztertuz oso joera berezia ikusi daiteke, bat-batean, balio txikiagoak emateko joera apurtu, eta tarte batean balioak bikoizteraino handitzen dituelako. Egun gutxiko anomalia da, apirilaren 3tik 18ra ematen dena, hala ere, aipatu beharreko datua dela ikusi da, egun horien ondoren, berriro ere ERA5 kurbatik gertu kokatzeko joera erakusten baitu.



**Irudia 4-23. ERA5 vs. 9 km-ko simulazioa, 2021 urteko apirila.**

*Offshore* eremuetan haizearen aprobeixamendua egitea errazagoa izaten da, gainera, turbina handiagoak instalatu daitezke WPD balio altuagotara iristea lortuz. Kasu partikular hori aztertuz, WPD 10 metrotan 400 W/m<sup>2</sup>-tara iristen ez den arren, WPD 100 metrotan aztertzean, 400 W/m<sup>2</sup> eta 600 W/m<sup>2</sup> balioetara aise iristen da. Balio horiekin dagoeneko kokaleku ona kontsidera daiteke, eta beraz, parke eoliko bat instalatzea guztiz bideragarria izango litzateke.



## 4. ONDORIOAK

Burgoseko estazioaren azterketan modeloen arteko joerak argi ikusi dira. Neguan Europako meteorologia zentroaren hiru simulazioak ERA5-ak ematen dituen balioetara asko gerturatzen dira, eta *NextGEMS*-ren simulazioen artean, 9 km-ko erresoluzioa duena da ERA5 modeloa denbora gehienez hoberen jarraitzen duena. Udan, aldiz, *NexGEMS*-ren simulazioek duten joera ERA5-ak ematen dituen balioak baino altuagoak ematea da. *NextGEMS*-ren erresoluzio altueneko simulazioaren kasuan, hainbestekoa da aldea, aztertu diren balio estatistiko guztiak bikoizteraino iristen direla. *NextGEMS*-ren simulazio desberdinen artean ere, joera argi bat ikusi da non erresoluzio baxuenak datu baxuenak ematen dituen, eta erresoluzio altuenak, aldiz, balio altuenak.

Ondorio horiek ikusita, hipotesi bat planteatzen da. Neguan, Europako meteorologia zentroaren simulazioak ERA5-ak ematen dituen balioetara hurbiltzen dira, eta udan, aldiz, modeloen arteko erroreak nabarmen handitzen dira. Hau, simulazioak neguan hasten direlako, eta hasieran, asimilaturiko datuak hurbilago dauzkalako izan daiteke.

Haizearen potentzialaren aprobetxamenduaren aldetik, Burgoseko estazioa ez da toki oso egokia kontsideratzen aerosorgailuen instalaziorako.

Ipar Atlantikoan kokatuta dagoen estazioaren kasuan, bertako klima dela eta, ez dago hilabete hotz eta beroen arteko desberdintasunik, eta horregatik, ez dira urtarok aztertu. Hala ere, euri sasoiak egoten dira ekainetik urrira. ERA5 modeloak oso ondo funtzionatzen du zimurdura balioa txikia den eremuetan; estazio hori, *offshore* eremuan dago, eta itsasoan, zimurduraren balioa oso txikia da. Beraz, ERA5 modeloak errorea emateko aukera txikiagoa da, eta orokorrean, funtzionamendu oso ona duela esaten denez, tresna oso baliagarria izan da *offshore* estazio honen analisiaren zehaztasuna handiagotzeko.

Parametro guztiak aztertu ondoren, denbora periodoaren hasieran, *NextGEMS*-ren modeloaren simulazio guztiak ERA5 modelotik gertu mantentzen direla ikusi da; hilabeteak pasa ahala, simulazioak haien artean aldentzen hasten dira, Burgosen ikusitako efektu berdina jarraituz. Erresoluzio altuko simulazioa da aldentzen hasten den lehenengoa, eta erresoluzio baxuko simulazioa, ERA5 denbora gehienez jarraitzen duena; balio altuagoak emateko joera bat erakutsiz. Eboluzio horren arrazoia, *NextGEMS*-ren simulazioak exekutatu zirenean, behatutako datuen asimilazioa egin zelako baina periodoa aurrera joan ahala, oinarri hori izateari utzi ziotelako da.

Aipatu bezala, ikerketa talde batek toki honekiko erakutsi zuen interesagatik zehaztu zen estazio hau koordinatu horietan, beraz, haizearen potentzialaren aprobetxamenduaren aldetik, egiaztatu da toki oso egokia dela. Haizearen balioak 100 metrotan aztertzean, parke eoliko baten instalazioa errentagarria izateko moduko balioak lortzen dira. Hala ere, kontuan izan behar da 26,6 urtean behin urakan batek zona hori bete-betean jotzeko eta 3,09 urtean behin gertutik pasatzeko aukerak daudela, eta probabilitate oso altuak ez diren arren, haize erroten bizi-iraupenean zein beste aspektutan eragiten duela [45].

Laburbilduz, hainbat joera eta hipotesi egin dira ikerketa proiektuan zehar, eta bi estazioetan, errepikatzen diren patroiak ikusi dira. Lehenik, hilabete beroetan *NextGEMS* modeloak balioa altuagoak estimatzeko joera; bigarrenik, azterketa periodoaren hasieran, ERA5 simulazioarekin gertutasun handiagoa; eta azkenik, *NextGEMS*-ren hiru simulazioen artean, erresoluzio altuko simulazioak besteek baino balio altuagoak emateko joera.

## 5. ERREFERENTZIAK

[1] Iberdrola. ¿Qué es la energía eólica, cómo se transforma en electricidad y cuáles son sus ventajas?, [Online]. Erabilgarri: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/energia-eolica> [Azken aldiz, 2023/6/26].

[2] Eraso-Checa, Francisco; Escobar-Rosero, Edison; Paz, Fernando; Morales, Carlos; Metodología para la determinación de características del viento y evaluación del potencial de energía eólica en Túquerres – Nariño (2017), [Online]. Erabilgarri: <http://www.scielo.org.co/pdf/cient/n31/2344-8350-cient-31-00019.pdf> [Azken aldiz, 2023/6/26].

[3] NASA. Bernoulli's Principle, [Online]. Erabilgarri: [https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/bernoulli\\_principle\\_k-4.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/bernoulli_principle_k-4.pdf) [Azken aldiz, 2023/6/26].

[4] Anderson, D., & Eberhardt, S. (1999). How airplanes fly: A physical description of lift. *Sport Aviation*, [Online]. Erabilgarri: [https://cadmac.co.uk/index\\_htm\\_files/how\\_airplanes\\_fly.pdf](https://cadmac.co.uk/index_htm_files/how_airplanes_fly.pdf) [Azken aldiz, 2023/6/26].

[5] Buckman, N. (2015). Wind Turbine Aerodynamics: Theory of Drag and Power, [Online]. Erabilgarri: [https://nbuckman.scripts.mit.edu:444/homepage/wp-content/uploads/2016/03/WindTurbine\\_Paper2-1.pdf](https://nbuckman.scripts.mit.edu:444/homepage/wp-content/uploads/2016/03/WindTurbine_Paper2-1.pdf) [Azken aldiz, 2023/6/26].

[6] Layton, Julia. How wind power works [Online]. Erabilgarri: <https://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/wind-power.htm#pt3> [Azken aldiz, 2023/6/26].

[7] Carreno-Madinabeitia, S., Ibarra-Berastegi, G., Sáenz, J., & Ulazia, A. (2021). Long-term changes in offshore wind power density and wind turbine capacity factor in the Iberian Peninsula (1900–2010). *Energy*, 226, 120364, [Online]. Erabilgarri: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/13/2635> [Azken aldiz, 2023/6/26].

[8] Vennell, R. (2013). Exceeding the Betz limit with tidal turbines. *Renewable Energy*, 55, 277-285, [Online]. Erabilgarri: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096014811200780X> [Azken aldiz, 2023/6/26].

[9] Gorban', A. N., Gorlov, A. M., & Silantyev, V. M. (2001). Limits of the turbine efficiency for free fluid flow. *J. Energy Resour. Technol.*, 123(4), 311-317, [Online]. Erabilgarri: <http://www.math.le.ac.uk/people/ag153/homepage/Gorlov2001.pdf> [Azken aldiz, 2023/6/26].

[10] Cruz, M., Escalona Guzmán, A., Giménez, V. M., Fernández, M. I., & Herman Restrepo, J. (2009). Emulador eólico para aerogeneradores de baja potencia. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 13(53), 329-338, [Online]. Erabilgarri:

[http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-48212009000400007&script=sci\\_arttext](http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-48212009000400007&script=sci_arttext)  
[Azken aldiz, 2023/6/26].

[11] Ragheb, M., & Ragheb, A. M. (2011). Wind turbines theory-the betz equation and optimal rotor tip speed ratio. *Fundamental and advanced topics in wind power*, 1(1), 19-38, [Online]. Erabilgarri: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=P9CPDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA19&dq=tip+speed+ratio+vs+cp&ots=iDW1cm4Ed0&sig=PTngRv3pGzLZMvUFziuEppq-g5tk&redir\\_esc=y#v=onepage&q=tip%20speed%20ratio%20vs%20cp&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=P9CPDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA19&dq=tip+speed+ratio+vs+cp&ots=iDW1cm4Ed0&sig=PTngRv3pGzLZMvUFziuEppq-g5tk&redir_esc=y#v=onepage&q=tip%20speed%20ratio%20vs%20cp&f=false) [Azken aldiz, 2023/6/26].

[12] Barrientos, R (2019). Descubrimos a los precursores de la energía eólica. Siemens Gamesa, [Online]. Erabilgarri: <https://www.siemensgamesa.com/es-es/descubrir/revista/2019/11/siemens-gamesa-inventors-day> [Azken aldiz, 2023/6/26].

[13] Fernández, M. (2023). Así es el aerogenerador más grande del mundo: 260 metros de rotor para dar luz a 40.000 hogares . El Español, [Online]. Erabilgarri: [https://www.elespanol.com/omicrono/tecnologia/20230109/aerogenerador-grande-mundo-metros-rotor-dar-hogares/732426818\\_0.html](https://www.elespanol.com/omicrono/tecnologia/20230109/aerogenerador-grande-mundo-metros-rotor-dar-hogares/732426818_0.html) [Azken aldiz, 2023/6/26].

[14] Renewable energy magazine. Antonio Barrero F. (2020/03/25), [Online]. Erabilgarri: <https://www.energias-renovables.com/eolica/sesenta-gigas--20200325> [Azken aldiz, 2023/6/26].

[15] Spanish Wind Energy Association. La eólica en el Mundo, [Online]. Erabilgarri: <https://aeolica.org/sobre-la-eolica/la-eolica-en-el-mundo/> [Azken aldiz, 2023/6/26].

[16] WeMake. Consultora de Energía Renovable, [Online]. Erabilgarri: <https://wemakeconsultores.com/vuelta-al-mundo-por-paises-sin-eolica/> [Azken aldiz, 2023/6/26].

[17] Iberdrola. EVOLUCIÓN DE LA ENERGÍA EÓLICA EN EUROPA. El viento, la mejor apuesta de futuro [Online]. Erabilgarri: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/evolucion-energia-eolica-europa> [Azken aldiz, 2023/6/26].

[18] Apccarian, A., & Lässig, J. L. (2012). Tendencias en el diseño de las torres para aerogeneradores multimegawatt. In *II Congreso Latinoamericano de Ingeniería de Vientos (CLIV)(La Plata, 5, 6 y 7 de diciembre de 2012)*, [Online]. Erabilgarri: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/100072> [Azken aldiz, 2023/6/26].

[19] Iberdrola. Iberdrola promoverá su próximo parque eólico en España con el aerogenerador terrestre más potente, 2020/02/10, [Online]. Erabilgarri: [https://www.iberdrola.es/pana.com/sala-comunicacion/noticias/detalle/200210\\_np\\_01\\_complejo\\_herrera](https://www.iberdrola.es/pana.com/sala-comunicacion/noticias/detalle/200210_np_01_complejo_herrera) [Azken aldiz, 2023/6/26].

[20] AEE. Anuario Eólico 2020, [Online]. Erabilgarri: [https://www.aeolica.org/images/Publicaciones/ANUARIO-AEE-2020\\_Web.pdf](https://www.aeolica.org/images/Publicaciones/ANUARIO-AEE-2020_Web.pdf) [Azken aldiz, 2023/6/26].

[21] WindEurope. Wind energy in Europe: 2021 Statistics and the outlook for 2022-2026, [Online]. Erabilgarri: <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-in-europe-2021-statistics-and-the-outlook-for-2022-2026/> [Azken aldiz, 2023/6/26].



- [22] Iberdrola. EVOLUCIÓN DE LA ENERGÍA EÓLICA EN EUROPA. El viento, la mejor apuesta de futuro, [Online]. Erabilgarri: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/evolucion-energia-eolica-europa>. [Azken aldiz, 2023/6/26].
- [23] ECMWF. Who we are, [Online]. Erabilgarri: <https://www.ecmwf.int/en/about/who-we-are> [Azken aldiz, 2023/6/26].
- [24] ECMWF. Catalogue of ECMWF real-time products, [Online]. Erabilgarri: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/catalogue-ecmwf-real-time-products> [Azken aldiz, 2023/6/26].
- [25] Copernicus, [Online]. Erabilgarri: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-complete?tab=overview> [Azken aldiz, 2023/6/26].
- [26] ECMWF. ECMWF Reanalysis v5, [Online]. Erabilgarri: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5> [Azken aldiz, 2023/6/26].
- [27] Ibarra-Berastegi, G.; Ulazia, A.; Saénz, J.; González-Rojí, S.J. Evaluation of Lebanon's Offshore-Wind-Energy Potential. J. Mar. Sci. Eng. 2019, 7, 361, [Online]. Erabilgarri: <https://www.mdpi.com/2077-1312/7/10/361> [Azken aldiz, 2023/6/26].
- [28] ECMWF, [Online]. Erabilgarri: <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation> [Azken aldiz, 2023/6/26].
- [29] Malardel, S., Wedi, N., Deconinck, W., Diamantakis, M., Kühnlein, C., Mozdzyński, G., ... & Smolarkiewicz, P. (2016). A new grid for the IFS. ECMWF newsletter, 146(23-28), 321, [Online]. Erabilgarri: [https://www.researchgate.net/profile/Christian-Kuehnlein/publication/297695132\\_A\\_new\\_grid\\_for\\_the\\_IFS/links/56e03f5108aee77a15fe8fca/A-new-grid-for-the-IFS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Christian-Kuehnlein/publication/297695132_A_new_grid_for_the_IFS/links/56e03f5108aee77a15fe8fca/A-new-grid-for-the-IFS.pdf) [Azken aldiz, 2023/6/26].
- [30] Cloud Google. Datos de ERA5, [Online]. Erabilgarri: <https://cloud.google.com/storage/docs/public-datasets/era5?hl=es-419> [Azken aldiz, 2023/6/26].
- [31] Bharat Kumar Saxena, K.V.S. Rao, Estimation of Wind Power Density at a Wind Farm Site Located in Western Rajasthan Region of India, Procedia Technology, [Online]. Erabilgarri: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017316301736> [Azken aldiz, 2023/6/26].
- [32] N. Masseran, A.M. Razali, K. Ibrahim, An analysis of wind power density derived from several wind speed density functions: The regional assessment on wind power in Malaysia, Renewable and Sustainable Energy Reviews, [Online]. Erabilgarri: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032112002584> [Azken aldiz, 2023/6/26].
- [33] Reve, [Online]. Erabilgarri: <https://www.evwind.com/2020/02/02/la-energia-eolica-cubre-el-48-del-consumo-mundial-de-energia-electrica/> [Azken aldiz, 2023/6/26].
- [34] Copernicus web orria, [Online]. Erabilgarri: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/search?type=dataset> [Azken aldiz, 2023/6/26].

[35] Chan, K. L., Wiegner, M., Flentje, H., Mattis, I., Wagner, F., Gasteiger, J., and Geiß, A.: Evaluation of ECMWF-IFS (version 41R1) operational model forecasts of aerosol transport by using ceilometer network measurements, *Geosci. Model Dev.*, 11, 3807–3831, [Online]. Erabilgarri: <https://gmd.copernicus.org/articles/11/3807/2018/> [Azken aldiz, 2023/6/26].

[36] Guevara Díaz, J. M. (2013). Cuantificación del perfil del viento hasta 100 m de altura desde la superficie y su incidencia en la climatología eólica. *Terra*, 29(46), 81-101, [Online]. Erabilgarri: [http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1012-70892013000200006&script=sci\\_arttext](http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1012-70892013000200006&script=sci_arttext) [Azken aldiz, 2023/6/26].

[37] Dirección y velocidad del viento con componentes meridional y zonal, 2014/06/24, [Online]. Erabilgarri: <https://www.silviaalonsoperez.com/2014/06/direccion-y-velocidad-del-viento-con-componentes-meridional-y-zonal/> [Azken aldiz, 2023/6/26].

[38] Ulazia, A., Sáenz, J., Ibarra-Berastegi, G., González-Rojí, S. J., & Carreno-Madinabeitia, S. (2019). Global estimations of wind energy potential considering seasonal air density changes. *Energy*, 187, 115938, [Online]. Erabilgarri: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544219316226> [Azken aldiz, 2023/6/26].

[39] Tabla 2.3: Valores de referencia de z0 para terreno con creciente rugosidad, desde agua hasta ciudades [129], [Online]. Erabilgarri: [https://www.researchgate.net/figure/Tabla-23-Valores-de-referencia-de-z0-para-terreno-con-creciente-rugosidad-desde-agua\\_fig23\\_337990705](https://www.researchgate.net/figure/Tabla-23-Valores-de-referencia-de-z0-para-terreno-con-creciente-rugosidad-desde-agua_fig23_337990705) [Azken aldiz, 2023/6/26].

[40] Parámetros de rugosidad representativos de terrenos naturales. Santana Marrero, Maria y Kowalski S., Andrew, [Online]. Erabilgarri: <https://www.ugr.es/~andyk/Theses/TesinaMaria.pdf> [Azken aldiz, 2023/6/26].

[41] Danish wind industry association, Rugosidad y cizallamiento del viento, [Online]. Erabilgarri: <http://xn--drmstrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wres/shear.htm> [Azken aldiz, 2023/6/26].

[42] Borraska Karine, [Online]. Erabilgarri: [https://www.aemet.es/eu/conocermas/borrascas/2019-2020/estudios\\_e\\_impactos/karine](https://www.aemet.es/eu/conocermas/borrascas/2019-2020/estudios_e_impactos/karine) [Azken aldiz, 2023/6/26].

[43] Borraska Myriam, [Online]. Erabilgarri: [https://www.aemet.es/eu/conocermas/borrascas/2019-2020/estudios\\_e\\_impactos/myriam](https://www.aemet.es/eu/conocermas/borrascas/2019-2020/estudios_e_impactos/myriam) [Azken aldiz, 2023/6/26].

[44] Borraska Norberto, [Online]. Erabilgarri: [https://www.aemet.es/eu/conocermas/borrascas/2019-2020/estudios\\_e\\_impactos/norberto](https://www.aemet.es/eu/conocermas/borrascas/2019-2020/estudios_e_impactos/norberto) [Azken aldiz, 2023/6/26].

[45] Clima Barbados, [Online]. Erabilgarri: <https://es.weatherspark.com/y/150201/Clima-promedio-en-Barbados-durante-todo-el-a%C3%B1o> [Azken aldiz, 2023/6/26].

## GIPUZKOAKO INGENIARITZA ESKOLA

## ESCUELA DE INGENIERÍA DE GIPUZKOA

### EIBAR

---

**GRAL:** HAIZE ENERGIAREN BALIABIDE AZTERKETA ERRESOLUZIO  
ALTUKO DATUEZ

---

### 2. DOKUMENTUA: ERANSKINAK

**Gradua:** Energia Berriztagarrien Ingeniaritzako Gradua  
**Ikasturtea:** 2022 - 2023  
**Egilea:** Salgado Herrera, Urko  
**Zuzendariak:** Manterola Ulazia, Alain  
Madinabeitia Carreño, Sheila

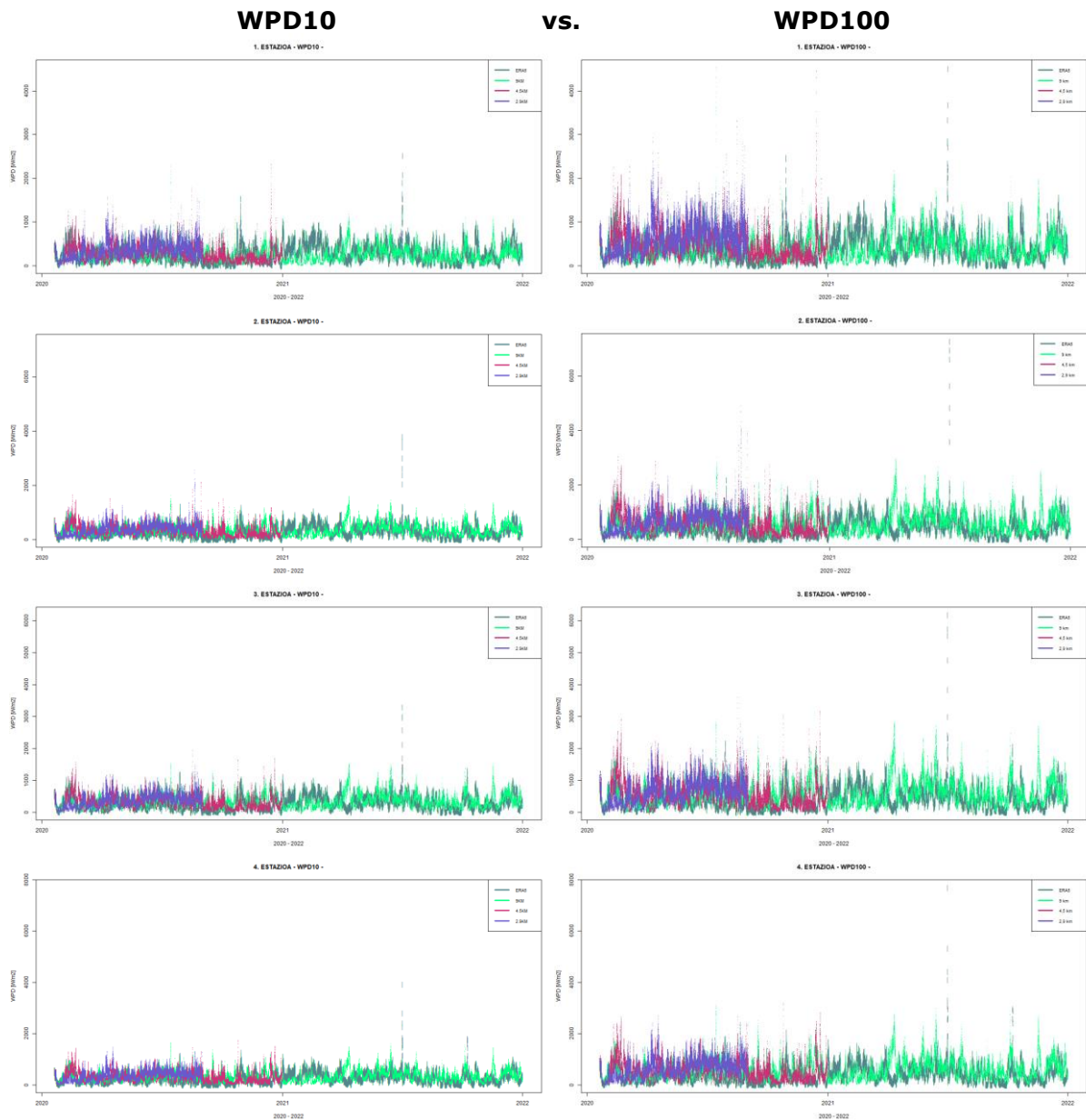


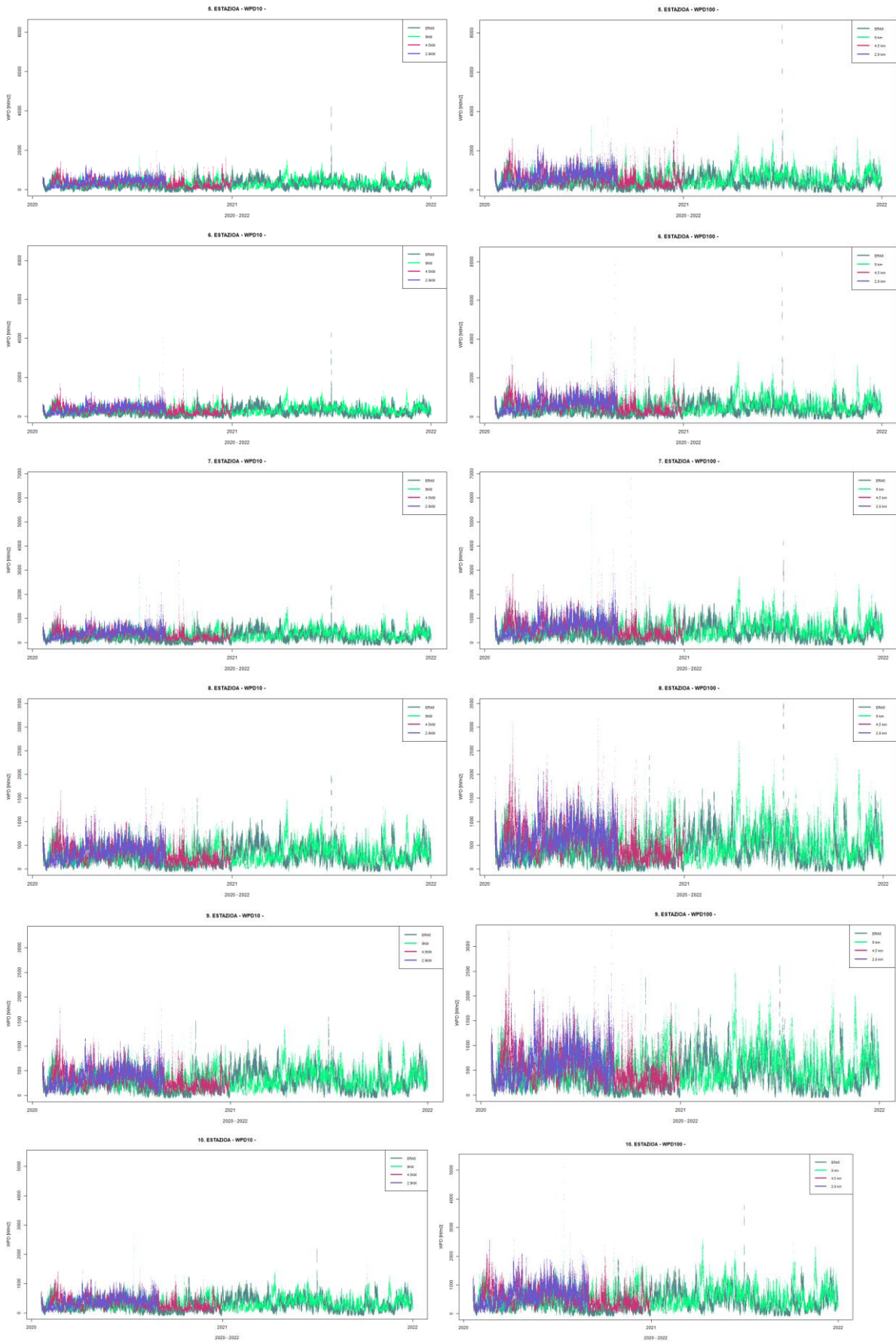
## **AURKIBIDEA**

ERANSKINA I .....	71
ERANSKINA II .....	77

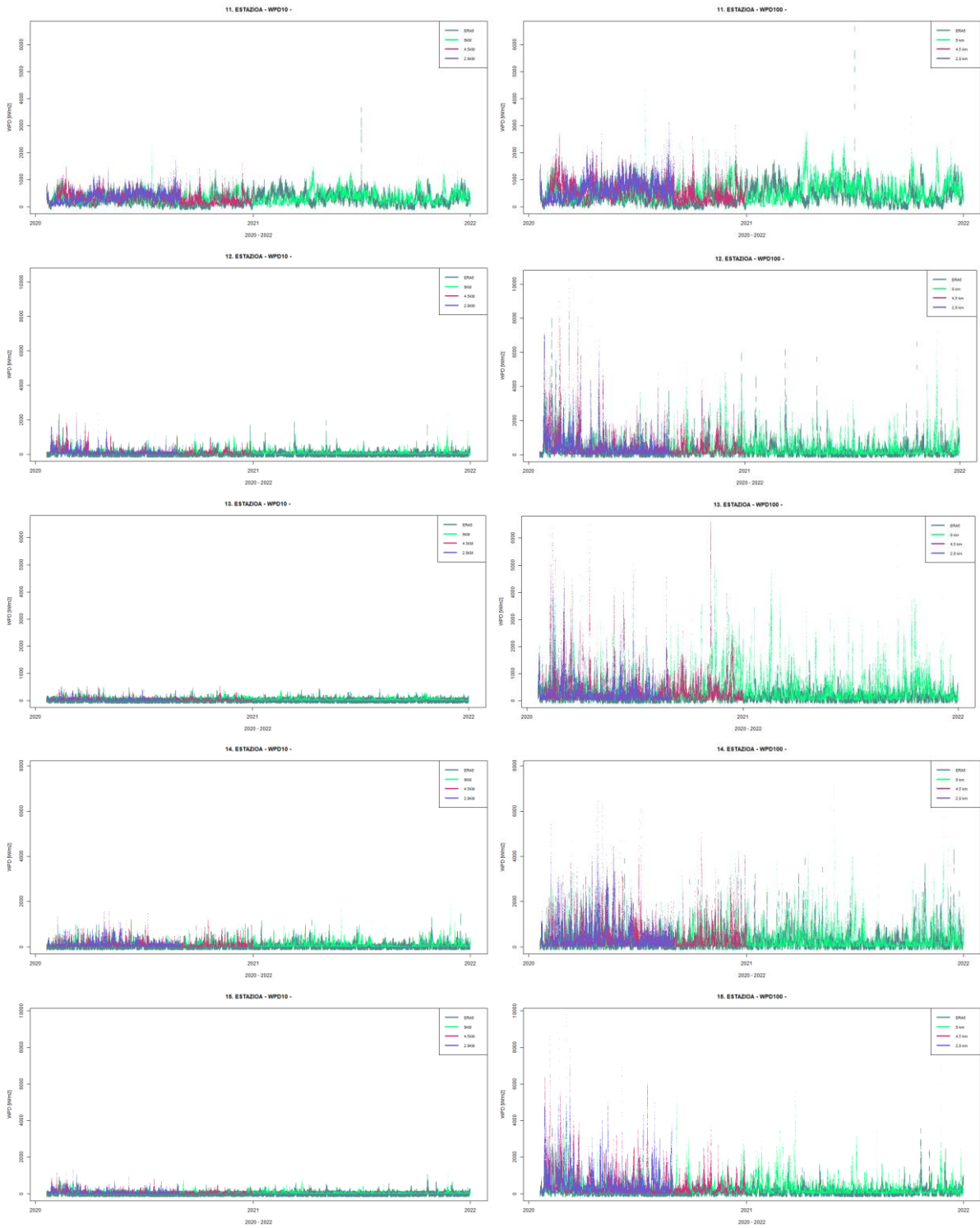


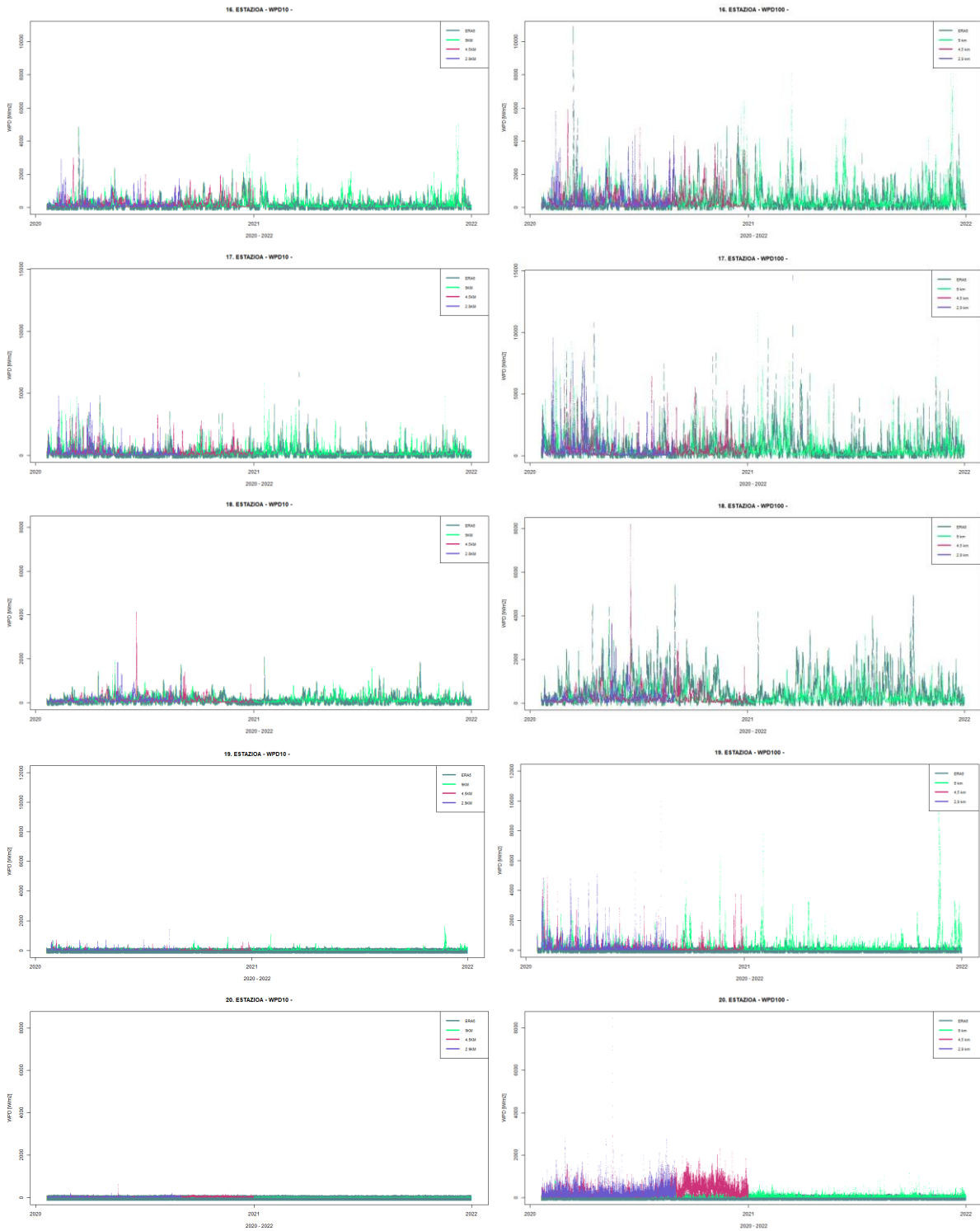
# ERANSKINA I

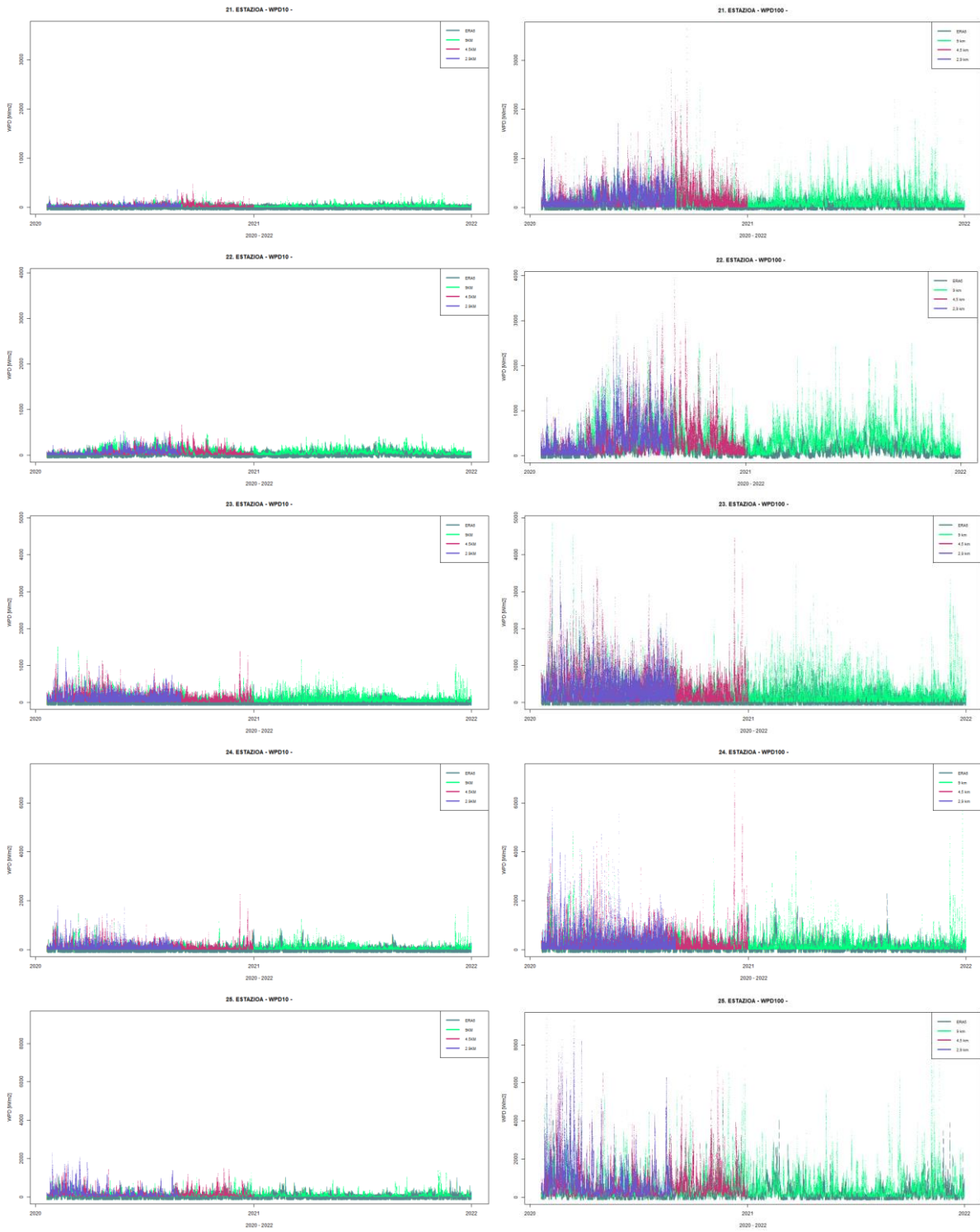


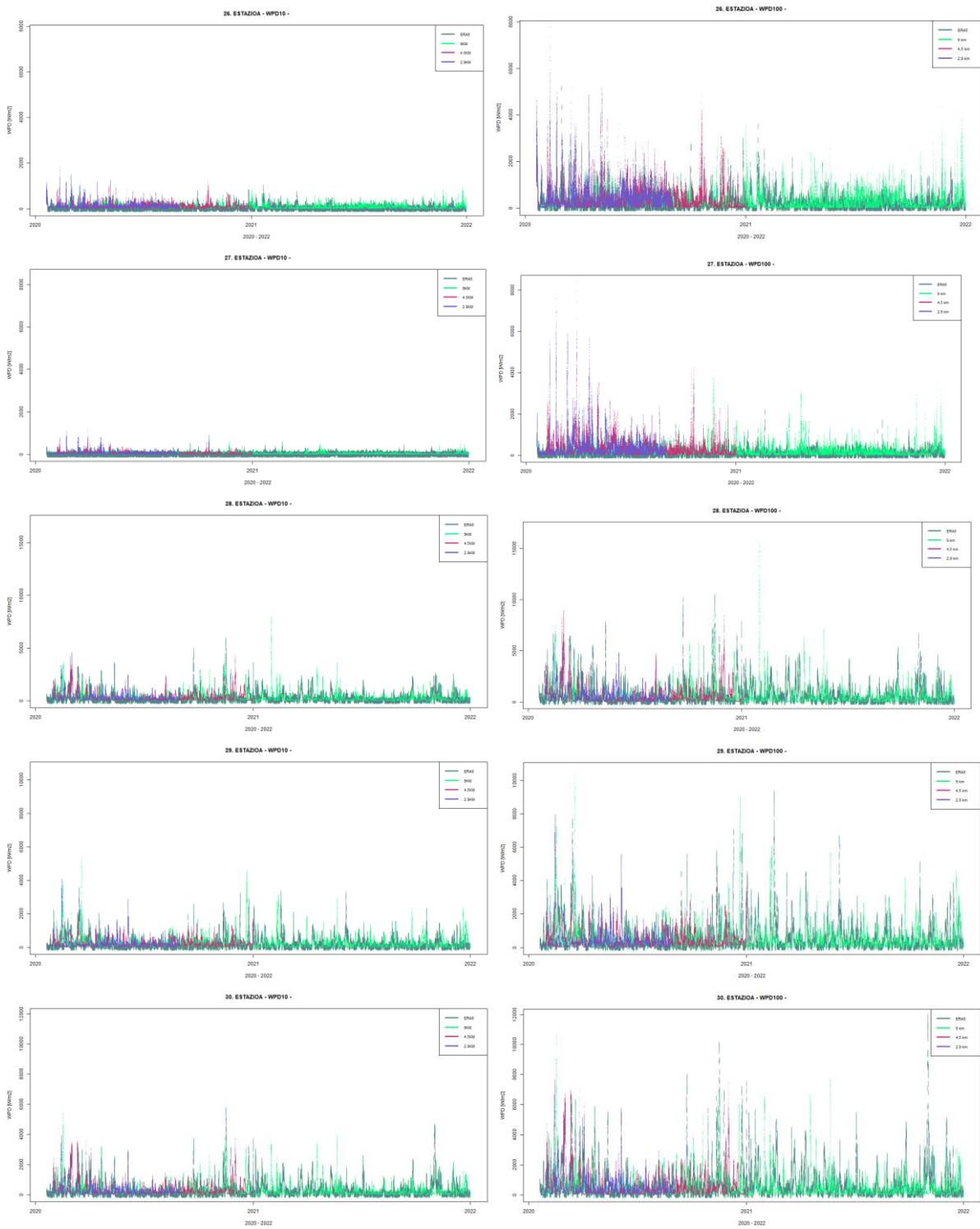












## ERANSKINA II

## WPD10

## ERA5 VS. 9 KM (PERIODO OSOA, URTE BAT)

	Q1	Q2 (MEDIANA)	MEAN	Q3	MAX
<b>Ut ERA5</b>	4.55	39.60	100.41	146.57	952.84
<b>Ut 9 km</b>	9.44	52.19	105.37	146.97	915.18
<b>O ERA5</b>	7.64	32.79	59.21	85.49	519.52
<b>O 9 km</b>	2.87	7.50	24.95	25.00	408.54
<b>Mx ERA5</b>	8.29	29.80	75.32	88.15	1386.34
<b>Mx 9 km</b>	6.72	21.99	50.93	67.00	451.05
<b>Ap ERA5</b>	4.66	17.29	39.80	51.06	467.11
<b>Ap 9 km</b>	6.43	25.42	60.01	79.79	564.51
<b>M ERA5</b>	6.81	24.85	49.03	59.05	417.43
<b>M 9 km</b>	11.66	52.18	86.15	135.26	715.56
<b>E ERA5</b>	5.40	21.13	38.22	53.60	354.35
<b>E 9 km</b>	10.95	36.31	54.60	78.98	340.34
<b>Uz ERA5</b>	13.64	39.76	54.28	78.79	420.11
<b>Uz 9 km</b>	23.85	75.67	90.34	134.63	423.05
<b>Abz ERA5</b>	6.97	22.94	42.70	64.45	274.20
<b>Abz 9 km</b>	16.38	52.78	73.69	110.54	414.03
<b>I ERA5</b>	4.77	16.39	34.56	43.12	317.90
<b>I 9 km</b>	12.05	46.28	69.28	105.46	448.08
<b>U ERA5</b>	5.96	23.95	54.14	69.32	687.63
<b>U 9 km</b>	4.06	11.33	33.91	37.82	517.09
<b>Az ERA5</b>	5.93	22.36	46.80	61.48	486.61
<b>Az 9 km</b>	5.24	22.97	65.40	86.08	785.05
<b>A ERA5</b>	8.50	31.87	65.43	81.60	754.10
<b>A 9 km</b>	7.69	21.00	64.00	78.50	904.72

**ERA5 VS. 9 KM (PERIODO OSOA, BI URTE)**

	<b>Q1</b>	<b>Q2 (MEDIANA)</b>	<b>MEAN</b>	<b>Q3</b>	<b>MAX</b>
<b>Ut ERA5</b>	12.41	68.87	118.93	138.48	619.00
<b>Ut 9 km</b>	4.87	15.23	112.17	104.72	915.18
<b>O ERA5</b>	5.19	17.06	42.03	57.11	441.88
<b>O 9 km</b>	4.30	10.81	33.66	40.91	271.96
<b>Mx ERA5</b>	8.40	29.40	93.79	126.63	1386.34
<b>Mx 9 km</b>	7.32	28.70	45.99	68.97	245.85
<b>Ap ERA5</b>	3.70	14.41	39.72	42.87	467.11
<b>Ap 9 km</b>	6.27	31.96	58.12	82.45	403.62
<b>M ERA5</b>	6.06	23.35	45.02	55.60	407.71
<b>M 9 km</b>	35.56	96.39	112.12	162.13	715.56
<b>E ERA5</b>	3.92	15.44	32.88	43.80	304.13
<b>E 9 km</b>	16.04	42.20	58.08	77.02	338.36
<b>Uz ERA5</b>	17.33	49.45	61.53	94.01	276.22
<b>Uz 9 km</b>	38.69	83.49	96.02	132.77	423.05
<b>Abz ERA5</b>	6.13	18.58	32.31	40.92	258.84
<b>Abz 9 km</b>	13.34	41.29	59.39	88.58	351.70
<b>I Era5</b>	5.95	17.81	40.44	51.52	316.92
<b>I 9 km</b>	7.08	27.27	50.89	69.06	355.11
<b>U ERA5</b>	6.44	33.00	68.70	91.55	687.63
<b>U 9 km</b>	4.38	14.25	36.23	41.00	323.39
<b>Az ERA5</b>	4.41	13.45	37.57	46.77	357.79
<b>Az 9 km</b>	5.64	22.38	61.39	82.72	615.29
<b>A ERA5</b>	20.94	46.07	82.48	102.27	754.10
<b>A 9 km</b>	5.89	16.38	35.89	45.49	317.12
<b>2021</b>					
<b>Ut ERA5</b>	3.52	29.22	93.26	146.87	952.84

<b>Ut 9 km</b>	16.74	68.22	102.74	148.69	843.44
<b>O ERA5</b>	14.24	51.12	77.00	117.07	519.52
<b>O 9 km</b>	2.01	5.65	15.92	12.33	408.54
<b>Mx ERA5</b>	8.19	31.12	56.86	68.52	676.74
<b>Mx 9 km</b>	6.42	17.94	55.87	66.51	451.05
<b>Ap ERA5</b>	6.65	20.84	39.88	58.83	240.77
<b>Ap 9 km</b>	6.68	21.53	61.91	76.04	564.51
<b>M ERA5</b>	7.56	26.34	53.04	63.22	417.43
<b>M 9 km</b>	7.24	22.47	60.18	81.21	618.60
<b>E ERA5</b>	7.95	29.46	43.57	63.14	354.35
<b>E 9 km</b>	8.05	29.01	51.12	79.89	340.34
<b>Uz ERA5</b>	11.50	31.08	47.04	63.99	420.11
<b>Uz 9 km</b>	15.10	63.64	84.66	142.40	411.92
<b>Abz ERA5</b>	9.24	35.29	53.10	81.73	274.20
<b>Abz 9 km</b>	19.47	66.72	87.99	129.67	414.03
<b>I ERA5</b>	3.88	14.52	28.69	36.42	317.90
<b>I 9 km</b>	21.94	69.74	87.66	136.53	448.08
<b>U ERA5</b>	5.57	18.57	39.58	57.19	432.01
<b>U 9 km</b>	3.73	9.37	31.59	32.15	517.09
<b>Az ERA5</b>	9.35	31.63	56.03	74.79	486.61
<b>Az 9 km</b>	5.00	23.57	69.40	89.36	785.05
<b>A ERA5</b>	5.62	12.63	48.39	50.86	421.58
<b>A 9 km</b>	9.73	28.55	92.10	123.50	904.72

### ERA5 VS. 4,5 KM (PERIODO OSOA)

	Q1	Q2 (MEDIANA)	MEAN	Q3	MAX
<b>Ut ERA5</b>	12.41	68.87	118.93	138.48	619.00
<b>Ut 4,5 km</b>	6.37	30.48	113.50	158.94	891.90

<b>O ERA5</b>	5.19	17.06	42.03	57.11	441.88
<b>O 4,5 km</b>	11.61	43.25	76.28	88.29	797.50
<b>Mx ERA5</b>	8.40	29.40	93.79	126.63	1386.34
<b>Mx 4,5 km</b>	11.45	39.44	65.47	91.55	488.28
<b>Ap ERA5</b>	3.70	14.41	39.72	42.87	467.11
<b>Ap 4,5 km</b>	7.89	28.35	49.84	64.90	633.39
<b>M ERA5</b>	6.06	23.35	45.02	55.60	407.71
<b>M 4,5 km</b>	12.61	43.02	87.27	112.79	933.80
<b>E ERA5</b>	3.92	15.44	32.88	43.80	304.13
<b>E 4,5 km</b>	20.11	70.96	94.96	139.94	683.70
<b>Uz ERA5</b>	17.33	49.45	61.53	94.01	276.22
<b>Uz 4,5 km</b>	35.88	100.48	114.85	170.89	637.83
<b>Abz ERA5</b>	6.13	18.58	32.31	40.92	258.84
<b>Abz 4,5 km</b>	28.41	78.66	94.61	140.50	449.97
<b>I ERA5</b>	5.95	17.81	40.44	51.52	316.92
<b>I 4,5 km</b>	13.29	37.64	65.36	103.86	357.98
<b>U ERA5</b>	6.44	33.00	68.70	91.55	687.63
<b>U 4,5 km</b>	16.78	48.27	85.75	103.37	1011.89
<b>Az ERA5</b>	4.41	13.45	37.57	46.77	357.79
<b>Az 4,5 km</b>	8.18	27.13	67.63	67.09	652.44
<b>A ERA5</b>	20.94	46.07	82.48	102.27	754.10
<b>A 4,5 km</b>	4.27	10.75	32.75	37.31	381.09

**ERA5 VS. 2,9 KM (PERIODO OSOA)**

	<b>Q1</b>	<b>Q2 (MEDIANA)</b>	<b>MEAN</b>	<b>Q3</b>	<b>MAX</b>
<b>Ut ERA5</b>	12.41	68.87	118.93	138.48	619.00
<b>Ut 2,9 km</b>	6.72	35.60	123.94	180.64	1039.84
<b>O ERA5</b>	5.19	17.06	42.03	57.11	441.88



<b>O 2,9 km</b>	12.07	47.18	106.13	109.59	1532.27
<b>Mx ERA5</b>	8.40	29.40	93.79	126.63	1386.34
<b>Mx 2,9 km</b>	14.61	53.40	104.77	142.41	1227.63
<b>Ap ERA5</b>	3.70	14.41	39.72	42.87	467.11
<b>Ap 2,9 km</b>	14.52	55.78	92.81	126.51	1144.82
<b>M ERA5</b>	6.06	23.35	45.02	55.60	407.71
<b>M 2,9 km</b>	13.46	44.43	74.00	97.88	1115.25
<b>E ERA5</b>	3.92	15.44	32.88	43.80	304.13
<b>E 2,9 km</b>	39.80	93.78	114.08	169.72	462.20
<b>Uz ERA5</b>	17.33	49.45	61.53	94.01	276.22
<b>Uz 2,9 km</b>	54.69	100.51	120.82	156.70	681.73
<b>Abz ERA5</b>	6.13	18.58	32.31	40.92	258.84
<b>Abz 2,9 km</b>	19.94	62.97	74.80	110.63	389.93

**ERA5 VS. 9 KM (URTAROKA)**

	<b>Q1</b>	<b>Q2 (MEDIANA)</b>	<b>MEAN</b>	<b>Q3</b>	<b>MAX</b>
<b>Negua ERA5</b>	7.42	33.32	72.52	96.36	952.84
<b>Negua 9 km</b>	5.32	16.65	61.23	72.99	915.18
<b>Udaberria ERA5</b>	6.51	23.66	54.88	64.57	1386.34
<b>Udaberria 9 km</b>	7.69	30.64	65.77	93.05	715.56
<b>Uda ERA5</b>	7.90	27.15	45.14	65.51	420.11
<b>Uda 9 km</b>	15.77	52.93	73.08	109.94	423.05
<b>Udazkena ERA5</b>	5.55	19.73	45.27	58.34	687.63
<b>Udazkena 9 km</b>	5.45	22.74	55.95	76.57	785.05

**ERA5 VS. 4,5 KM (URTAROKA)**

	<b>Q1</b>	<b>Q2 (MEDIANA)</b>	<b>MEAN</b>	<b>Q3</b>	<b>MAX</b>
<b>Negua ERA5</b>	9.47	36.44	72.24	89.15	754.10
<b>Negua 4,5 km</b>	6.11	21.55	63.71	70.35	891.90

<b>Udaberria ERA5</b>	5.78	20.99	59.72	64.34	1386.34
<b>Udaberria 4,5 km</b>	10.56	36.90	67.72	88.02	933.80
<b>Uda ERA5</b>	6.90	23.81	42.34	61.15	304.13
<b>Uda 4,5 km</b>	27.30	82.39	101.54	151.92	683.70
<b>Udazkena ERA5</b>	5.51	19.32	49.12	61.82	687.63
<b>Udazkena 4,5 km</b>	12.46	37.37	73.05	91.23	1011.89

**ERA5 VS. 2,9 KM (URTAROKA)**

	<b>Q1</b>	<b>Q2 (MEDIANA)</b>	<b>MEAN</b>	<b>Q3</b>	<b>MAX</b>
<b>Negua ERA5</b>	6.03	25.62	64.48	78.68	619.00
<b>Negua 2,9 km</b>	10.56	45.30	111.33	120.81	1532.27
<b>Udaberria ERA5</b>	5.78	20.99	59.72	64.34	1386.34
<b>Udaberria 2,9 km</b>	14.05	51.14	90.50	116.44	1227.63
<b>Uda ERA5</b>	6.90	23.81	42.34	61.15	304.13
<b>Uda 2,9 km</b>	35.93	84.47	103.11	144.77	681.73